

PLAST

Teknologi

3. udgave



PLAST

Teknologi

3. udgave

Bjarne Jensen
Jens Johansen
Kjeld Karbæk
Peter Kjærsgård
Claus Roth Nielsen
Allan B. Rasmussen
Tommy B. Rasmussen
Birgitte Høst-Madsen
Lars Mose Henriksen

PlastTeknologi

3. udgave, 1. oplag
September 2020

Plastindustrien.

Brancheforeningen for danske plastvirksomheder

Industriens Hus
Vesterbrogade 1E, 3.
1620 København V

Tlf.: +45 33 30 86 30
E-mail: plastteknologi@plast.dk
<http://plast.dk>
Bogen findes digitalt på <http://ebog.plast.dk>

Plastindustriens redaktør: Rasmus Grusgaard

Tryk: LaserTryk.dk

ISBN: 978-87-988783-4-6



Gengivelse af denne bog eller dele af den er tilladt under en 'Attribution-NonCommercial-ShareAlike CC BY-NC-SA' licens.

FORORD



Plastmageruddannelsen blev oprettet i 1988. Dermed fik en af landets største brancher sin egen erhvervsuddannelse. Nærværende lærebog ”PlastTeknologi” er skrevet for at dække et behov for læremidler til denne uddannelse og er den første bog i Danmark, hvori materialelære og hovedparten af de metoder, der anvendes til forarbejdning af plast, beskrives udførligt og samlet. Bogens målgruppe er meget bred.

Intentionerne var fra starten at udarbejde en lærebog, som kan følge plastmagerelven fra grundforløbet til den afsluttende svendep prøve.

Målgruppen blev siden hen udvidet således, at bogen også kan bruges i forbindelse med en række grund- og efteruddannelseskurser inden for plast. Ligeledes indeholder ”PlastTeknologi” beskrivelser af plastforarbejdningmetoder, som både teknolog- og ingeniørstuderende med speciale i plast kan have stor glæde af. Endelig kan ”PlastTeknologi” anvendes som opslagsbog i udviklingsafdelingen, i planlægningen eller i produktionen i enhver virksomhed med tilknytning til plast.

Bogen er opbygget i kapitler startende med generelle beskrivelser af plast og plastenes mange muligheder. Herefter uddybes materialelæren i kapitler omhandlende termoplast, termoplastiske elastomerer og hærdeplast. Herefter følger kapitler med udførlige beskrivelser af hovedparten af de forarbejdningmetoder, der anvendes i den danske plastindustri.

For at nå så bred en læserskare som muligt, har det fra forfatternes side været hensigten gennem hele bogen at anvende et sprogbrug, som er forståeligt for de fleste plastinteresserede.

Vi håber, at det er lykkedes.



Forord til 3. udgave

3. udgave af bogen er primært opdateret i sit grafiske udtryk. Der er indsat et mindre afsnit om flerkomponentstøbning og enkelte billeder er erstattet af nyere med samme motiv.

Afsnittet om arbejdsmiljø er fjernet fra bogen ud fra en beslutning om at denne viden bedst og mest ajourført findes på hjemmesiderne for Arbejdsmiljø i Danmark <https://amid.dk/da/> og Branchefællesskab for arbejdsmiljø i industrien <https://www.bfa-i.dk/>

Udgivelsen er flyttet fra forlaget Praxis til Brancheforeningen Plastindustrien med henblik på at videreføre værket i public domain.

Som noget nyt er hele bogens indhold derfor tilgængeligt på nettet: www.ebog.plast.dk Dette er sket for at give flest mulige læsere adgang til viden om plast.

Der kan forekomme uoverensstemmelser mellem det trykte og det digitale, men redaktionen bestræber sig på at begge dele er identiske.

Tak til alle bogens bidragsydere fra den danske Plastindustri og en særlig tak til bogens forfattere:

Peter Kjærsgård, Allan B. Rasmussen, Tommy B. Rasmussen, Bjarne Jensen, Jens Johansen, Kjeld Karbæk, Birgitte Høst Madsen og Lars Mose Henriksen.

Faglige korrekturlæsere

Der skal rettes en stor tak til følgende personer for faglig korrekturlæsning af 2. udgave: De indledende kapitler om plastmaterialer: Sales & Marketing Manager John Brøndorf, EniChem Norden A/S. Prisindeks: Officemanager Jan Schäfer, DSM Scandinavia A/S. Sprøjtetøbning: Produktionschef Erik Jensen, Schröder-Plast A/S. Ekstrudering: Direktør Niels Schibsbjerg, Papyro-Tex A/S. Termoformning: Direktør Steen Andersen, Jysk Vacuum Plast A/S. Blæsestøbning: Direktør René Borggaard, Gravenhorst Plast A/S. Fremstilling og forarbejdning af fiberforstærket hærdeplast: Direktør Bjarne Marcussen, Siplast A/S. Polyurethanstøbning: Teknisk chef Chris Ungermann, Shell Chemicals Danmark A/S. Pressestøbning: Driftschef Kaj Jensen - Plast, Pressalit A/S. Gummiforarbejdning: Materialerudvikler Kaj Timling, Codan Gummi A/S. Sammenføjning: Dr. techn. Charles M. Hansen, Force Institut. Spåntagning: Produktionschef Jan Sommer, Maersk Medical A/S



Plastindustrien.

Brancheforeningen for danske plastvirksomheder

Plastindustrien er brancheforeningen for plastvirksomheder i Danmark. Foreningen repræsenterer hele værdikæden inden for plast – fra plastforarbejdende virksomheder til leverandører af maskiner og råvarer og rådgivere og uddannelsesinstitutioner til branchen.

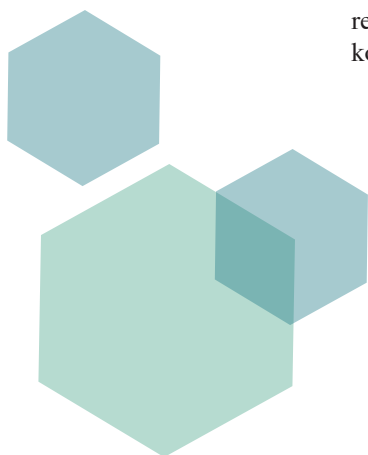
I brede træk er Plastindustriens formål at udvide befolkningens kendskab til plast og styrke branchens konkurrenceevne og omdømme. Foreningen arbejder med en bred vifte af opgaver, projekter og arrangementer inden for miljø, klima, forbrugersikkerhed, uddannelse, brancheaftaler, netværk og kommunikation.

Plastindustrien beskæftiger sig desuden med at udvikle og forbedre Danmarks position som et innovativt, kompetent og ansvarligt produktionsland med særligt fokus på at passe på vores ressourcer og styrke den grønne omstilling.

Plastindustrien har eksisteret siden 1988, hvor de to foreninger brancheforeningen Plast-Sammenslutningen (stiftet i 1947) og Plastindustriens Arbejdsgiverforening (stiftet i 1962) fusionerede. Med foreningen blev Plastindustrien den første af sin slags i Danmark, som samlede branche- og arbejdsgiverspørgsmål under ét tag.

Siden etableringen af Dansk Industri (DI) i 1992 har Plastindustrien været et aktivt DI-medlem, og i dag har Plastindustriens sekretariat huse i Industriens Hus på Rådhuspladsen i København.

Hvis din virksomhed arbejder med plast eller har produkter i plast er det relevant for jer at være medlem. Læs mere om det på www.plast.dk eller kontakt sekretariatet og hør nærmere.



Indhold

Generelt om plast	9	Plastbaserede kompositmaterialer	131
Plastmaterialernes historie	9	Glasfiberforstærket	
Kemisk opbygning af plast	14	umættet polyester (GUP)	131
Plastpolymerers struktur	22	Genanvendelse og bortskaffelse	135
Sfærolitter	24	Genbrug	136
Termoplast, hærdeplast og elastomerer	24	Genvinding	136
Molekylmasse og molekylmassefordeling	26	PVC og WUPPI-ordningen	141
Molekylorientering	27	Hærdeplast og hærdeplastbaserede	
Tilsætningsstoffer og andre hjælpestoffer	28	kompositmaterialer	141
Generelle egenskaber ved plast	39	Biologisk nedbrydelige polymerer	142
Termiske egenskaber	39	Mærkning af plast	143
Mekaniske egenskaber	45	Lifecycle engineering	143
Elektriske egenskaber	54	Sprøjtstøbning	145
Kemiske og fysiske egenskaber	55	De første sprøjtstøbmaskiner	146
Termoplast	61	Den moderne sprøjtstøbmaskine	149
Polyolefiner	63	Sprøjtstøbmaskinens hovedelementer	150
Styrenbaserede termoplast	68	Sprøjteenhedens funktion	160
Polyvinylchlorid (PVC)	73	Maskindyser og indløbsbøsninger	170
Acrylplast	76	Værktøjsopspænding	174
Polyamider (PA)	77	Sprøjtstøbeprocess og procesberegninger	178
Polyoxymethylen (POM)	79	Kalkulation (kostpris)	186
Termoplastiske polyestere		Inden produktionsopstart	191
(PET, PBT, PEN, PBN)	81	Sprøjtstøbecycle	194
Polyphenylenoxid (PPO)	84	Forskellige driftsformer og funktioner	203
Polycarbonat (PC)	85	Sprøjtstøbmaskinens vedligeholdelse	206
Fluorplast (PTFE m.fl.)	86	Sikkerhed ved sprøjtstøbmaskinen	207
Svovlholdige plast	88	Indkøring med fastlæggelse af	
Termoplastiske elastomerer (TPE)	93	procesparametre	212
Egenskaber og anvendelse	94	Værktøjer og hjælpeudstyr	243
Forarbejdningsmetoder	95	Materialer	270
Hærdeplast	97	Alternative sprøjtstøbeteknikker	293
Virkemåden i hærdeplast	97	Co injection	294
Umættet polyester (UP)	98	Ekstrudering	297
Epoxyplast (EP)	104	Produkterne	297
Polyurethan (PUR)	108	Ekstruder	299
Phenolplast og aminoplast	109	Processen	302
Forstærkningsfibre	115	Ekstruderens opbygning	310
Glasfiber	115	Processen fra granulat til produkt	326
Carbonfiber	127	Generel klargøring inden opstart	339
Aramidfiber	128	Indkøring og optimering	343
		Værktøjer og hjælpeudstyr	350
		Materialer	356

Ekstruderingsprocesser	361	Sikkerhed og miljø	513
Rørekstrudering	369	Pressestøbning	517
Profilekstrudering	375	Materialer	517
Plade- og planfolieekstrudering	381	Processen	518
Monofilamentekstrudering	384	Gummiforarbejdning	523
Kabelisolerings- og kapperørsekstrudering	387	Gummimaterialets historie	523
Blæsestøbning	389	Formgivning af gummi	527
Indkøring og optimering	407	Gummityper	529
Hoveder og hjælpeudstyr	410	Sammenføjning	535
Materialer	414	Svejsning	535
Alternative processer	415	Limning	543
Termoformning	421	Spåntagning	547
Termoformmaskinen	421	Drejning	548
Positiv- og negativformning	424	Fræsning	550
Termoformningsmetoder	424	Boring	553
Opvarmning	429	Gevindskæring	554
Køling	432	Køling	554
Afformning	433	Savning	555
Materialeegenskaber, der har indflydelse på termoformprocessen . . .	436	Tabeloversigt	556
Konstruktion af forme	444	Stikord	557
Konstruktion af overstempler	449		
Kontrol af emner	451		
Fejl ved termoformning	451		
Rotationsstøbning	461		
Fremstilling og forarbejdning af fiberforstærket hærdeplast	465		
Diskontinuerlige metoder	465		
Kontinuerlige metoder	472		
Sandwichkonstruktioner	474		
Kontrolmetoder	476		
Reparationsmetoder	478		
Polyurethanstøbning	487		
Produktkendskab	487		
Materialelære	492		
Procesforløb	495		
Blandemetoder	497		
Polyurethanstøbmaskinen	498		
Vedligehold af procesudstyr	502		
Formgivningsudstyr	507		
Kontrol- og prøvningsmetoder	510		





GENERELT OM PLAST

En plastfabrik i 1947
(Artekta Formstof A/S)

Plastmaterialernes historie

De første plasttyper

Det første plastmateriale, der fik kommerciel betydning, var celluloid, som er cellulosenitrat, der er blødgjort med kamfer. Det er en videreudvikling af det yderst farlige stof skydebomuld, som var blevet opdaget af to amerikanske brødre Hyatt. En rig amerikansk billardspiller udlovede i 1868 en dusør på 10.000 dollars til den, der kunne skaffe et bedre materiale til billardkugler end elfenben, som var fyldt med små luftindslutninger og uregelmæssigheder, hvilket gjorde, at de ikke altid kunne løbe lige ud. Desuden var elfenben meget dyrt. Englænderen Parkes tømmede skydebomulden med kamfer; men det var brødrene Hyatt, der fik patent på en sprøjtstøbemaskine til fremstilling af billardkuglerne og andre emner. Cellulosenitrat blev produceret første gang i 1866 under handelsnavnet Parkesine, senere under navne som Xylonite, Ivoride og Celluloid.

Plastalderen var begyndt i årene omkring 1870. Da celluloid er meget brandfarligt, søgte man snart et mere varmestabilt materiale. Den belgiske kemiker Leo Bækeland fik i 1907 patent på et plastmateriale fremstillet af phenol og formaldehyd og sammenpresset med træmel. Materialet - phenolplast - opnåede hurtigt stor fremgang, og det fremstilles stadig i mange udgaver og med mange forskellige fyldstoffer. Det blev masseproduceret siden 1910 af General Bakelite Company i USA under handelsnavnet Bakelit®.



De første radioer i plast
(Plastens abz)

Det skulle vise sig, at netop de to første plastmaterialer af større betydning repræsenterer hver sin hovedgruppe af plast, nemlig termoplastene (cellulosenitrat) og hærdeplastene (phenolplast).

Samtidigt repræsenterer cellulosenitrat de halvsyntetiske plastpolymerer og phenolplast de helsyntetiske (se herom senere). I første halvdel af 1900-tallet voksede den første generation af plastpolymerer frem: polystyren, PVC, acrylplast, nylonfibre, blød polyethylen (PELD), SBR-gummi, alkydfarver, carbamidplast, celluloseacetat og melaminplast.

I 1950'erne kom den anden generation af syntetiske, polymere materialer: konstruktionsplast - eller tekniske plast - med større mekanisk styrke og stabilitet, fx hård polyethylen (PEHD), polypropylen, polycarbonat, epoxyharpikser og polysulfon, fibre og folier af termoplastisk polyester, chloropren-, nitril- og EPDM-gummi, latexfarver, lakker, skumplast af polyurethan og af polystyren samt glasfiberforstærket umættet polyester.

I slutningen af 1960'erne begyndte den tredje generation af syntetiske, polymere materialer at vise sig på det kommercielle marked, nemlig plast, fibre og gummi med meget høj styrke og termisk stabilitet: Polyimider, carbonfibre og aramidfibre, fluorgummi m.v.

Hvis man regner efter volumen, har verdensforbruget af plastmaterialer allerede midt i 1980'erne overhalet forbruget af stål.

Moderne plasttyper

I disse år synes udviklingen af nye plastpolymerer at stagnere. Dels er det meget kostbart og en meget langvarig proces at udvikle nye polymerer, dels har man uanede muligheder for at tilpasse ("skræddersy") materialekombinationer med mere eller mindre forudsigelige og ønskelige egenskaber ud fra de eksisterende polymerer og det store udbud af tilsætningsstoffer.

Der er i disse år et intensivt arbejde i gang for at udvikle og fremstille polymerlegeringer og polymerblandinger med ønskede egenskaber. Sideløbende hermed ses en stærkt stigende interesse for ved kompondering at opnå specielle egenskabskombinationer. Denne mulighed er ofte tilgængelig for traditionelle og fremsynede forarbejdningsvirksomheder.

Når vi taler om fiberforstærkede, højtydende plast, kan man opnå egenskaber, der på mange måder overgår metallernes. I forhold til metallerne er de almindelige plast imidlertid karakteriseret ved betydeligt enklere og dermed ofte billigere forarbejdningsbetingelser. Desuden er plastene elektrisk isolerende og ofte bestandige mod mange skrappe kemikalier. Derimod er de generelt mekanisk svage, og hvad angår varmemestabilitet, kan standardplastene slet ikke måle sig med metallerne.

Moderne fiberforstærkede termoplast og hærdeplast, de såkaldte kompositmaterialer, kan dog på mange flere områder hamle op med metallerne. Særligt i transportindustrien - biler, tog, fly, rumfart - er det af stor interesse at kunne opnå styrke, stabilitet og varmebestandighed i komponenter. De er nemmere at producere, og de vejer mindre, hvorved transportfartøjnernes nyttelast tilsvarende kan øges.

Definition af plast

Det er overordentligt vanskeligt at opstille en dækkende definition af plast. Flere har i tidens løb forsøgt sig med meget indviklede formuleringer, der måske nok kan være dækkende, men er aldeles uhandterlige.

Ordet plast er afledt af det græske tillægsord *plasticos*, der betyder formbar. Dermed hentydes til, at materialet er formbart eller på et eller andet trin i fremstillingsprocessen har været formbart.

En måske ikke helt dækkende, men dog brugbar definition kunne være:

For at et materiale skal kunne kaldes en plast, skal det:

- være eller have været plastisk formbart
- være højpolymert
- være (i det væsentlige) organisk

Parentesen i det sidste punkt hentyder til, at mange silikoner har plastagtige egenskaber, uden at de nødvendigvis indeholder carbonatomer i hovedmolekylkæden, men eventuelt kun i sidegrupper.

Terminologi

Det er ret udbredt på dansk at bruge det engelske ord plastic for disse materialer. Imidlertid sker der ofte forvekslinger med andre, lignende begreber. Derfor synes det mest formålstjenligt at anvende det udmærkede danske ord plast. Ifølge Retskrivningsordbogen (1996) er det valgfrit at sige et eller en plast; fagfolk foretrækker normalt en. I ubestemt flertal hedder det også plast, altså fx fem plast, og i bestemt form plastene.

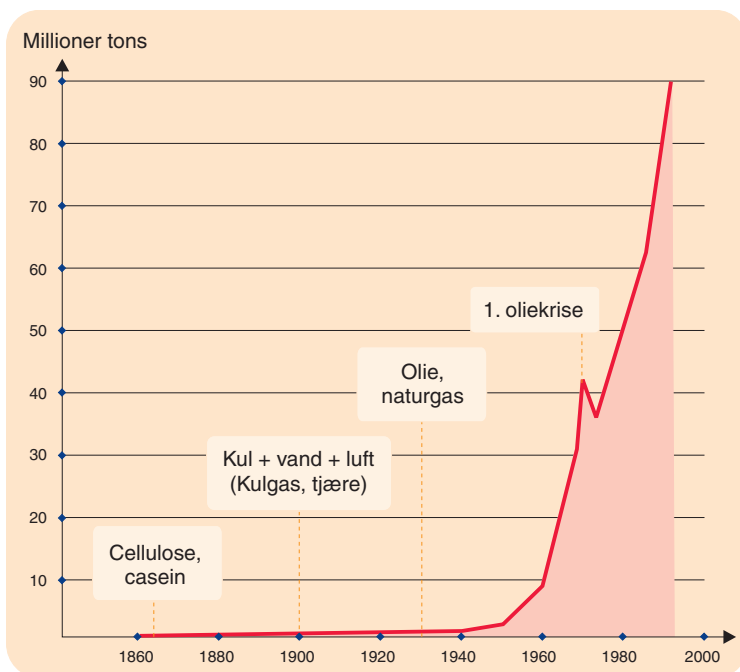
På tysk hedder plast Kunststoff, men Plast ses også i tysk faglitteratur. Store dele af branchen er under stærk tysk indflydelse, hvorfor man ofte hører ordet kunststof på dansk, men det forekommer ikke at være godt dansk og findes fx ikke i Retskrivningsordbogen.

Plastmaterialernes oprindelse

Fra omkring 1950 har den petrokemiske industri været i stærk udvikling. Råvarer til plastfremstilling har derfor været let tilgængelige og ofte til en attraktiv pris. Olie og naturgas omdannes i raffinaderier og forskellige kemiske procesanlæg til rene, lavmolekylære stoffer. Ved sammenkobling af sådanne stoffer opbygges nye syntetiske stoffer, blandt andet en række polymerer. Mange af dem har plastkarakter, men langt de fleste opnår først attraktive egenskaber efter iblanding af tilsætningsstoffer.

Forbruget af plast

Verdensforbruget af plast tog sit første store opsving under anden verdenskrig og især i årene umiddelbart efter. Siden begyndelsen af 1960'erne har udviklingen nærmest været eksplosiv, og intet tyder på, at denne tendens vil ændre sig foreløbigt. I 1998 passede forbruget 100.000.000 tons.



Udviklingen i verdensforbruget af plast siden omkring 1860

EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE AF PLAST



Vindmølledele i hærdeplast
(Vestas Wind Systems A/S)



Nova Sea Chair produceret af gamle fiskenet
(Mater A/S)



Fjernvarmerør isoleret med PUR skum og med kappe i genanvendt PE (LOGSTOR A/S)



Vandbeholder til udviklingslande i plast. Solen desinficerer vandet (SolarSack)



Legetøj af biobaseret plast
(dantoy A/S)



Den ikoniske Margrethe skål fra Rosti i
melaminplast (F&H A/S)



Take-away emballage i genanvendt PET
(Faerch A/S)



Kødbakke i genanvendt PET
(Coop Danmark A/S)



Jolle af glasfiberforstærket polyester
(POCA Glasfiber ApS)



Produkter af polystyren til dyrkning af celler og
væv (Thermo Fisher Scientific)

Kemisk opbygning af plast

Grundstoffer, atomer, molekyler og ioner

Grundstoffer

Alt stof i universet er sammensat af blot ganske få elementære bestanddele. Sådanne bestanddele kaldes grundstoffer. Man kender 107 grundstoffer, som formentlig udgør hele universet, i hvert fald den kendte del af det. De 92 grundstoffer er naturligt forekommende, mens de øvrige er kunstigt fremstillet.

Et *grundstof* er et stof, som ikke ved almindelige kemiske metoder kan spaltes og ej heller kan fremstilles ved kemiske reaktioner.

Oxygen (ilt) er det grundstof, der forekommer hyppigst på Jorden. Regnet efter vægt udgør oxygen ca. 50 % af jordskorpen. Den atmosfæriske luft omkring os indeholder ca. 20 % oxygen. Oxygen forekommer i mange kemiske forbindelser med andre grundstoffer. Vand er den mest udbredte kemiske forbindelse; i vand indgår oxygen i kemisk forbindelse med hydrogen (brint). Oxygen udgør omkring 89 % af vand.

Silicium er det næsthypigste grundstof med en andel på omkring 25 %. Det forekommer fx i kemisk forbindelse med oxygen i mineralet kvarts, som udgør størsteparten af strandsand. Efter hyppighed kommer dernæst metallerne aluminium med ca. 7,5 % og jern med ca. 4,7 %.

Hovedparten af grundstofferne er metaller; jern, kobber, zink, tin, magnesium, calcium, chrom, bly, nikkel, kviksølv, natrium og kalium er blandt de mest kendte. Guld, sølv og platin kaldes ædelmetaller; de er også grundstoffer. Bronze og messing er derimod legeringer, dvs. de er sammensat af metalliske grundstoffer.

Af grundstoffer, som ikke er metaller, kendes fx luftarterne helium, neon og argon. De kaldes ædelgasser, fordi de ikke kan indgå i kemisk forbindelse med andre grundstoffer.

Desuden er grundstoffer som chlor, brom og jod almindeligt kendte, ligesom svovl og phosphor er det. Grundstoffet carbon (kulstof), som indgår i alt plante- og dyremateriale, udgør kun 0,1 % af jordskorpen. Nitrogen (kvælstof) udgør en forsvindende lille del af jordskorpen, selv om ca. 79 % af atmosfærisk luft er nitrogen.

Størsteparten af grundstofferne forekommer kun i meget ringe mængde i naturen - en gruppe kaldes ligefrem for de sjældne jordarter. 99,2 % af jordskorpen udgøres af kun 10 grundstoffer, og de resterende 0,8 % af de øvrige 82.

Atomer

Den mindste del af et grundstof, man kan have, kaldes et *atom*. Ordet er græsk og betyder udelelig, idet man dengang troede, at atomerne var udelelige. Sidenhen har man dog fundet ud af at spalte atomer, hvorved der opstår andre atomer. Et atom er den mindste del af et grundstof, der kan indgå i en kemisk forbindelse. Alle kemiske forbindelser er sammensat af atomer. Forskellen mellem kemiske forbindelser er netop de deltagende atomers natur, antal og arrangement.

For nemheds skyld bruger kemikerne enkelte bogstaver eller kombinationer af to bogstaver som symboler for de enkelte grundstoffer. Man anvender forbogstavet alene eller forbogstavet efterfulgt af et andet, karakteristisk bogstav i grundstoffets latinske navn. H, C, N, O og F er kemiske symboler for hydrogen, carbon, nitrogen, oxygen og fluor, og Na, Mg, Al, Cl, Ca, Fe, As og Pb for natrium, magnesium, aluminium, chlor, calcium, jern (latin: ferrum), arsen og bly (latin: plumbum).

Molekyler

Når et atom indgår i kemisk forbindelse med et andet eller andre atomer, opstår *molekyler*. Molekyler er sammensat af atomer, som kan være ens eller forskellige. Et molekyle er den mindste enhed af et stof, som kan eksistere alene og bevare alle stoffets egenskaber.

Kemiske forbindelser

Hvis der indgår forskellige atomer i et molekyle, har man en *kemisk forbindelse*. En kemisk forbindelse er altså et stof, der indeholder flere end ét grundstof, og som har egenskaber, der i det store og hele er forskellige fra de indgående bestanddeles egenskaber. For eksempel er oxygen og hydrogen begge luftarter, mens vand, som er en kemisk forbindelse mellem oxygen og hydrogen, er en væske.

Atommodel

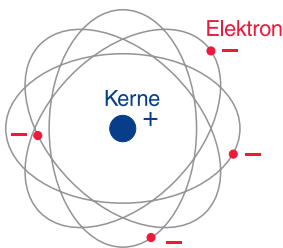
Den traditionelle model af atomers opbygning er den såkaldte planetmodel. Planeterne bevæger sig omkring solen, hvis masse er mange, mange gange større end planeternes. Et atom kan på lignende måde opfattes som bestående af en kerne, hvori langt hovedparten af atomets masse er samlet, og en eller flere, meget små og meget lette partikler, der bevæger sig i én bestemt eller i flere bestemte baner uden om kernen.

Der findes to slags kernepartikler, som er stort set lige store og med lige stor masse. Protonen har en positiv, elektrisk elementarladning og har massen 1 AMU (AMU = Atomic Mass Unit = atommasseenhed). Den anden kernepartikel, neutronen, har også massen 1 AMU, men er elektrisk neutral.

De lette partikler, der bevæger sig omkring atomkernen, har en negativ, elektrisk elementarladning (af nøjagtig samme størrelse som protonens positive ladning); de kaldes derfor elektroner.

Klassisk atommodel

De negativt elektrisk ladede elektroner tænkes at bevæge sig i bestemte baner uden om den positivt ladede kerne.

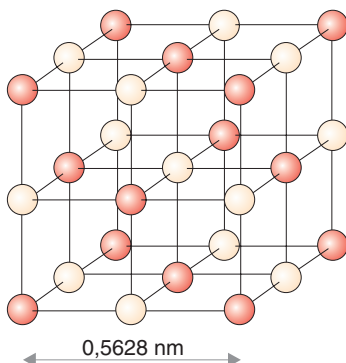


Kemiske bindinger

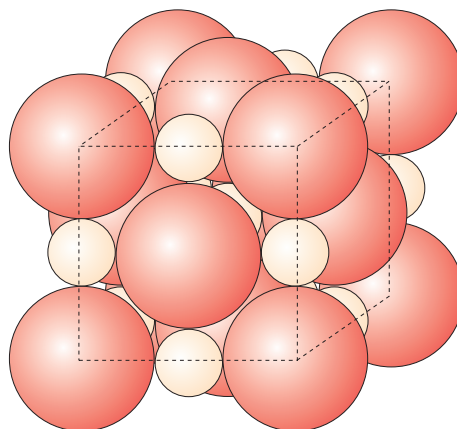
Når atomer forbinder sig med hinanden til molekyler eller på anden måde, sker det, ved at elektronerne arrangerer sig på særlige måder. Man kender tre forskellige typer af kemiske bindinger.

Ionbindingen er baseret på elektronoverførsel, idet en eller flere elektroner skifter plads fra et atom til et andet. Derved opstår elektrisk ladede atomer, som kaldes ioner. Da positivt og negativt ladede partikler tiltrækker hinanden, vil det også ske med positive og negative ioner. De lejrer sig i velordnede gitterstrukturer og danner krystaller. Et kendt eksempel er køkkensalt, som er natriumchlorid.

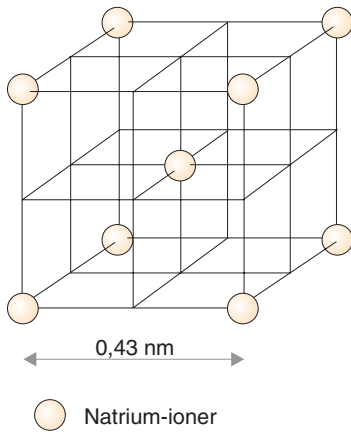
Ionernes placering i natriumchlorids krystalgitter



● Chlorid-ioner (Cl^-) ● Natrium-ioner (Na^+)



Sådan udfyldes rummet af ionerne i en natriumchloridkrystal. Alle saltene danner krystaller, som er opbygget af ioner.



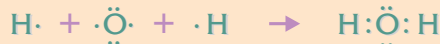
Ladningstygdepunkter af ionerne i en natriumkrystal

Den principielle opbygning af et metalgitter, i dette tilfælde af metallet natrium. Det ses, at metallerne danner krystaller lige som saltene.

Metalbindingen er baseret på elektronfrigørelse, idet nogle af elektronerne i metallernes atomer er så løst knyttet til atomets kerne, at de i en metalkrystal ikke kan siges at tilhøre et bestemt atom. Man må snarere forestille sig en metalkrystal som en samling tæt pakkede metalioner, hvorimellem elektronerne befinder sig overalt og på grund af deres løse tilknytning til bestemte atomer er frit bevægelige. Denne model kan forklare stoffernes metalkarakter, først og fremmest deres store elektriske ledningsevne.

Den tredje bindingstype kaldes den *covalente binding* eller atombindingen. Den covalente binding baseres på elektronfællesskab,

idet et eller flere elektronpar er fælles mellem to naboatomers kerner. Dermed dannes molekyler. Luftarterne oxygen (O_2), hydrogen (H_2), nitrogen (N_2) og chlor (Cl_2) består i virkeligheden ikke af atomer, men af toatomige molekyler, hvori atomerne er holdt sammen af covalente bindinger. Vand (H_2O) og ammoniak (NH_3) er eksempler på kemiske forbindelser af covalent bundne atomer.



Dannelsen af et vandmolekyle, H_2O , ud fra to hydrogenatomer og et oxygenatom

I polymererne er det covalente bindinger, der dominerer.

Bindingskræfter

De tre beskrevne bindingstyper har nogenlunde samme styrke og repræsenterer de stærkeste bindingskræfter i kemien, de såkaldte *primære bindingskræfter*. De virker, som det fremgår af det foregående, mellem atomer og ioner ved at holde dem sammen i molekyler, atomgitter og iongitter.

Der optræder imidlertid også bindingskræfter mellem de enkelte molekyler. Det er fx dem, der ved en temperatur under $100^\circ C$ holder vandmolekyler sammen til flydende vand og under $0^\circ C$ til is. De er meget svagere end de primære bindinger og kaldes *sekundære bindingskræfter*. De primære bindinger er ca. 30 gange så stærke som de sekundære bindinger.

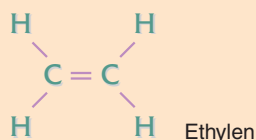
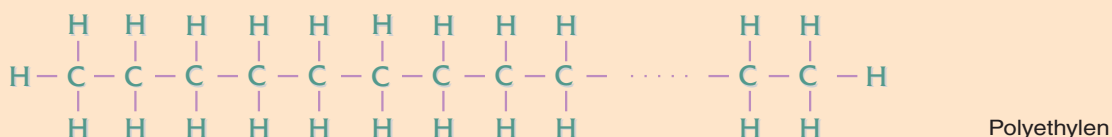
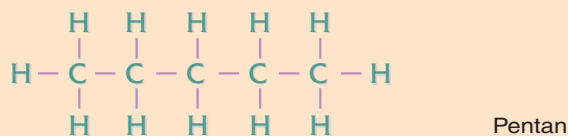
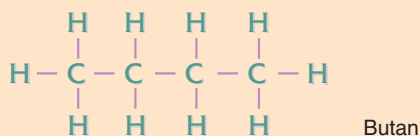
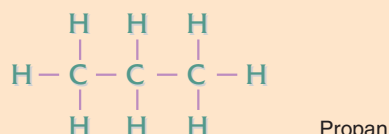
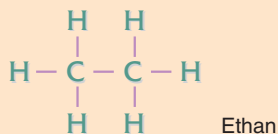
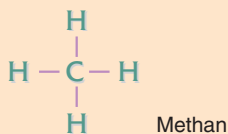
Organiske stoffers opbygning

Carbon er et karakteristisk eksempel på et grundstof, der danner covalente bindinger. Fire af carbonatomets elektroner kan ved parring med elektroner fra op til fire andre atomer indgå i covalente bindinger. Ved forbindelse med fire hydrogenatomer opstår stoffet methan (CH_4), som er en luftart og udgør hovedparten af naturgas.

Carbonatomer har en særlig evne til at forbinde sig med hinanden i lange rækker.

Til stoffet methan svarer en række stoffer med 2, 3 osv. carbonatomer i række.

De fire første stoffer er luftarter, de næste er væsker ved stuetemperatur. Derefter bliver stofferne mere og mere tungtflygtige og til sidst faste, jo længere molekylerne bliver. Når der bliver rigtigt mange carbonatomer i række, fx 1.000, har vi stoffet polyethylen, den plast, der har den enkleste opbygning.

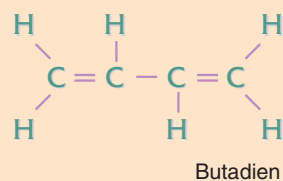
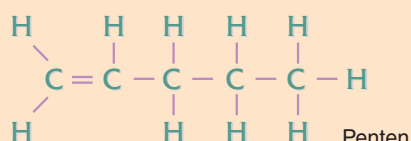
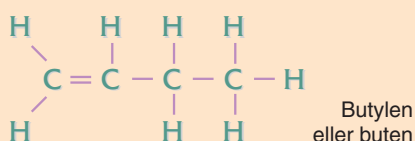
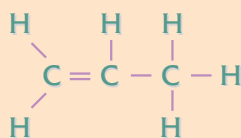


Der består således et nært slægtskab mellem plastpolymererne - dog især polyethylen og polypropylen - og stoffer i ovennævnte række.

Bindingerne mellem carbonatomerne i stofferne i denne række er *enkeltbindinger*. Der findes imidlertid også lignende stoffer, hvori der forekommer *dobbeltbindinger* mellem carbonatomer. Enkeltbindinger dannes af ét par elektroner, én elektron fra hvert af naboatomerne; mens dobbeltbindinger dannes af to elektronpar, to elektroner fra hvert af naboatomerne.

Det enkleste stof med en carbon-carbon-dobbeltbinding er ethylen.

Også med en dobbeltbinding i molekylet kan der "hægtes" flere carbonatomer i række.

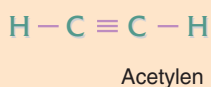


Forbindelser med flere dobbeltbindinger forekommer også, fx butadien.

Tredobbeltbindinger dannet af tre elektronpar forekommer også. Det enkleste stof med en tredobbeltbinding mellem to carbonatomer er acetylen.

Det her beskrevne er grundlaget for hele den organiske kemi og dermed også for polymer- og plastkemi.

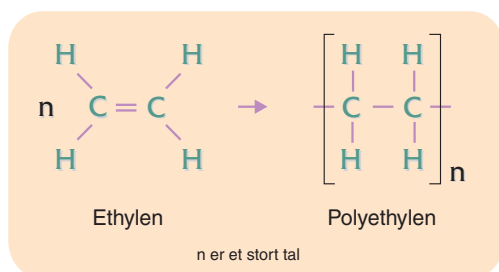
Forbindelser, der udelukkende indeholder enkeltbindinger mellem carbonatomerne, kaldes *mættede*, mens blot en enkelt dobbelt- eller tredobbeltbinding gør stoffet til en *umættet* forbindelse.



Højmolekulære stoffer

Bortset fra polyethylen har de ovenfor beskrevne stoffer og de fleste andre kemiske forbindelser kun få atomer i deres molekyler, som dermed bliver ret små. Alle sådanne forbindelser kaldes lavmolekulære.

Højmolekulære stoffer findes dog også i stort tal i os og i vore omgivelser. Her taler vi om hundreder eller tusinder af atomer i et molekyle. Vore klæder og levnedsmidler består for en stor del af højmolekulære stoffer, og selve livsprocesserne er i udstrakt grad reaktioner, hvori der indgår højmolekulære stoffer. Mange vigtige materialer, naturlige og syntetiske, organiske og uorganiske, er højmolekulære stoffer; gummi og fibre, plast, malinger og klæbestoffer er næsten alle højmolekulære.



Højpolymerer

Adskillige af de højmolekulære stoffer er desuden *polymerer* eller *højpolymerer*. Ordet er græsk og kommer af poly (= mange) og mer (= del). Betegnelsen bruges om stoffer, hvis molekyler er sammensat af et stort antal ens dele eller enheder.

Polyethylen er således opbygget ved sammensætning af et stort antal ethylenmolekyler.

De stoffer, som polymerer fremstilles af, benævnes *monomerer*. Til en bestemt polymer svarer altså en bestemt monomer eller eventuelt flere bestemte monomerer. Den monomer, der svarer til polyethylen, er ethylen.

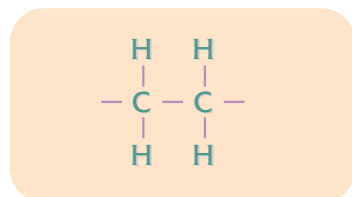
Den enhed, der gentages i et polymermolekyle, kaldes en *repetitionsenhed*, og antallet af repetitionsenheder i et molekyle kaldes molekylets *polymerisationsgrad*.

Repetitionsenheden i polyethylen er ethylgruppen.

Hvis der fx går 1.000 ethylenmolekyler til et polyethylen-molekyle, er polymerisationsgraden 1.000.

Højpolymerers molekyler kaldes ofte for *kædemolekyler*, fordi de kan minde om lange kæder med ens led.

Adskillige af de højmolekulære stoffer, der forekommer i naturen, er også højpolymere, fx plantefibre, uld, silke og cellulose.



Polymerisation

Processer, hvorved der, som beskrevet i det foregående, dannes polymerer ud fra én eller flere monomerer, kaldes *polymerisationsprocesser*.

Hvorledes de i naturen forekommende højpolymere forbindelser dannes, har man ofte kun en vag formodning om. Derimod er mekanismerne i de syntetiske polymerisationsprocesser veldokumenteret.

Kun nogle få plastmaterialer er baseret på polymerer, der forekommer i naturen, fx celluloseplast og kaseinplast. De øvrige er polymeriseret syntetisk, dvs. af mennesket.

Polymerisation kan foregå med én eller flere forskellige monomerer som udgangsstoffer og med eller uden dannelse af biprodukter foruden den polymere, som er hovedproduktet.

For at en monomer kan polymerisere, må dens kemiske natur være sådan, at molekylet kan reagere med mindst to andre molekyler. Hermed er der mulighed for, at molekylvæksten kan ske i mindst to retninger principielt i det uendelige.

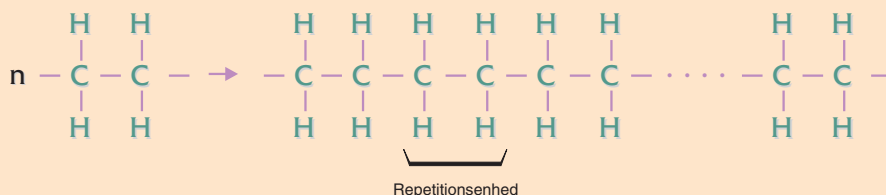
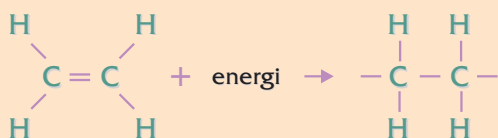
Polymerisationsprocesserne falder naturligt i to hovedgrupper: additionspolymerisation eller polyaddition, hvor der ikke dannes biprodukter, og kondensationspolymerisation eller polykondensation, hvor der fraspaltes biprodukter.

Additionspolymerisation

Additionspolymerisation eller polyaddition baseres på det forhold, at visse stoffer blot ved tilførsel af tilstrækkelig mængde energi kan bringes i en tilstand, hvor stoffets molekyler indgår kemisk forbindelse med hinanden under dannelse af polymere molekyler uden dannelse af biprodukter.

Umættede forbindelser, altså forbindelser med mindst én dobbeltbinding, vil have en almindelig tendens til at polymerisere ved polyaddition.

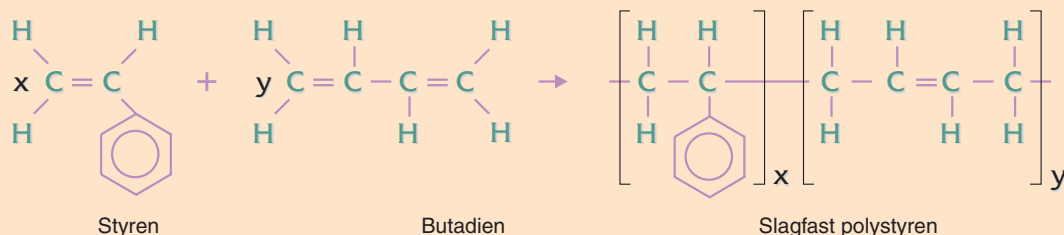
Dannelsen af polyethylen er et typisk eksempel.



Af de almindelige plastmaterialer er også polypropylen, polyvinylchlorid (PVC), polystyren, acrylplast og polyoxymethylen produkter af en polyadditionsproces.

Hvis to eller flere forskellige, umættede monomerer blandes sammen, kan de undertiden indgå forbindelse med hinanden, således at molekyler af begge monomerer indgår i det polymere produkt. Sådanne produkter kaldes *copolymerer*, og processen kaldes *copolymerisation*.

Slagfast polystyren er et sådant eksempel, hvor styren og butadien begge indgår i det polymere produkt.

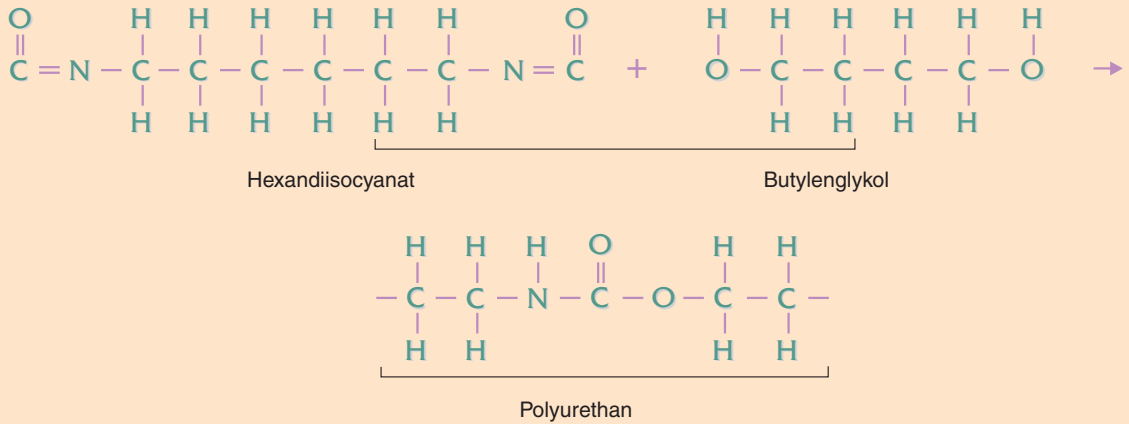


Styren-acrylnitril-copolymer (SAN) og ABS er andre eksempler.

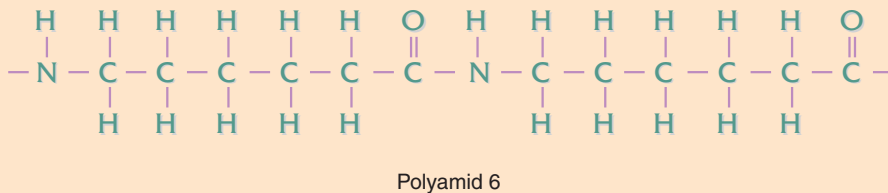
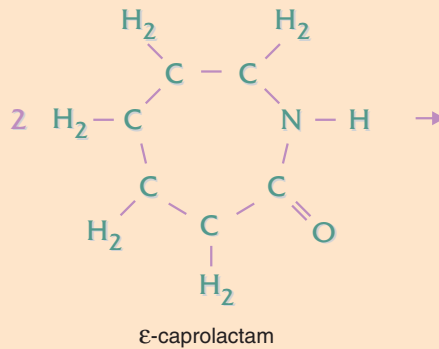
Polyaddition kan også foregå mellem to stoffer, der ikke begge har dobbeltbindinger, hvis det ene fx indeholder to dobbeltbindinger, som begge kan brydes under processen under reaktion med atomgrupper i det andet stof.

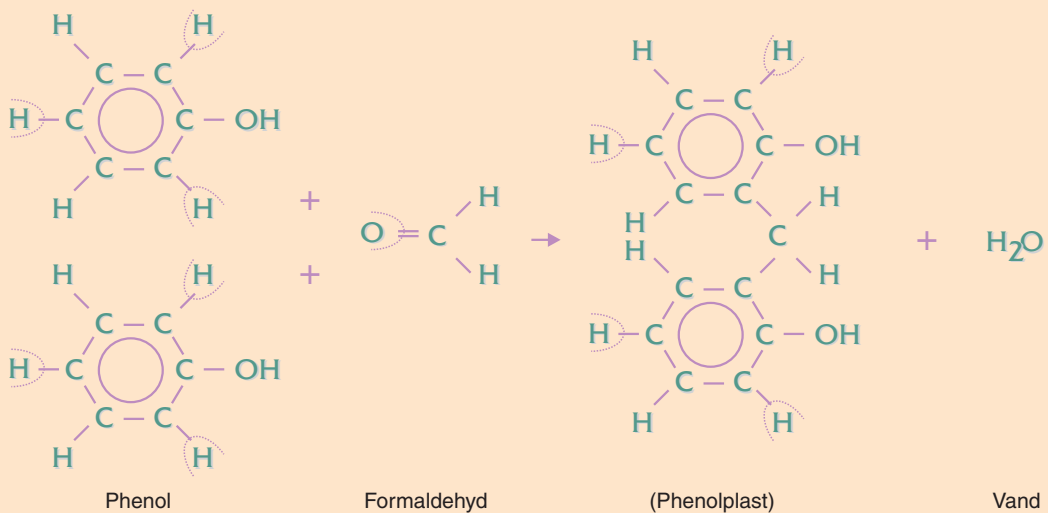
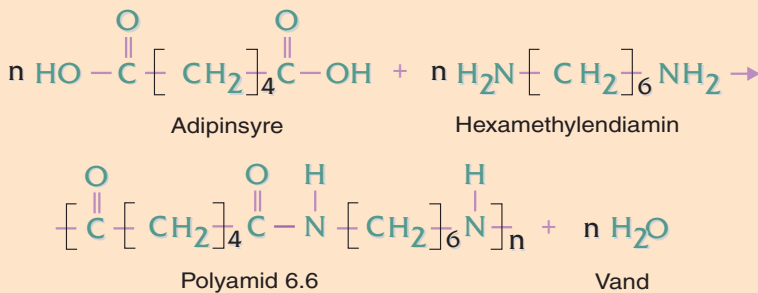
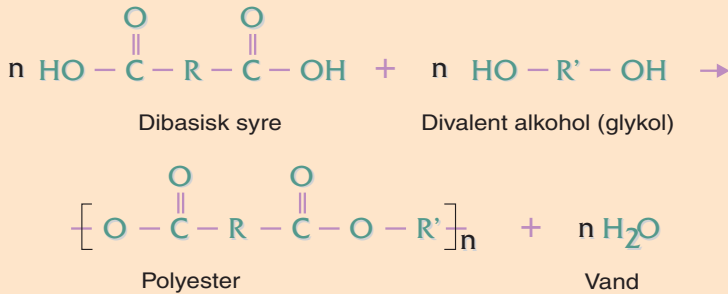
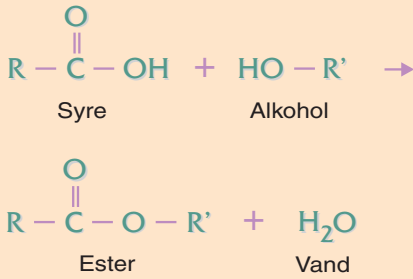
Herved kan der ske overflytning af et hydrogenatom fra det ene stof til det andet under dannelse af en polymer uden fraspaltning af biprodukter.

Dannelse af polyurethan ud fra en di-isocyanat og en glykol er et eksempel herpå.



Desuden kan en række ringformede molekyler polymerisere ved addition, selv om de ingen dobbeltbinding indeholder. Ved brud af en enkeltbinding åbnes ringen, uden at der derved sker et fuldstændigt brud af molekylets indre sammenhæng. Der dannes to frie bindinger, således at molekylet i begge ender kan reagere med et andet molekyle af samme slags. Polyamid 6 er et eksempel på et polyadditionsprodukt, der er dannet ud fra en ringformet monomer, nemlig stoffet ϵ -caprolactam (ϵ = epsilon).





Dannelsen af phenolplast ud fra phenol og formaldehyd

I phenolmolekylet er de tre markerede hydrogenatomer meget reaktionsvillige. Det fraspaltede vandmolekyle dannes ud fra oxygenatomet fra formaldehydmolekylet og et hydrogenatom fra hvert af to phenolmolekyler. Flere bindinger vil dannes ved de øvrige, markerede hydrogenatomer med en netværksstruktur til følge.

Kondensationspolymerisation

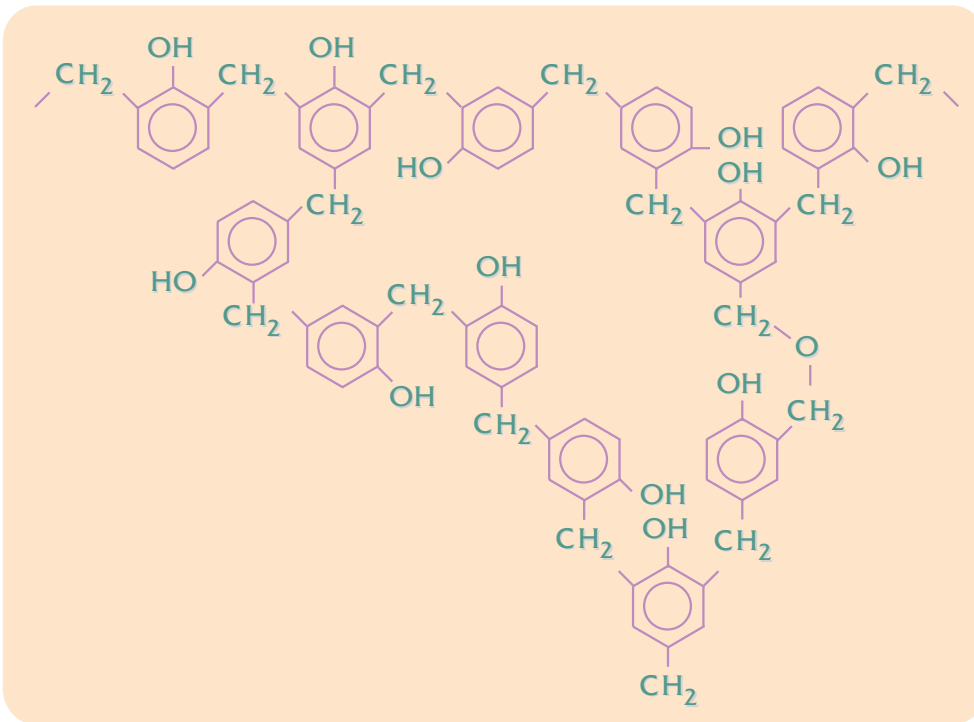
Kondensationspolymerisation eller polykondensation er den anden type polymerisationsproces. Den bygger på almindelig kemisk reaktion mellem to kemiske forbindelser. Fx vil en hvilken som helst syre og en hvilken som helst alkohol reagere med hinanden under dannelse af en ester og samtidig fraspaltning af vand.

Hvis man blander en dibasisk syre, dvs. en syre, som indeholder to syregrupper, med en divalent alkohol, dvs. en alkohol med to alkoholgrupper, kan der som en kædereaktion dannes esterbindinger i begge ender af begge monomermolekyler. For hver esterbinding, der dannes, dannes samtidig et molekyle vand.

Den række af polyamider, der betegnes med to tal, fx PA 6.6 og PA 6.10, dannes på tilsvarende måde ud fra en dibasisk syre og en diamin (et stof med to amingrupper: -NH₂).

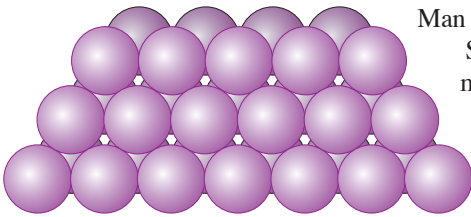
Ved polykondensation kan der ud fra en trifunktionel forbindelse, dvs. stof med tre reaktive atomgrupper, dannes tredimensionale polymerer med en netværksstruktur, som er karakteristisk for de såkaldte hærdeplast. Dannelsen af phenolplast ud fra phenol og formaldehyd er et eksempel (se formel nederst på siden).

Principiel
struktur-
formel for
phenoplast



Skematisk fremstilling af atompakning i en krystal

Atomerne er afbildet som kugler.



Krystaller og krystallitter

Som nævnt i teksten, kaldes de ordnede, krystal-lignende områder i polymerer ikke krystaller men *krystallitter* for at antyde, at de på væsentlige punkter afviger fra krystaller, selv om de på andre punkter ligner dem. Da polymerer ikke kan være 100 % krystallitiske, er der mest korrekt at kalde dem *delkrystallitiske*. Til daglig i plastbranchen siges og skrives ofte blot delkrystallinske eller krystallinske. Man siger *ikke*, at plastene krystalliserer, blot at de *krystalliserer*. Tilsvarende taler man om *krystallisation* og *efterkrystallisation*. Smeltepunktet kaldes den *krystallinske smelte-temperatur* eller *det krystallinske smeltepunkt*.

Plastpolymerers struktur

De elementer (ioner), som salte og metaller er opbygget af, pakker sig på en tæt, velordnet og regelmæssig måde, hvorved der dannes krystaller.

Man siger, at strukturen af sådanne stoffer er krystallinsk.

Store molekyler som i polymererne vil derimod ofte være uregelmæssigt og tilfældigt arrangeret i forhold til hinanden og således bevirke en ikke-krystallinsk, såkaldt *amorft* eller glasagtig struktur.

Årsagerne til disse forskellige paknings- eller lejrings tilstande er at finde i de kræfter, der virker mellem atomerne og molekylerne.

Næsten alle grundstoffer i fast tilstand kan danne krystalstruktur, men det er mest udtalt ved metallerne. Metalbindingens natur medfører, at atomerne tilstræber at pakke sig tættest muligt i et geometrisk regelmæssigt, rumligt atomgitter.

En særlig form for krystalstruktur forekommer hos polymererne på grund af deres lange kædemolekyler.

Polymerers krystallinitet

Man har undersøgt strukturen af énkrystaller (enkelte krystaller) af polymerer. Det viser sig, at en lang række polymerer med kædemolekyler har en vis tendens til at danne krystal-lignende områder. Hos polymererne kaldes sådanne områder ikke krystaller, men *krystallitter*, fordi de er væsentligt forskellige fra krystaller, selv om de ligner krystaller på nogle punkter. Ind imellem sådanne krystallinske områder vil der altid være områder uden nogen form for orden. Disse ikke-krystallinske eller amorfe områder dannes populært sagt, fordi kædemolekylerne er så lange, at de let kommer i uorden.

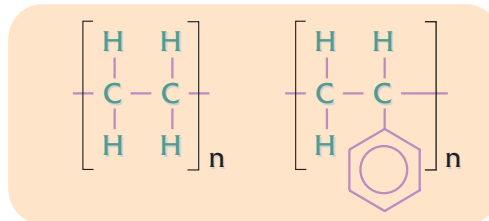
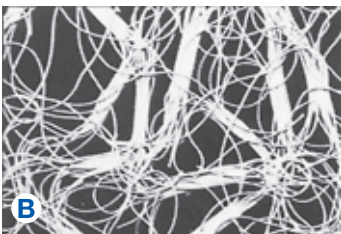
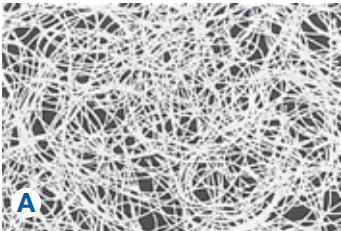
Jo nemmere molekyler - eller segmenter af molekyler - kan pakkes tæt sammen parallelt med hinanden i en konfiguration (form) med høj grad af orden, desto lettere opstår der krystallitter.

Den andel af en polymers masse, der er krystallinsk, kaldes krystalliniteten. I polyethylenmolekyler uden forgreninger eller med meget korte forgreninger (lineære molekyler som i PEHD) er krystalliniteten stor, mens stoffer med forgrenede molekyler (fx PELD) og stoffer med store sidegrupper af atomer knyttet til "rygraden" af carbonatomer (fx polystyren) har ringe eller slet ingen tendens til at danne krystallitter. Dette spiller en stor rolle for materialernes struktur og dermed for deres egenskaber.

Struktur i polymer

A. Amorf

B. Delkrystallinsk
(Plastens abz)



Molekyl-opbygning i polyethylen (ingen sidegrupper) og i polystyren (store sidegrupper)

Ikke-krystallinske stoffer

I mange faste stoffer forekommer der ikke en ordnet, regelmæssig pakning af atomer og molekyler, som er så karakteristisk for krystaller.

Strukturen i sådanne stoffer kaldes amorf, hvilket indikerer den mangel på struktur, som de besidder (morfologi = form-lære; amorf = uden form). Til de amorf grundstoffer hører eksempelvis svovl, fosfor og selen. En lang række forbindelser er også amorf; det gælder især oxider, som derfor ofte kaldes glasser, fx kvarts, som er siliciumdioxid (SiO_2). Mange højpolymere stoffer er ligeledes amorf, idet deres komplicerede molekyl-opbygning forhindrer, at der dannes krystallitter.

De amorf polymerer kan strukturmæssigt - og dermed også egenskabsmæssigt - inddeles som vist i tabellen.

Amorfe polymerer

De amorf termoplast

Stoffer med individuelle kædemolekyler

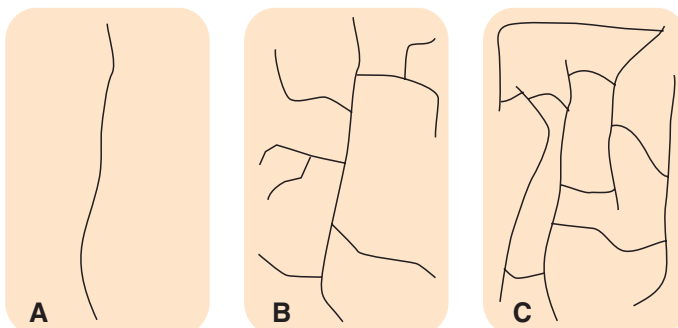
Hærdeplastene

Stoffer med tredimensionalt netværksmolekyler

Elastomererne

Stoffer med molekylarrangement, der er en mellemting mellem de to grænsetilfælde

Som tidligere omtalt, vil polymerer, der er dannet ud fra monomerer, hvoraf mindst én har en funktionalitet større end to, danne tredimensionale, rumlige netværksmolekyler.

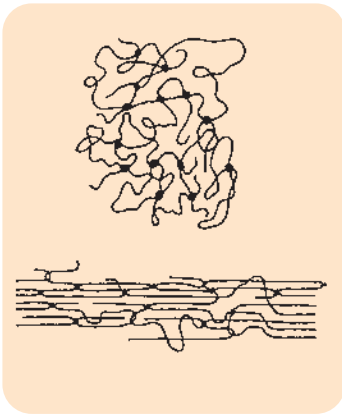


Skematisk fremstilling af forskellige molekylformer hos polymerer

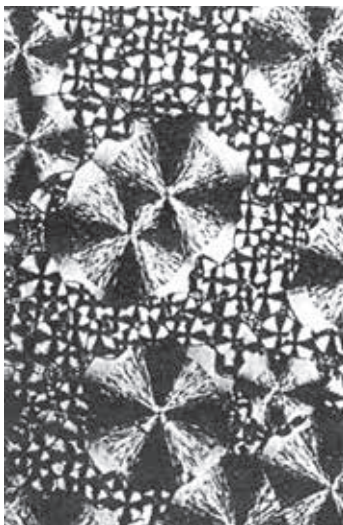
A. Et lineært molekyle

B. Et forgrenet molekyle

C. Udsnit af et (tre-dimensionelt) netværksmolekyle



Spredt tværbundne kædemolekyler i elastomer i hvile (A) og udstrakt (B).



Sfærolitter i polymer set i polariseret lys
(Textbook of Polymer Science, Fred W. Billmeyer. Copyright John Wiley & Sons, Inc.)

Et sådant stof med tredimensionalt netværksmolekyle kan ikke deformeres (formgives) hverken termisk eller mekanisk, uden at molekylstrukturen ødelægges. Derfor er det nødvendigt, at de sidste primære bindinger i molekylet først dannes under materialets forarbejdning til det endelige produkt. Plastpolymerer med en sådan struktur kaldes *hærdeplast*. Ideelt set må ethvert emne af hærdeplast kunne betragtes som et eneste kæmpe-molekyle. Hærdeplast danner ikke krystallitter og er derfor amorfe.

En mellemtilstand mellem de ovenfor beskrevne grænsetilstande er en struktur, der i hovedsagen består af kædemolekyler, men hvor disse er knyttet sammen gennem covalente bindinger enten af kædesegmenter eller af fremmede atomer eller atomgrupper. Sådanne stoffer vil være gummielastiske, idet de vil deformeres fx ved strækning - ofte til flere hundred procents forlængelse - og atter trække sig sammen, så snart belastningen aftager eller ophører. Der er stor afstand mellem tværbindingerne. Stoffer med en sådan struktur kaldes *elastomerer*. Naturgummi (polyisopren) er nok det mest kendte eksempel fra denne gruppe, men der forekommer en lang række af syntetiske gummier og af termoplastiske elastomerer.

Sfærolitter

I delkrystallinske polymerer vil krystallitdannelsen under størkning af en smelte (den flydende plastmasse) starte ved en kim, og tilvæksten vil ske radialt herudfra under dannelse af en cirkulær front. Sådanne fundamentalt set kugleformede krystallitkorn kaldes *sfærolitter*. Tilvæksten afbrydes, når fronterne fra voksende nabosfærolitter mødes, og der opstår korngrænser. Diameteren af sfærolitter er normalt 1-10 μm , men i enkelte tilfælde kan sfærolitter blive helt op til 1 mm store (lavmolekylær polyethylenglykol). Sfærolitter er lette at iagttage, idet de i lysmikroskop i polariseret lys fremtræder som sorte malteserkors.

De krystallinske polymerer består af to faser, idet de ikke er 100 % krystallinske. Derfor kaldes de ofte delkrystallinske eller delkrystallitiske. Krystallitterne er indlejret i en amorf fase, hvori molekylsegmenterne er så uordnede, at der ikke kan dannes krystallitter.

Krystalliniteten er 5-10 % i PVC, 25 % i polyethylenterephthalat, 50 % i PELD og 75 % i PEHD, i polyamid 6,6 og i polytetrafluorethylen.

Ved iblanding af tilsætningsstoffer øges i almindelighed antallet af faser. Eksempler herpå er phenolplast, der altid anvendes med fyldstoffer, naturgummi med kønrøg og glasfiberforstærket polyester. Kompositmaterialer er også flerfasede.

Termoplast, hærdeplast og elastomerer

Plastpolymerer med lineær (eller forgrenet) molekylær kædestruktur vil ved opvarmning blive bløde for til sidst at blive flydende. Dette sker, når den tilførte energimængde er tilstrækkeligt stor til at bryde de sekundære bindinger, som holder molekylterne sammen til et fast stof. Ved efterfølgende afkøling gendannes de sekundære bindinger, og stoffet størkner. Denne proces er reversibel og kan i princippet gentages i det uendelige.

Polymerer, der opfører sig således, kaldes termoplastiske. Til daglig kaldes de blot *termoplast*.

Andre plastpolymerer er opbygget af et tredimensionalt netværksmolekyle. Et sådant materiale vil ved opvarmning ikke smelte, idet alle dets dele sammenholdes af primære bindingskræfter i covalente bindinger. Når først det molekylære netværk er dannet, kan et givent emnes form aldrig ændres ved termisk påvirkning, uden at der samtidigt sker en nedbrydning af molekylet. Materialer med denne opbygning kaldes (termo)hærdelige, eller til daglig blot *hærdeplast*.

Hærdeplast må altså på tidspunktet for deres endelige, termiske formgivning have termoplastlignende karakter, og det tredimensionale netværksmolekyle må dannes under og efter formgivningen. Denne sidste - kemiske - proces benævnes ofte *hærdning*. Som regel foregår formgivning og hærdning i én og samme proces. Denne termiske formgivnings- og hærdeproces er således irreversibel, dvs. den kan ikke gentages.

Foruden de nævnte forskelle i molekylstruktur og forhold ved opvarmning er der en række andre punkter, hvorved de to plastgrupper adskiller sig markant fra hinanden.

Ved hærdeplast sker den endelige polymerisation som nævnt samtidigt med eller umiddelbart i forlængelse af formgivningen, ofte under anvendelse af tryk og varme. Af dette fremgår, at det er den produktfremstillende part, der er ansvarlig for materialernes slutegenskaber. Hærdeplastrmaterialerne eksisterer så at sige ikke som materialer, før formgivningen og den endelige hærdning er foregået. Produktfremstilleren styrer nemlig den kemiske proces, der resulterer i dannelsen af netværksmolekylet (hærdningen).

Ved termoplast sker polymerisationen hos polymerproducenten. Produktfremstilleren udøver ingen kemisk, men kun en fysisk proces på termoplastmaterialet, nemlig ved at give det en ny form ved hjælp af opvarmning til smeltning og efterfølgende afkøling til størkning. Dog kan der ske en - som regel uønsket - beskeden, termisk nedbrydning af termoplastmolekylerne.

Hærdeplast er hårde og stive, men ofte sprøde, hvorfor de næsten altid anvendes med tilsætning af fyldstoffer eller forstærkningsmaterialer. Termoplast derimod kan ved stuetemperatur variere fra stive til bøjelige. Selv om det er stadigt mere udbredt at tilsætte fyldstoffer, men især forstærkningsmaterialer (fx glasfibre) til termoplast, finder de meget udbredt anvendelse uden sådanne tilsætningsstoffer.

Hærdeplast kan generelt modstå højere temperatur end de almindelige termoplast. Imidlertid findes der særlige, højtydende termoplast, hvis varmebestandighed er fuldt på højde med hærdeplastenes eller bedre.

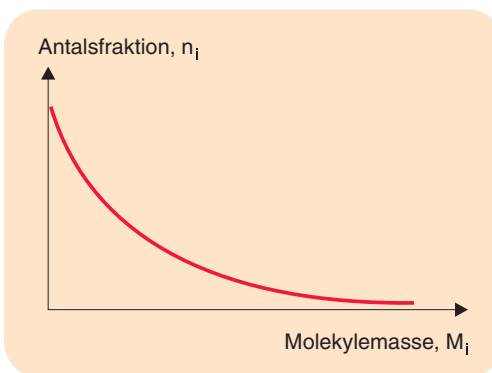
I almindelighed er hærdeplast som følge af den tredimensionale netværksstruktur ikke opløselige i opløsningsmidler, men der kan forekomme en vis kvældning (volumenforøgelse som følge af absorption af væske eller gas). Termoplast lader sig derimod generelt let opløse. Polyethylen kan dog ikke opløses ved stuetemperatur, men godt ved forhøjet temperatur.

Fejlbehæftede emner, kantafskæring og overskudsmateriale af hærdeplast kan ikke umiddelbart recirkuleres, mens det udmærket lader sig gøre med termoplast, forudsat at materialet ikke er blevet nedbrudt. Ofte blandes "jomfrueligt" (engelsk: virgin) termoplastmateriale med en vis andel genbrugsmateriale (regranulat).

Det, der er særligt karakteristisk for *elastomererne*, er deres gummi-egenskaber, dvs. deres evne til at deformeres lineært elastisk og at tåle store deformationer. I de vulkaniserbare gummier, både de naturlige og de syntetiske, sker der en tværbinding mellem polymermolekyler ligesom ved hærdeplastene, men der er langt større afstand mellem tværbindingerne. Derfor bliver maskerne i det rumlige netværksmolekyle meget store, og

den gummielastiske karakter opstår. I de *termoplastiske elastomerer* kombineres den termoplastiske forarbejdelighed med de konventionelle elastomerers gummielastiske egenskaber. Uden vulkanisering har de termoplastiske elastomerer gummielastiske egenskaber i et vist temperaturområde, men ved højere temperatur ophæves de kræfter, der giver disse egenskaber, og materialerne kan forarbejdes som termoplast ved sprøjtstøbning, ekstrudering osv. Overgangen mellem en forarbejdelig smelte og en fast, gummiagtig tilstand sker hurtigt og reversibelt. Den gummielastiske karakter opstår øjeblikkeligt ved afkøling. Produktionsaffald kan granuleres og iblandes nyt materiale uden væsentligt tab af fysiske egenskaber. Fordelene ved let forarbejdelighed i kombination med de mange interessante anvendelsestekniske egenskaber har betydet en hurtig vækst i forbruget af termoplastiske elastomerer. De erstatter hele tiden vulkaniseret gummi til en lang række anvendelser.

Molekylmasse og molekylmassefordeling



Typisk fordeling af molekyllængde eller molekylmasse i en polymer efter antalsfraktioner

Ofte anvendes udtrykket molekylvægt for molekylmasse. Det er imidlertid forkert, idet vægten af et legeme varierer med højden over havets overflade, mens massen er konstant. I engelsksproget litteratur om plast ses ligeledes ofte det forkerte udtryk molecular weight.

Under polymerisationsprocessen vil opbygningen af kædemolekyler starte mange steder samtidigt, kædemolekylerne vil vokse med forskellig hastighed, og væksten vil ophøre på forskellige tidspunkter. Disse forhold betyder, at de polymere molekyler typisk vil være af forskellig længde.

Ligesom man taler om massen af atomer, regner man med massen af molekyler. Massen af et lineært kædemolekyle er selvfølgelig ligefrem proportional med molekylets længde; men lige så snart der optræder forgreninger i molekylet, bliver længden en uinteressant størrelse. Derfor er det hensigtsmæssigt at regne med *molekylmasse* i stedet for molekyllængde.

Atommassen af hydrogen er 1, af oxygen 16 og af carbon 12. Molekylmassen af vand, H_2O , bliver da 18, og molekylmassen af metan, CH_4 , bliver 16.

I polyethylen er repetitionsenheden $-CH_2-CH_2-$; dens masse bliver 28. Følgelig bliver molekylmassen af polyethylen lig med antallet af repetitionsenheder gange 28. Med 10.000 repetitionsenheder bliver molekylmassen altså 280.000.

Da alle molekylerne ikke er lige lange, giver det imidlertid ingen mening at tale om de enkelte molekylers masse. For de enkelte polymere materialer angives derfor ikke en eksakt molekylmasse, men et molekylmasseinterval eller en middelværdi af alle molekylernes masse. De to mest anvendte middelværdier er *antalsmiddelværdien* (M_n) og *massemiddelværdien* (M_w). Antalsmiddelværdien fås ved analysemetoder, hvor man "tæller" antallet af molekyler af hver masse. Massemiddelværdien bygger på en metode, som tager mindre hensyn til lette molekyler. Derfor er M_w altid større end M_n .

Forskellige materialer kan have meget forskellige middelmolekylmasser. Fx varierer antalsmiddelmolekylmassen af polyethylen mellem ca. 15.000 og ca. 300.000 og af PVC mellem ca. 25.000 og ca. 50.000, mens den for polystyren er omkring 100.000.

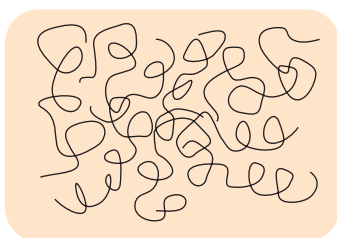
Molekylmasse har stor betydning ved formgivning af plastemner. Materialer med stor molekylmasse er mere tungtflydende i flydende til-

stand, end hvis molekylmassen er lille. En almindelig måde at bestemme polymerers flydeevne på er at bestemme deres smelteindeks (MFI = melt flow index). Smelteindekset angiver det antal gram materiale, som per 10 minutter passerer gennem en dyse med en bestemt diameter ved en given temperatur og et fastlagt tryk. Smelteindekset falder altså med stigende molekylmasse.

I visse situationer er det fordelagtigt at have et materiale med meget snæver molekylmassefordeling. I mange år har det hos råvareproducenterne været et udviklingsmål at kunne levere sådanne materialer. Bl.a. er de fordelagtige ved sprøjtetøbning af store, plane sektioner, når man vil undgå kastninger.

Middelmolekylmassen og molekylmassefordelingen påvirker i høj grad polymerens egenskaber. Høje værdier giver normalt en bedre egenskabsprofil. Ved ekstrudering kan man forarbejde materialer med høj molekylmasse, fordi strømningsmodstanden i gængse mundstykker er forholdsvis lille. Ved sprøjtetøbning kan kun materialer med forholdsvis lille molekylmasse forarbejdes på grund af den store strømningsmodstand i kanaler og i formindløbet.

Orienteringseffekter og indre spændinger (se næste afsnit) bliver ofte mere udtalt hos polymerer med høj molekylmasse.

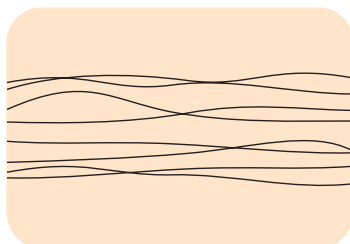


Model af kædemolekyler i normal ligevægtstilstand - ikke helt udstrakt og ikke helt sammenkrøllet

Molekylorientering

Hvis en polymer størkner fra smeltet tilstand uden samtidig påvirkning af ydre kræfter, vil der ikke være nogen fortrinsretning, hvori molekylerne vil lejre sig. De vil typisk lejre sig i en ikke helt udstrakt og ikke helt sammenkrøllet tilstand, som det er forsøgt anskueliggjort på figuren.

Hvis en sådan uorienteret polymer derimod udsættes for en ydre mekanisk last fx under størkningen, vil der ske en omorganisering af materialet. Ved hjælp af røntgenstråler har man vist, at kædemolekylerne fortrinsvis vil være orienteret i samme retning som den påtrykte kraft. Samtidig ændres emnets fysiske og mekaniske egenskaber markant. Således vil en lang række egenskaber være forskellige i forskellige retninger i emnet. Dette kaldes *anisotropi*. Typisk vil trækstyrken og stivheden øges i orienteringsretningen og formindskes på tværs af denne retning, mens brudtøjningen formindskes i molekylernes orienteringsretning. Også andre egenskaber, fx termisk udvidelse, varmeledningsevne, elektriske og optiske egenskaber, vil blive retningsafhængige.



Model af kædemolekyler i strakt og ensrettet tilstand i et stærkt orienteret materiale

Tilsætningsstoffer og andre hjælpestoffer

I mange tilfælde er egenskaberne af de rene plastpolymerer tilstrækkelige til en lang række anvendelser. Imidlertid kan man ofte med fordel ændre noget på visse egenskaber og dermed udvide anvendelsesmulighederne betragteligt.

Ved tilsætning af forskellige tilsætningsstoffer (additiver), ofte i ganske ringe mængde, til plastpolymererne kan de som regel opfylde de skærpede krav, som den tekniske udvikling stiller til moderne materialer. Til en vis grad kan man "skræddersy" materialesammensætninger med egenskaber eller egenskabskombinationer, som er tilpasset specifikke anvendelser.

Undertiden er det de færdige produkters egenskaber, man ønsker at forbedre. Det gælder fx, når udendørsbestandigheden af polyethylen forbedres ved tilsætning af kønrøg, og når PVC gøres gummi- eller læderagtig ved tilsætning af blødgøringsmidler. I andre tilfælde ønsker man de forarbejdningstekniske egenskaber forbedret, fx når PVC tilsættes varmestabilisatorer for at modvirke termisk nedbrydning under forarbejdningen, og når acrylplast og celluloseplast blødgøres for at reducere smelteviskositeten og dermed lette forarbejdningen.

Ved tilsætning af fiberformede hjælpestoffer - ofte i store andele - kan de mekaniske styrke- og stivhedsegenskaber forøges betydeligt.

Man må imidlertid være opmærksom på, at man altid, når der anvendes hjælpestoffer, kan risikere at påvirke andre egenskaber i negativ retning. Ved tilsætning af fibre til termoplast for at give øget mekanisk styrke reduceres slagsejheden.

I det følgende gennemgås kort de vigtigste grupper af hjælpestoffer og deres anvendelse.

Stabilisatorer

Varmestabilisatorer

Ved forarbejdning af plastmaterialer er der altid en risiko for, at temperaturen bliver så høj, at molekylkæderne går i stykker, og at polymeren nedbrydes med deraf følgende negativ indflydelse på de tekniske egenskaber. Det er særligt udtalt ved PVC. Man tilsætter derfor stabilisatorer, som modvirker denne tendens. Varmestabilisatorer er stoffer, som virker forsinkende på spaltning af molekyler eller på tilvækst af molekyler, og som samtidigt uskadeliggør nedbrydningsprodukterne i plasten.

Mange teorier er blevet opstillet for at forsøge at forklare mekanismerne ved termisk nedbrydning af PVC. Det er kendt, at der frigøres hydrogenchlorid (HCl), men ingen af teorierne har givet en dækkende forklaring, hvorfor forsøg på at stabilisere PVC bygger på erfaring. Utallige kemiske forbindelser er blevet prøvet som varmemestabilisatorer, og mange er i handelen. Hyppigst anvendes organiske og uorganiske metalforbindelser samt epoxyforbindelser, men også organiske phosphitter og polyhydroxyforbindelser anvendes som sekundære stabilisatorer sammen med de førstnævnte. De mest udbredte er baseret på bly og tin samt på barium, cadmium og zink. Disse såkaldte tungmetaller er imidlertid i de senere år blevet klassificeret som miljøskadelige, hvorfor der gøres en stor indsats for at finde mindre skadelige afløsere.

Antioxidanter

Ved forarbejdningstemperaturen kan plastpolymererne oxideres under indvirkning af luftens oxygen. Oxidation forekommer undertiden også ved temperaturer under materialets smeltepunkt, især i temperaturområdet 80-200 °C. Denne type termooxidation foregår dog langsomt, og plasten bliver hård og sprød. Der indtræder sædvanligvis en farveforandring fra gul over brun til sort, ofte under samtidig revnedannelse. Også mod denne form for angreb anvendes stabilisatorer, antioxidant, hvorved der ligeledes forekommer mere varmebestandige plastkvaliteter. Tit medfører antioxidant en svag farvetoning af plasten.

Ved oxidativ nedbrydning, som sædvanligvis sættes i gang af varme eller lys, dannes frie radikaler, og ofte fortsættes nedbrydningen ved en kædereaktion. Den ønskede virkning af stabilisatorer er derfor at forhindre dannelsen af frie radikaler, at neutralisere de dannede frie radikaler, før de når at forårsage yderligere nedbrydning, eller at afslutte en påbegyndt kædereaktion.

Dusinvis af antioxidant i handelen kan grupperes i fire grupper:

- Phenoler
- Aminer
- Phosphitter
- Thioestere

Monophenoler, bisphenoler, thiobisphenoler og polyphenoler udgør den største gruppe af primære antioxidant. I polyolefiner anvendes de typisk i mængder af 0,05-0,2 %. I umættede polymerer som ABS, slagfast polystyren og syntetisk gummi er op til 2 % nødvendig.

Amin-antioxidanter er meget økonomiske radikal-”fangere”. De anvendes især i syntetiske gummier i koncentrationer mellem 0,5 og 3 %.

Phosphitter er meget effektive antioxidant for de fleste polymerer. I kombination med phenoler medvirker de til at forhindre misfarvning fra quinon, som dannes af phenol-antioxidanterne. Ofte har de tilstrækkelig virkning alene, mens de i andre tilfælde anvendes i kombination med phenoler og aminer. I polyolefiner og polyurethaner anvendes 0,05-0,2 %, i slagfast polystyren 0,05-1,0 % og i ABS op til 0,5-3,0 %.

Thioestere anvendes hovedsageligt som sekundær stabilisator i polyolefiner, slagfast polystyren, ABS og syntetiske gummier. Skønt de undertiden frigiver uønskede lugte, er thioestere vigtige for at forhindre molekylmasseændringer ved lang tids udsættelse for høje temperaturer. Dilaurylthiodipropionat og distearylthiodipropionat er almindeligt anvendte thioestere, som i polyolefiner bruges i mængder af 0,1-0,3 %. I umættede polymerer kræves noget større mængder.

UV-stabilisatorer

Ved stuetemperatur oxideres ydermere mange plastmaterialer på overfladen under indvirkning af vejr og vind. Her spiller sollysets ultraviolette (UV) stråling en stor rolle. For at modvirke UV-strålingens nedbrydende effekt anvendes specielle UV-stabilisatorer såsom phthalater og undertiden kønrøg. UV-stabilisatorer anvendes oftest i polyolefiner. Kønrøg yder den bedste beskyttelse, men farver altid materialet kulsort, således at andre farvemuligheder går tabt.

Smøre- eller glidemidler

Forarbejdigheden af plastmaterialer hænger til en vis grad sammen med anvendelsen af smøremidler, som også undertiden kaldes glidemidler.

Ved forarbejdning ved forhøjet temperatur vil en plastsmelte ofte være usædvanligt sejtflydende og have tilbøjelighed til at klæbe til værktøjets overflade. På grund af risikoen for termisk nedbrydning af plastpolymeren kan man ikke bare hæve temperaturen vilkårligt for at gøre den mere letflydende. Større tilsætning af blødgøringsmiddel hjælper ikke altid og er heller ikke altid ønskelig. Glidemidler har en gunstig indvirkning på slutprodukternes udseende.

Af disse grunde tilsættes plast ofte midler, som forbedrer flydeegenskaberne. De kan betragtes som smøremidler, hvis opgave er:

- at reducere adhæsionen mellem plastmateriale og maskineri
- at reducere den indre friktion i plastmaterialet

For lille tilsætning af smøremiddel medfører skader på materialet og hyppigt for høj smelteviskositet. Ved for meget smøremiddel reduceres friktionen til et vist punkt, hvor materialet kommer i for stærk glidning, således at udstødning vanskeliggøres.

Smøremidler behøver kun at være begrænset forenelige med den pågældende polymer, men bør være så virksomme, at blot 1-2 % tilsætning til polymeren er tilstrækkelig.

Man inddeler smøremidler i fire grupper:

- Fedtsyrer, fx stearin-, palmitin-, eruca- og myristinsyre. Stearinsyre tjener fx som hjælpemiddel i 0,1-0,2 % tilsætning ved kalandring og ekstrudering af PVC.
- Amider og estere af fedtsyrer, fx med glycerin. Eksempelvis forbedres klarheden af stiv PVC med 0,5-3,0 % tilsætning af syntetiske ester-vokser. Amidvokser tjener som indre smøremiddel i ABS, og stiv PVC i phenolplast- og carbamidplastpressemasser.
- Metalsalte af fedtsyrer, især aluminium-, calcium-, bly-, lithium-, magnesium-, natrium- og zinkstearat. De tjener som indre smøremiddel i ABS, celluloseplast, PVC, polystyren, polyolefiner og polyamider samt phenol- og aminplast i mængder på 0,05-3,0 %.
- Langkædede hydrocarboner i form af mikrokrystallinske vokser, paraffiner, paraffinolier, montansyreester, men også naturlige vokser som carnaubavoks og bivoks. Tilsætningsmængder i PVC fx 0,5-3,0 %.

Smøremidler er for det meste specifikke for et bestemt plastmateriale og en bestemt forarbejdningsmetode. Det er derfor altid vigtigt at vælge det rette smøremiddel til en bestemt plast. Således kræves der fx zinkstearat eller stearinsyreamid til polystyren, mens metalstearater i kombination med glycerin-monostearater er velegnede til ABS-systemer. Ved styren-acrylnitril-copolymer er fedtsyreamider tilstrækkelige. Til PVC er calciumstearat og hydrocarbonvokser egnede som henholdsvis indre og ydre smøremiddel. Til forstærket polyester foretrækkes zinkstearat.

Disse få eksempler viser, hvor vigtigt det er at afstemme smøremidlet med råvaren og den aktuelle forarbejdningsproces, og at det er vigtigt at foretage valget i samarbejde med leverandøren.

Farvestoffer og pigmenter

Alle plastpolymerer kan indfarves. De fleste er i ren tilstand farveløse eller hvidlige, og indfarvningsmulighederne er principielt ubegrænsede.

En række plastpolymerer med gullig eller gulligbrun egenfarve kan dog kun vanskeligt laves i lysere farver.

Der stilles en række skrappe krav til farvestoffer til plastmaterialer. De skal stort set kunne modstå de samme påvirkninger som den polymere.

Man skelner mellem følgende grupper af farvestoffer:

- Opløselige farvestoffer
- Organiske pigmenter
- Uorganiske pigmenter
- Specialfarvestoffer

Opløselige farvestoffer

De opløselige farvestoffer omfatter organiske forbindelser, som er opløselige i almindelige opløsningsmidler. Det er aromatiske forbindelser med begrænset lys- og varmebestandighed ved de forarbejdningstemperaturer, der gælder for plastmaterialer. De er ofte følsomme for migrering og er ikke særligt kemikaliebestandige. Desuden er de oftest ret dyre. Alligevel anvendes de, når der skal opnås strålende, transparente farvetoner fx i polystyren, celluloseplast og acrylplast. Normalt bruges de i mængder på 0,25-5,0 %.

Organiske pigmenter

Organiske pigmenter er uopløselige og påvirker derfor ikke plastmaterialet, hverken fysisk eller kemisk. De har god dækkeevne og er overordentligt farvekraftige. Lysbestandigheden kan være særdeles god, og varmebestandigheden er bedre end hos de opløselige farvestoffer, men dog ikke så god som hos de uorganiske pigmenter. Til gruppen hører blandt andet alizarinderivater, phthalocyanin, benzidin, kønrøg og metal-azoforbindelser. De anvendes i koncentrationer på 0,001-2,5 %.

Uorganiske pigmenter

Uorganiske pigmenter, mest metaloxider og -salte, er tætte, tunge og uopløselige. De har udmærket dækkeevne og er meget farvekraftige, men giver ingen strålende glans. Hvad angår varme- og lysbestandighed, overgår de såvel de opløselige farvestoffer som de organiske pigmenter. I modsætning til de organiske pigmenter brænder og forkuller de ikke. De er tungere end de øvrige typer. De absorberer næsten ikke blødgøringsmidler og er meget kemikaliebestandige. Vigtige repræsentanter for denne gruppe er zinksulfid, zinkoxid, jernoxid, cadmium-manganforbindelser, chrom- og molybdænforbindelser, ultramarin og titandioxid. Til praktisk talt alle plast kan de anvendes i mængder på 0,01-10,0 %.

Specialfarvestoffer

For at opnå specielle farvevirkninger anvendes andre stoffer. Fx opnås metaleffekt med aluminium- og kobberpulver og perlemorseffekt med blycarbonat eller vismutoxichlorid samt kombination af titandioxid og glimmer. Til denne gruppe hører også de fluorescerende farvestoffer.

I handelen forekommer farvestofferne i flere former. Tørt farvepulver kan indeholde befugtning- eller glidemidler, men støvdannelse er en stor ulempe. Farvekoncentrater er koncentrater af farvestoffer dispergeret i en plastpolymer. Masterbatch er en meget anvendt benævnelse. De sættes til polymeren i et bestemt forhold for at opnå en ganske bestemt farvenuance. De er lette at afveje, støvfri og godt dispergeret, så de fordeles let i polymeren.

Til specielle formål, først og fremmest ved PVC-forarbejdning, anvendes pastaformige koncentrater, hvor farvestoffet er dispergeret i en blødgører. De er endvidere særdeles egnede til flydende hærdeplast fx polyester og epoxyplast.

Indfarvning kan ske ved fremstilling af plastmaterialet - altså hos råvareproducenten, under forarbejdning af materialet og efter forarbejd-

ningen, dvs. ved overfladebehandling - maling - af det færdige emne. Indfarvning under forarbejdningen er den vigtigste metode.

Brandhæmmere

Nogle plastpolymerer antændes let, andre er svært antændelige, men de er alle sammen brandbare. Et materiales antændelseslethed har imidlertid ingen sammenhæng med dets opførsel i en brandsituation. Afgørende er først og fremmest brandrisikoens karakter og plastmaterialets opbygning.

En brand forløber principielt i fire faser og kan således forhindres eller begrænses, hvis der sættes ind i blot én af de fire faser

1. Tilførsel af varme
2. Dannelse af gasformige, brandbare spaltningsprodukter
3. Nedbrydningsprodukter fra den polymere udslipper til atmosfæren
4. Antændelse af disse fragmenter af den oprindelige varmekilde og luftens oxygen. Derved frigøres mere varme, og forbrændingen kan vedligeholdes

Forløbet af en brand, der involverer plast, kan ofte begrænses væsentligt ved anvendelse af brandhæmmende additiver i plasten.

De verdensomspændende strengere og strengere sikkerhedsbestemmelser inden for byggeri, transport og andre industrier stiller sammen med den stigende anvendelse af plast voksende krav til betydningen af brandhæmmende tilsætningsstoffer til plastindustrien.

Godt halvdelen af de brandhæmmende midler udgøres af phosphorsyreestere, mens chlorerede paraffiner udgør omkring 30 %, antimontrioxid ca. 12 % og borforbindelser resten.

Man skelner mellem fire grupper af brandhæmmende midler:

- Stoffer, der danner tunge gasser, fx antimonoxichlorid, som derved udgør et varmeisolerende lag eller udøver en kvælende virkning på branden.
- Stoffer, som ved en varmekrævende (endoterm) reaktion udøver en afkølede indflydelse på brandzonen.
- Stoffer, der som phosphorsyreestere danner et afskærmende lag, som holder oxygenen væk.
- Stoffer, som afbryder forbrændingsreaktionen, idet der dannes frie radikaler, hvoraf der dannes færre brandbare stoffer.

Almindeligvis inddeles de brandhæmmende midler i tre grupper: Organiske additiver, uorganiske additiver og reaktive midler

Organiske additiver

De blandes i polymeren. De vigtigste forbindelser i denne gruppe er phosphorsyreestere og chlorerede paraffiner. Sammen med antimontrioxid tilsættes de i mængder op til 50 %.

Uorganiske additiver

Til denne gruppe hører forbindelser som aluminiumoxid, antimontrioxid, zinkborat og andre bor-, barium- og phosphorholdige kemikalier. De anvendes i tilsætninger fra 3-20 %.

Reaktive midler

I de fleste tilfælde drejer det sig om chlor- og bromholdige monomerer, fx vinylbromid, tetrachlorphthalsyreanhydrid, tetrachlorbisphenol A. Med sådanne stoffer indbygges den brandhæmmende effekt i polymeren ved copolymerisation. De vigtigste repræsentanter for disse polymertyper er brandhæmmende polyester, epoxyplast og polyurethan. Halogenindholdet udgør 10-35 %.

Brandhæmmende overfladebehandling

Foruden tilsætning af egnede kemikalier på den ene eller anden måde har brandhæmmende overfladebehandling givet gode resultater.

Disse overfladebelægninger - brandhæmmende maling - påføres plastemnernes overflade, hvor de under indvirkning af varme svulmer op og danner et skum, som virker varmeisolerende og hindrer luftens adgang. Teknikken, der kaldes *intumescens*, virker fra et brandforløbs første fase.

Brandhæmmende tilsætninger anvendes i dag ved alle de almindeligste plast.

Ved polyethylen anvendes enten chloreret polyethylen med højst 43 % chlorindhold, eller der tilsættes halogenholdige paraffiner, hvorved halogenets virkning ved tilføjelse af antimontrioxid eller phosphor kan øges. Et brændende emne af polyethylen, der indeholder 10 % af en blanding af 45-60 % chloreret paraffin og 40-55 % af en organisk antimonforbindelse, slukker inden for to sekunder, efter at antændelsesflammen fjernes.

PVC behøver ikke tilsætning af brandhæmmende midler, hvis den indeholder phosphorsyreester som blødgøringsmiddel. Polymerens indhold af chlor er tilstrækkeligt til at gøre materialet selvslukkende. Ellers kan der tilsættes antimontrioxid eller eksempelvis zinkborat. I PVC med 45-50 % blødgøringsmiddel giver tilsætning af 10 % tricresylphosphat - eventuelt sammen med 2 % antimontrioxid - gode resultater.

Til polystyren er antimonforbindelser også velegnede. Man kan dog også anvende chlorerede paraffiner (35 % chlorindhold) eller en blanding af 20 % chlorparaffin og 10 % antimontrioxid med 3-10 % phosphorsyreester. Ved ekspanderet polystyren har ammoniumphosphat, tetrabrommethan og tetrabromacetylen vist sig velegnet.

ABS kan brandhæmmes ved tilsætning af passende additiver eller ved indbygning af halogenholdige monomerer.

Brandbarheden af acrylplast kan nedsættes ved tilsætning af fosfat- eller halogenholdige forbindelser og ved iblanding af PVC. Det er vigtigt, at additiverne er lys- og fugtbestandige.

Til polyamider anvendes normalt aromatiske bromforbindelser og eventuelt antimontrioxid.

Epoxyplast kan gøres brandhæmmende ved anvendelse af halogenerede bisphenoler som reaktionskomponent eller ved anvendelse af halogenerede syreanhydrider fx hetsyreanhydrid som hærder.

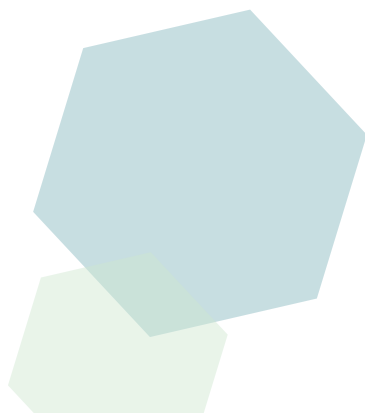
Phenolplast er ikke i sig selv brandbare, undtagen når der anvendes organiske fyldstoffer fx cellulose. I så fald reduceres brandbarheden ved tilsætning af phosphorsyreestere eller ved anvendelse af bromholdige phenoler som reaktionskomponent - også i kombination med antimontrioxid.

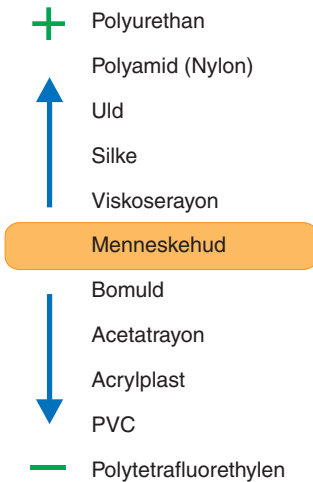
Umættet polyester og de deraf fremstillede glasfiberforstærkede plastmaterialer er den plastgruppe, der tegner sig for det største forbrug af brandhæmmende additiver. Brandbarheden reduceres enten ved anvendelse af reaktive monomerer, fx hetsyre, ved additionspolymerisationen eller ved tilsætning af ikke reaktive additiver fx dichlorstyren og triallylphosphat. Desuden anvendes både antimontrioxid og aluminiumtrihydrat.

Antistatmidler

Ved forarbejdning af materialer med stor elektrisk isoleringsevne, fx plast, opstår let elektrostatisk opladning. Det kan også forekomme ved brugen af færdige emner. Alene en vedvarende luftstrøm hen over et plastemne vil kunne medføre elektrostatisk opladning.

Elektrisk modstand i et materiale er udtryk for, at elektroner ikke kan transporteres gennem materialet, og at det dermed heller ikke kan optage eller afgive elektroner. Elektrostatisk opladning er en ophobning af ladede partikler eller ioner på et emnes overflade.





Det kan medføre generende tiltrækning af støvpartikler, som også oplades statisk af luftbevægelser. Men den største ulempe er opladning under selve forarbejdningen af plastmaterialer, fx blæsning af flasker og folier, presning af grammofonplader og fibertrækning. Ikke blot generes produktionsforløbet, der kan også opstå risiko for dannelse af gnister, som kan antænde blandinger af gasser, dampe, støv og luft.

Elektrostatisk opladning opstår i princippet, når som helst to forskellige materialer slipper kontakten med hinanden. Der behøver ikke at forekomme egentlig gnidning. Derved opstår der tosidig opladning med modsatte fortegn. En overflade, som ved adskilleelsesprocessen mister elektroner, får en positiv opladning; den anden flade, som modtager elektroner, oplades negativt. I opstillingen til venstre er en række plastmaterialer og naturprodukter ordnet, således at et materiale ved gnidning mod et andet, der står lavere, vil oplades positivt, mens det vil oplades negativt ved gnidning mod et materiale, der står højere. Jo længere to materialer står fra hinanden på listen, jo større ladning opstår der.

Forsøg har vist, at en person med lædersåler under skoene bliver positivt opladet på et tæppe af acrylfibre, da disse tiltrækker elektroner, men negativt på et nylontæppe, idet polyamid i dette tilfælde afgiver elektroner. Forskellige tæppematerialer kan altså give modsat effekt, og det samme kan forskellige skosåler.

Plastpolymerer er i kraft af deres høje specifikke modstand ideelle elektriske isolatorer. Foruden elektrostatisk opladning af overflader kan der opstå en såkaldt rumladning, som trænger dybere ind i materialet, jo større dets isoleringsevne er.

Elektrostatisk opladning kan undgås eller reduceres:

- ved høj relativ luftfugtighed (> 65 %)
- ved ionisering af luften med passende midler
- ved hjælp af antistatiske midler, såkaldte antistatika

Antistatika er kemikalier, som forhindrer ophobning af elektrostatiske ladninger ved at gøre et materiales overflade ledende. Man skelner mellem:

- ydre antistatika, som påføres emnet
- indre antistatika, som blandes i materialet

Ydre antistatika har kun forholdsvis kortvarig virkning, idet de let fjernes igen ved aftørring eller under brug. Varig effekt har kun indre antistatika. De blandes i materialet forud for forarbejdning i mængder på 0,1-1,0 %.

De fleste antistatika er hydrofile (vandopløselige) kemikalier (fx glycerin og ethylenglykol) i forbindelse med overfladeaktive stoffer. Ved tiltrækning af fugt fra luften danner de på et emnes overflade en molekylær vandhinde, som er ledende. Ødelægges denne hinde, vil der ved indre antistatika vandre nyt materiale ud til overfladen for at genoprette ligevægten. Ved denne mekanisme lykkes det at beskytte produkter i lang tid mod elektrostatisk opladning.

Man har fire grundtyper af antistatika, nemlig:

- Aminer
- Kvaternære ammoniumforbindelser
- Phosphorsyreestere
- Polyethylenglykolestere

Dog kan også metalpulver, grafit og sod (kønrøg) anvendes.

De i handelen forekommende antistatisk modificerede plastmaterialer anvendes frem for alt til emballage og til industrielle formål. Ledningsevnen afhænger i sidste ende af slutanvendelsen. Går man ud fra, at le-

materialer har en modstand på mindre end $10^4 \Omega$ (ohm), vil et materiale kunne kaldes antistatisk med en modstand på 5×10^4 til $10^8 \Omega$. Ved tekstiler og emballagefolier er $10^9 \Omega$ tilstrækkeligt, men eksempelvis skal drivremme i bjergværker i England have en modstand på under $5 \times 10^4 \Omega$.

Blødgøringsmidler

Ved tilsætning af blødgøringsmidler til termoplast kan man reducere - ofte ganske meget - på plastmaterialernes stivhed, hårdhed og smelteviskositet. PVC forekommer fx i blødgjort tilstand med op til 50 % blødgøringsmiddel.

Gruppen af blødgøringsmidler omfatter faste og flydende, organiske forbindelser og blandinger heraf, som ved opløsning eller kvældning virker reducerende på de sekundære bindingskræfter mellem polymermolekylerne, hvorved plasten blødgøres.

Anvendelse af blødgøringsmidler påvirker glasovergangstemperaturen (T_g) ganske væsentligt. T_g sænkes, hvorved et materiale, der ellers ved stuetemperatur befinder sig i sin glastilstand, kan bringes i sin læder- eller gummiagtige tilstand.

En tilsvarende effekt kan i øvrigt også opnås ved copolymerisering, hvorved hjælpestoffet indbygges i polymerens kædemolekyler.

Mange anvendelser af plast- og lakråmaterialer var ikke mulige uden blødgøringsmidler.

Kamfer er formentlig det ældste blødgøringsmiddel; det blev allerede omkring 1870 brugt ved fremstilling af cellulosenitrat af nitrocellulose.

I dag findes der flere hundrede forskellige blødgøringsmidler til de mest forskellige formål. Det store antal fremkommer, fordi der stilles store fordringer til disse stoffer, og der findes intet, hvori alle egenskaberne forenes.

Af et blødgøringsmiddel forlanges, at det er:

- Lysbestandigt
- Kuldebestandigt
- Varmebestandigt
- Vandbestandigt
- Vandskyende
- Lugtfrit
- Præisgunstigt
- Farveløst
- Sundhedsmæssigt ubetænkeligt
- Ikke flygtigt
- Ikke brandbart
- Opløseligt
- Foreneligt med plast og andre hjælpestoffer

En sådan ønskeseddel kan begribeligvis ikke opfyldes af noget enkelt stof.

Typiske stofgrupper, der anvendes som blødgøringsmidler i termoplast, er:

- Estere
- Polymerer
- Chlorerede paraffiner
- Modificerede olieprodukter

Omkring 80 % af blødgøringsmiddelforbruget anvendes til PVC, mens resten hovedsageligt bruges til celluloseplast.

En del af blødgøringsmidlerne er giftige for mennesker; det gælder fx phosphorsyreestere.

Desuden har estere af phthalsyre i de seneste år påkaldt sig sundhedsmyndighedernes opmærksomhed.

Opkunningsmidler

Formålet med at tilsætte opkunningsmidler til plastmaterialer er at skabe en cellestruktur i materialet. Materialet skummer op under celledannelsesprocessen.

Hensigterne med at ønske en cellestruktur kan være mangfoldige:

- Materiale- og omkostningsbesparelse
- Egenskabsændringer, fx varme- og lydisolation, overfladeudseende, bedre stivhed, forebyggelse af sugninger i sprøjtetøbte emner, variation af elektriske egenskaber, reduceret vægt

Afhængigt af hvorledes celledannelsen styres, kan der opstå lukkede eller åbne celler. Almindeligvis har termoplast kun få åbne celler, mens langt hovedparten er lukkede. Derimod fremstilles hærdeplast, især polyurethan, hovedsageligt med åbne celler og kun en beskedent andel lukkede.

Alle termoplast kan forskummes, men kun få har fundet væsentlig kommerciel anvendelse: PVC, polyethylen, polypropylen, polystyren. Markedet for termoplast med cellestruktur er stigende. Også tværbundet polyethylen og andre hærdeplast fremstilles med cellestruktur. Opkunnning kan foregå ved alle konventionelle forarbejdningsmetoder: sprøjtetøbning, ekstrudering, kalandrering.

Listen over anvendelser af plast med cellestruktur er vilkårligt lang. Typiske eksempler er gulvbelægning, gulvtæppebagsider, tapet, emballage, rørisolering, bakker til fødevarer, kabinetter til tv og kontormaskiner, legetøj, polstermaterialer.

Fysisk virkende opkunningsmidler

Opkunningsmidler kan virke fysisk, nemlig ved fordampning fra væsketilstand, eller ved ekspansion af en gas under tryk. Den sidstnævnte metode bruges almindeligvis til lette materialer af termoplast og hærdeplast især polyurethan.

Der skal tilsættes specielle additiver for at regulere cellernes ensartethed, fordeling, størrelse og form.

Chlorfluorcarboner (CFC-gasser) og hydrochlorfluorcarboner (HCFC) var tidligere stærkt dominerende repræsentanter for gruppen af fysisk virkende opkunningsmidler. Som følge af bekymringerne for, at disse stoffer kan virke nedbrydende på jordatmosfærens ozonlag, er de imidlertid stærkt på retur, og produktionen og forbruget forventes standset helt inden for ganske få år.

Hydrocarboner som propan, butan og pentan anvendes også, men de er betænkelige på grund af deres brandbarhed og miljøpåvirkning.

Inerte gasser, fx nitrogen, carbondioxid, argon og neon, antages at få stærkt stigende anvendelse, skønt de er vanskeligere at fremstille.

For at igangsætte celledannelsesprocessen til rette tid tilsættes yderligere kimdannende stoffer: talkum og andre silikater samt stearater.

Mest lovende af de fysisk virkende opkunningsmidler er nitrogen, men det er endnu meget svært at opnå massefylder under 300 kg/m^3 med eksisterende udstyr. Gode resultater fås også med blandinger af halogeneret gas og alkaner og af carbondioxid og alkaner.

Kemisk virkende opkunningsmidler

Kravet til de kemisk virkende opkunningsmidler er frem for alt, at de skal levere den tilstrækkelige mængde gas til opnåelse af cellestrukturen. Gasdannelsen skal foregå i et temperaturområde tæt ved materialets forarbejdningsstemperatur. Desuden er det vigtigt, at gasdannelsen ikke

sker eksplosivt og med stor varmeudvikling, men langsomt og med et minimum af energifrigivelse eller allerhelst under energiforbrug. Et ideelt kemisk virkende opskumningsmiddel findes ikke, men visse forbindelser er blevet anvendt i praksis med tilfredsstillende resultat. De væsentligste produkter i denne gruppe er enten uorganiske, fx natriumbicarbonat og natriumborhydrid, eller organiske, fx azodicarbonamider og andre hydrazinderivater, organiske syrer, semicarbazider og tetrazoler.

Fyldstoffer

Fyldstoffer er sædvanligvis pulverformede stoffer, som sættes til plastpolymerer for at drøje dem, dvs. for at billiggøre dem uden samtidigt at påføre uacceptable egenskabsændringer (passive fyldstoffer), eller for at forbedre visse egenskaber (aktive fyldstoffer).

Med træmel, stenmel, ler og kridt som fyldstof ønsker man i første række at sænke prisen. Glas, specielt i form af lange fibre, giver øget slagsejhed hos hærdeplast og forbedret dimensionsstabilitet. Asbestmel, som er stærkt på vej ud af markedet på grund af sundhedsrisikoen, giver øget varmebestandighed, mens glimmer medfører forbedret elektrisk ledningsevne samtidig med øget varmeledningsevne. Molybdænsulfid og grafit anvendes for at mindske friktionen og dermed også slitage i bevægelige dele fx kuglelejer. Metalpulver giver øget varmeledningsevne og bedre trykstyrke.

Indholdet af fyldstoffer kan variere fra ganske lidt til op til 50 %, afhængigt af hvilke egenskaber man ønsker i slutproduktet.

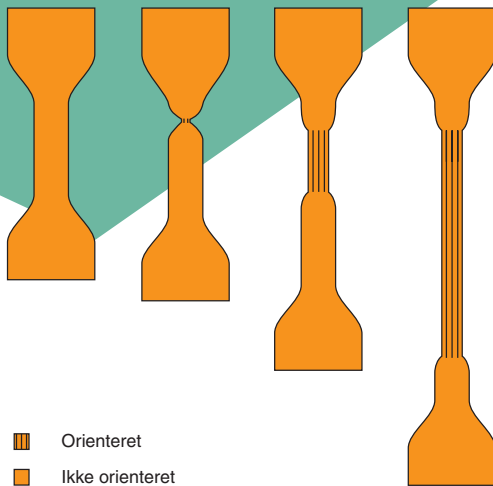
Ofte kan der ikke skelnes skarpt mellem egentlige fyldstoffer og hjælpestoffer med mere speciel effekt som beskrevet i de foregående afsnit.



Forstærkningsmaterialer er behandlet i kapitlet om forstærkningsfibre.

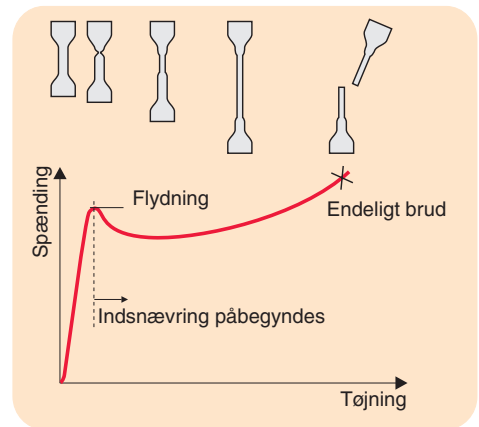




GENERELLE EGENSKABER VED PLAST



 Orienteret
 Ikke orienteret



Termiske egenskaber

Polymere materials egenskaber påvirkes i væsentligt højere grad af temperaturen end de fleste metaller og keramiske materialer. Det kommer til udtryk ikke blot som forholdsvis store egenskabsændringer, når temperaturen ændres, men også ved at de kritiske temperaturer - først og fremmest glasovergang og smeltning - er meget lave. Derudover kan der forekomme mindre markante, termiske omdannelser. I rendyrket form forekommer glasovergang kun hos amorfe materialer. Hos de delkrystallinske plast har glasovergang kun forholdsvis lille betydning. Smeltning forekommer alene i den krystallinske fase hos delkrystallinske materialer.

Foruden de rent fysiske parametre, som er betydende for materialernes termiske egenskaber, har tiden væsentlig indflydelse, når det gælder polymerer. Forhøjet temperatur fører nemlig ofte til effekter, som kan betragtes som forandringer i polymerernes kemiske struktur. Jo længere tid materialet udsættes for varme, desto mere udpræget bliver disse forandringer normalt. Der er tale om ældningseffekter. Et almindeligt eksempel herpå er forsprødnings. En parameter som maksimal anvendelsestemperatur vil således i høj grad være bestemt af den tid, i hvilken komponenten tænkes anvendt.

Hos plastene - først og fremmest de amorfe - gælder det, at deres endelige egenskaber påvirkes af afkølingshastigheden under forarbejdningen. Denne effekt betegnes fysisk ældning og behandles senere - men først skal fænomenet glasovergang gennemgås.



Tilstandsformer - glasovergang

Tilstandsformer hos lavmolekylære stoffer

Lavmolekylære stoffer forekommer normalt i tre forskellige tilstandsformer: Fast, flydende og luftformig. Hvilken af tilstandsformerne, der er til stede i et aktuelt tilfælde, afhænger hovedsageligt af temperaturen. Stoffernes egenskaber er afgørende forskellige i de forskellige tilstandsformer.

Fast tilstandsform er karakteriseret ved forekomsten af et bestemt volumen og en bestemt form. Er molekylerne eller atomerne regelmæssigt ordnet, er stoffet krystallinsk; er molekylerne uordnede, er stoffet amorf.

Flydende tilstandsform, væske, er karakteriseret ved et bestemt volumen, men en ubestemt form.

Luftformig tilstandsform, gas, karakteriseres ved ubestemt volumen - en luftart udfylder hele det rum, den befinder sig i - og ubestemt form.

Overgangen fra en tilstandsform til en anden sker ved ganske veldefinerede temperaturer for hvert enkelt stof.

Når et stof omdannes fra fast til flydende tilstand, siger man, at det smelter. Når det modsatte sker, siger man, at det størkner eller fryser. Den temperatur, hvorved omdannelsen sker, kaldes stoffets *smeltepunkt* (smelte-temperatur), *frysepunkt* eller *størkningspunkt* (frysetemperatur).

Overgår et stof fra flydende til luftformig tilstand, fordampes eller koger det, mens det fortættes eller kondenseres, når det omdannes fra luftformig til flydende tilstand. Omdannelsestemperaturen kaldes tilsvarende for *kogepunkt* (evt. fordampningstemperatur) eller *fortætningspunkt* (fortætningsstemperatur).

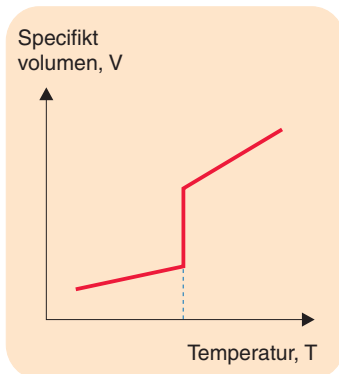
Tilstandsformerne repræsenterer forskellige energiindhold. Ved højere temperatur tilføres et stof så megen energi, at de bevægelser og svingninger, der altid foregår i atomer og molekyler, øges. Ved fortsat energitilførsel vil først de sekundære bindingskræfter, der holder fx ionerne i et salt på plads i et krystalgitter - og dermed gør stoffet fast - overskrides med det resultat, at stoffet smelter. Senere vil de bindingskræfter, der stadig holder stoffet sammen til en væske, også overskrides: stoffet fordampes. I dampfasen virker ingen intermolekylære kræfter, men kun de primære bindingskræfter, som stadig holder atomerne sammen til molekyler.

Omdannelserne mellem de tre tilstandsformer, fast, flydende og luftformig, kaldes 1. ordens omdannelser.

Et stofs specifikke volumen (m^3/kg) ændres markant, når smeltepunktet passerer.

Desuden er typisk også egenskabernes temperaturafhængighed forskellige i forskellige tilstandsformer. På figuren, der viser ændringer af specifikt volumen med temperaturen, angiver kurvens forskellige hældninger, at den termiske udvidelseskoefficient er forskellig i fast og i flydende tilstand.

Ændring af specifikt volumen ved smeltning af et lavmolekylært, krystallinsk stof



Glasovergang - glastilstand

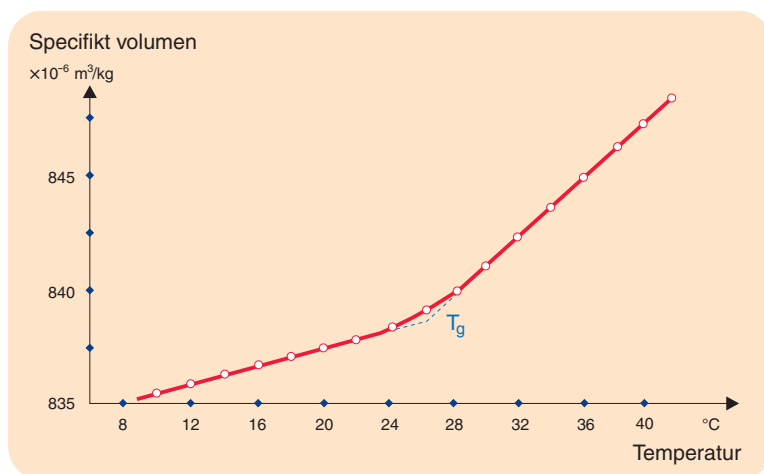
Polymerer opfører sig anderledes end det, der lige er beskrevet, og som gælder for krystallinske, lavmolekylære stoffer. Alle plasttyper er polymerer, men ikke alle polymerer er plast!

Ved tilstrækkeligt lav temperatur vil enhver polymer komme i en tilstand, hvor den optræder glasagtigt med hensyn til mekaniske egenskaber, idet den bliver hård, sprød og næsten ideelt elastisk. (Et ideelt elastisk materiale er karakteriseret ved, at det ved deformation og efterfølgende aflastning går helt tilbage til dets oprindelige form). Den indbyrdes bevægelighed af kædemolekylerne er forhindret; strukturen er fastfrosset. Hverken formændring eller indbyrdes glidning mellem molekylerne er mulig. Denne tilstand kaldes glastilstanden.

Lange sidekæder og forgreninger samt tilsætning af blødgøringsmidler øger molekylernes indbyrdes afstand, hvorved deres gensidige tiltrækning nedsættes, og molekylernes bevægelighed lettes. I så tilfælde må stoffet køles længere ned, før glastilstanden kan opnås.

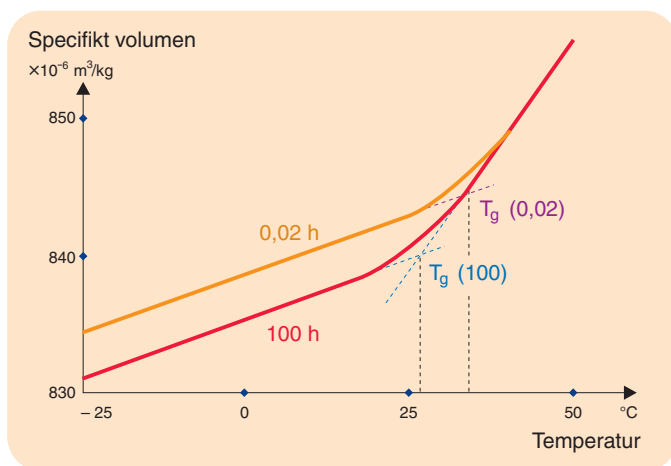
Når temperaturen forøges, vil de atomare svingninger i stoffet blive stadig større. Ved en vis temperatur - *glasovergangstemperaturen* - vil den energibarriere overskrides, som hindrer rotation af segmenter af kædemolekylerne. Stoffet bliver blødt og gummi- eller læderagtigt, og det bliver muligt at ændre polymerkædens form.

Specifikt volumen af polyvinylacetat som funktion af temperaturen



En sådan omdannelse kaldes en *2. ordens omdannelse*. Der sker typisk en ændring af stoffets egenskaber.

Man ser en ændring af den termiske udvidelseskoefficient, men ændringen sker ikke springvis som i de lavmolekylære stoffer, men som en blød overgang.



Det specifikke volumens ændring med temperaturen henholdsvis 1 minut ($\approx 0,02$ timer) og 100 timer efter chokkøling fra en temperatur over T_g

specifikke volumen.

I praksis ændres kurvens hældning ikke ved et skarpt knæk, men ved en jævn overgang. Man finder T_g som skæringspunktet mellem de to rette kurvestykker forlængelse.

En polymers egenskaber ved stuetemperatur vil være væsentligt forskellige, afhængigt af om polymeren ved denne temperatur befinder sig i glastilstanden eller i den læderagtige tilstand.

Glasovergangstemperaturen, T_g , er imidlertid ikke en materiale- eller stofkonstant. Stoffets termiske forhistorie, fx afkølingshastigheden fra bearbejdningstemperatur og lagringstid ved stuetemperatur, påvirker T_g . Se figuren til venstre.

Alle amorf og delkrystallinske polymerer udviser glasovergang, men da fænomenet er knyttet til den amorf struktur, vil det være mindre og mindre tydeligt, jo højere krystalliniteten er. T_g 's beliggenhed illustreres bedst ved bestemmelse af volumenudvidelsen ved opvarmning af en amorf polymer som fx i øverste figur over polyvinylacetats

Plastpolymerer* ordnet efter deres glasovergangstemperatur, T_g , i °C

Ved stuetemperatur vil stofferne i venstre søjle være i læderagtig tilstand og stofferne i højre søjle i glasagtig tilstand.

$T_g < \text{stuetemperatur}$		$T_g > \text{stuetemperatur}$	
Polyethylen	-120	Polyamid 610	40
Polyoxymethylen	-80	Polybutylenterephthalat	40
Polyurethan, lineær	-30	Polyamid 11	45
Polyvinylidenchlorid	-17	Polychlorotrifluorethylen	45
Polypropylen	-10	Polyamid 6	50
		Polyamid 66	50
		Cellulosenitrat	66
		Celluloseacetat	70
		Polyethylenterephthalat	70
		PVC	80
		Polyphenylensulfid	90
		Polystyren	100
		Acrylplast	104
		Polytetrafluorethylen	126
		Polycarbonat	150
		Polyphenylenoxid, modificeret	180
		Polysulfon	195

* Med plastpolymerer menes polymere stoffer, der udgør hovedindholdet i plastmaterialer. Materialerne består af polymerer og - normalt - en række additiver. Tilsætning af forskellige additiver i forskellige koncentrationer vil normalt påvirke materialernes egenskaber. Her er det udtrykkeligt de rene polymerer, der er tale om.

Smelteinterval

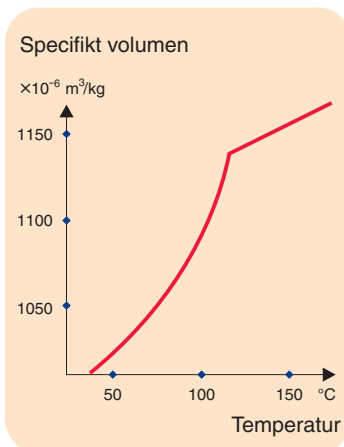
Som tidligere beskrevet, smelter lavmolekylære stoffer ved en veldefineret temperatur, og den ved smeltetemperaturen tilførte energi medgår netop til at omdanne hele stofmassen fra fast til flydende tilstand.

Polymerer opfører sig anderledes!

Polymerer smelter over et temperaturinterval. Hvis man kan tale om en smeltetemperatur, må det være den temperatur, hvorved den sidste krystallit smelter. Smeltetemperaturen beror i øvrigt, ligesom T_g , på stoffets termiske forhistorie.

Efter passage af smelteintervallet antager polymererne en tilstand som en højviskos væske med viskoelastiske egenskaber. Under smelteprocessen brydes efterhånden de svageste af de sekundære bindinger.

Specifikt volumen som funktion af temperaturen omkring smelteintervallet (omdannelse mellem læderagtig og væskeagtig tilstand) for PELD



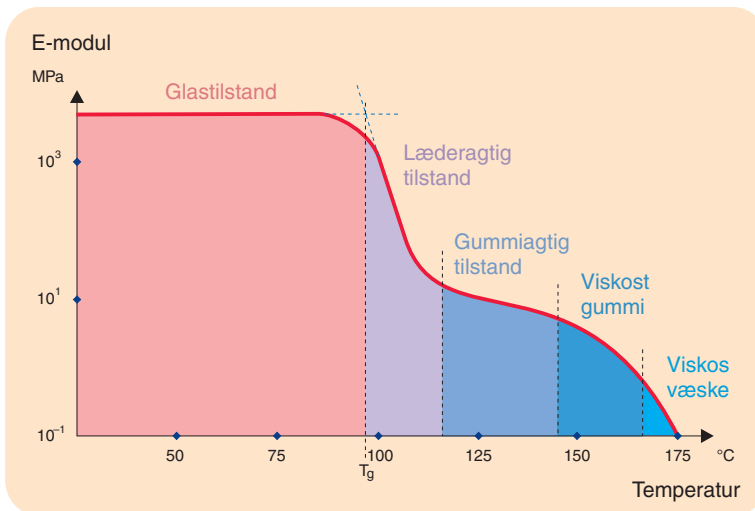
Smelteintervallet er for amorfe stoffer som regel ret bredt (10-20 °C), mens det for delkrystallinske stoffer ofte er ganske smalt. Dette tilskrives de sekundære bindinger inde i krystallitterne, som er mere veldefinerede end bindingerne i den amorfe struktur.

Luftformig tilstand forekommer ikke hos de højpolymere stoffer. De sekundære bindingskræfter, der summeres op over de lange kædemolekyler, vil være så store, at molekylerne ved fortsat opvarmning vil blive termisk nedbrudt, før de intermolekylære kræfter overskrides, og stoffet fordampes.

De forskellige tilstandsformer for polymerer og overgangene imellem dem illustreres fint ved elasticitetsmodulens variation med temperaturen (se figuren øverst næste side).

Glasovergangen er væsentligt mere markant ved de amorfe stoffer end ved de delkrystallinske. Et karakteristisk eksempel er vist på næste side, hvor elasticitetsmodulens temperaturvariation er angivet for en amorf og en delkrystallinsk polystyren.

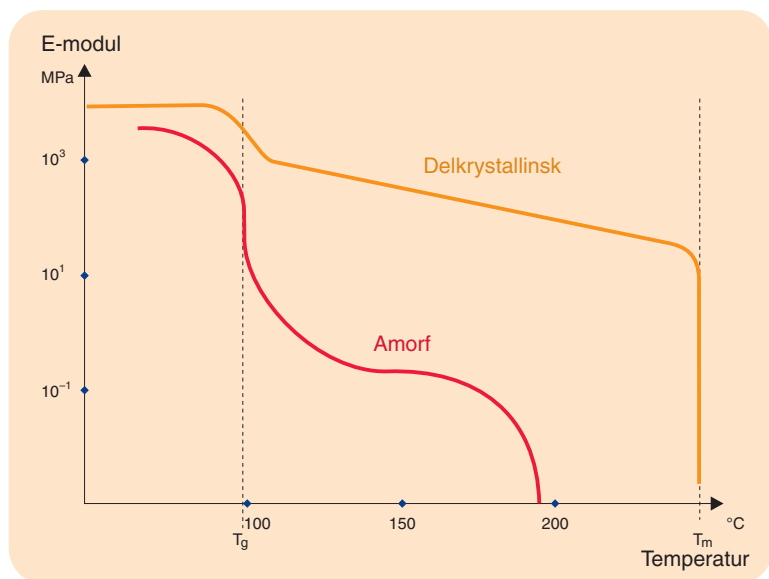
For amorfe stoffer vil T_g normalt angive den øvre temperaturgrænse for deres anvendelse som konstruktionsmateriale, mens det ikke gælder for delkrystallinske stoffer, som normalt kan belastes til en temperatur i nærheden af det krystallinske smeltepunkt.



I hærdeplast danner molekylerne tredimensionale netværk, hvorfor molekylsegmenternes bevægelighed er stærkt begrænset. Glasovergangstemperaturen hos hærdeplast vil imidlertid variere med plastens udhærdningsgrad, idet stigende udhærdningsgrad afspejles i et tættere molekylært netværk og dermed i reduceret bevægelighed af molekylsegmenter.

Elasticitetsmodulen som funktion af temperaturen hos amorf polystyren

Elasticitetsmodulen i afhængighed af temperaturen hos en amorf og en delkrystallinsk polystyren



Øvrige termiske egenskaber

Fysisk ældning

Det er karakteristisk for de højpolymere stoffer, at deres egenskaber ikke kun afhænger af temperaturen, men også af den tid, stofferne er udsat for belastning. Når man fx vil bestemme en maksimal anvendelsestemperatur, må man tage hensyn til den tid, i hvilken konstruktionen påregnes anvendt.

Fænomenet kaldes *fysisk ældning*. Det omfatter også det tidligere nævnte, at en højpolymers slutegenskaber påvirkes af afkølingshastigheden fra forarbejdningstemperaturen. Det er særligt udtalt ved de amorf polymere.

Termisk udvidelse

Den termiske udvidelseskoefficient af polymerer er omkring ti gange så høj som hos de gængse metaller. Udvidelseskoefficienten stiger med faldende elasticitetsmodul. Tilsætning af fyldstoffer og forstærkningsmaterialer, fx glasfibre, medfører en reduktion af udvidelseskoefficienten. Erfaringen viser en sammenhæng mellem udvidelseskoefficient og elasticitetsmodul som vist i formlen:

$$\alpha = \frac{k}{\sqrt{E}}$$

hvor α er udvidelseskoefficienten, k er en konstant, og E elasticitetsmodulen. For de almindeligste termoplast er $\alpha \approx 50\text{-}250 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Specifik varme

Et stofs specifikke varme eller varmeyfælde er den varmemængde, som skal til for at hæve temperaturen af 1 kg af stoffet 1 °C. Polymerers specifikke varme stiger med temperaturen. For de almindeligste plastpolymerer er den specifikke varme ved stuetemperatur 1,05 til 2,3 kJ/kg × °C.

Varmeledning

Varmeledningsevnen angiver den varmemængde, som ved en bestemt temperatur pr. tidsenhed kan ledes igennem et bestemt tværsnit af et materiale. Plastpolymerers varmeledningsevne er generelt meget lav; normalt klassificeres de som varmeisolatorer. Varmeledningsevnen kan øges gennem tilsætning af varmeledende tilsætningsstoffer, fx carbonfibre og metalliske fyldstoffer.

Værdierne for de almindelige plastpolymerer varierer fra 0,1 J/m × s × °C for polystyren til 0,5 J/m × s × °C for polyethylen med høj massefylde.

Kuldeskørhed

Undertiden er man interesseret i et stofs kuldeskørhed eller sprødhedstemperatur, dvs. den temperatur, ved hvilken stoffet ved afkøling bliver skørt eller sprødt. Generelt bevarer plastmaterialerne deres mekaniske egenskaber ned til ret lave temperaturer. Polymethylpenten bliver dog skørt allerede omkring frysepunktet, og PVC mister slagsejhed ved ganske få minusgrader. Ellers ses i tabelværker ofte skørhedstemperaturer ned til -50 til -70 °C for de almindelige plast. Der findes dog særligt kuldebestandige specialplast. For polyethersulfon oplyses -175 °C og for polyimid -200 °C.

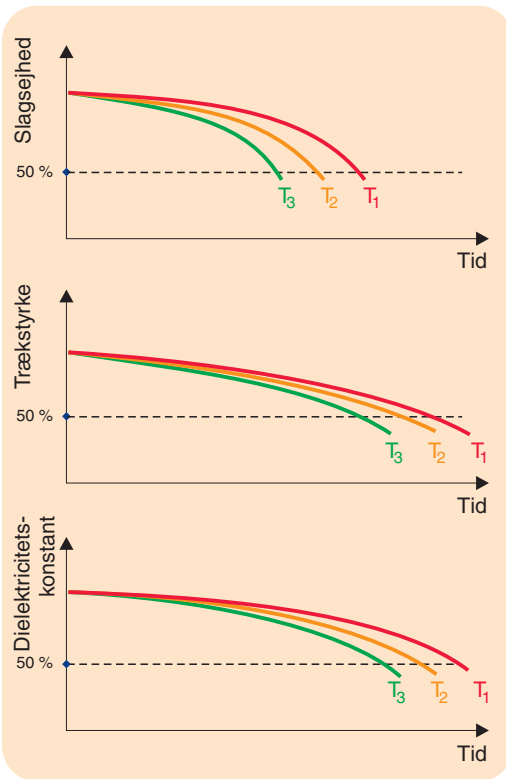
Temperaturindeks

For anvendelse ved forhøjet temperatur angiver temperaturindekset den højeste temperatur, ved hvilken et materiale kan fungere kontinuerligt, uden at nogen egenskab forringes mere end 50 %. Det bestemmes, ved at man ved forskellige temperaturer registrerer udvalgte egenskabers tidsafhængighed, indtil værdierne er ændret til 50 % af udgangsværdierne.

Typisk vil man få kurver af typen som i figuren øverst på næste side. I praksis vælges normalt 20.000 timers eksponeringstid, hvilket er ca. 2,3 år. Den egenskab, der hurtigst ændres med 50 % (her er det slagsejheden) bliver dimensionsgivende.

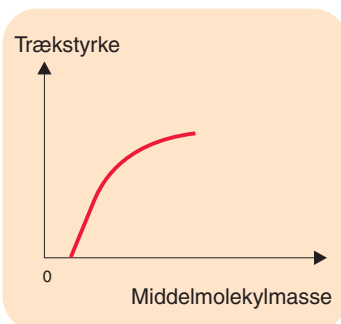
Det fremgår, at man kan have temperaturindeks for enkelte egenskaber eller for en samling af egenskaber. Ofte betegnes temperaturindeks som T_{UL} , idet metoden er udviklet af Underwriters Laboratories i USA. I tabeller vil ofte angives T_{UL} , hvor alle egenskaber er taget i betragtning, og T_{UL} for slagsejhed.





Udvalgte egenskabers tidsafhængighed ved forskellige temperaturer $T_3 > T_2 > T_1$

Principielt forløb af sammenhæng mellem en polymers trækstyrke og middelmolekylmasse



Værdierne varierer fra 50 °C for de almindelige termoplast til over 200 °C for nogle specialplast.

I mange situationer ønsker man at kende et materiales maksimale anvendelsestemperatur. Det er dog ganske svært at angive en sådan, eftersom den påvirkes af såvel mekanisk belastning som af det omgivende miljø og af tiden. Desuden kan en temperaturgrænse ændres ved tilsætning af fyldstoffer, stabilisatorer og andre hjælpestoffer.

Temperaturindekset kan i visse tilfælde anses for den højeste anvendelsestemperatur, men den kan både være højere og lavere i andre tilfælde.

En række plastmaterialer er følsomme over for fugt, enten ved at de absorberer fugt, eller at de angribes kemisk og dermed undergår hydrolytisk nedbrydning. Polycarbonat kan i tørt miljø normalt anvendes vedvarende ved temperaturer op til omkring 135 °C, mens temperaturgrænsen i vand er 50 °C ved langtidsbelastning. Den maksimale anvendelsestemperatur i luft og i vand kan således være ens eller forskellig, afhængigt af materialets opbygning og sammensætning.

Mekaniske egenskaber

Polymerers reaktioner på mekanisk påvirkning afhænger af den kemiske sammensætning af stoffets molekyler samt af en række andre faktorer.

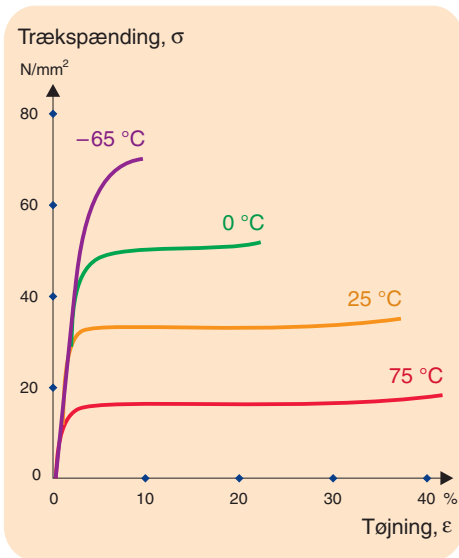
Middelmolekylmassen skal være over et vist minimum, før tiltrækningskraften mellem molekylerne bliver tilstrækkelig stor til, at stoffet får nogen væsentlig styrke. Når denne kritiske værdi er nået, vil fortsat forøgelse af molekylmassen medføre en tilsvarende stigning i mekanisk styrke. Styrken stiger derefter stadigt langsommere med stigende molekylmasse, indtil en grænse nås.

Ikke alene middelmolekylmassen, men også molekylmassens fordeling spiller en rolle. Det er fx vigtigt, at der ikke forekommer fraktioner med molekylmasse under en vis grænse. Med blot 10-15 % indhold af lavmolekylære fraktioner forringes alle mekaniske egenskaber væsentligt.

Krystallisation vil i kraft af den kraftigere tiltrækning mellem molekylerne og den større massetæthed ligeledes medføre, at polymerers mekaniske styrke forøges.

Ved orientering af kædemolekylerne vil styrken stige i orienteringsretningen, men falde i tværretningen. Man har så en anisotrop egenskabsfordeling.

Ydre blødgøring af et plastmateriale, dvs. mekanisk iblanding af hjælpestoffer, vil normalt altid medføre forringelse af materialets elasticitetsmodul (E-modul). Ganske små mængder af et blødgøringsmiddel kan derimod bevirke en stigning af trækstyrken, idet blødgøringsmidlet som en slags indre smøremiddel kan bevirke, at molekylernes mulighed for at orienteres lettes, hvorved materialet får styrke i orienteringsretningen.



Arbejdslinjens forløb ved forskellige temperaturer for celluloseacetat

Fugtoptagelse, som forekommer fx i polyamiderne, kan have en ret markant blødgørende virkning på mange plastmaterialer.

Etablering af tværbindinger, hvilket under visse betingelser kan forekomme i termoplast, vil medføre en forøgelse af elasticitetsmodulen. Trækstyrken kan derimod blive reduceret, hvis der opstår et stort antal tværbindinger, idet de kan forhindre, at belastningen fordeles jævnt på hovedmolekylkæderne.

Som det senere vil blive diskuteret nærmere, vil temperaturen have væsentlig indflydelse på polymerers opførsel ved mekanisk belastning. Ved stigende temperatur aftager elasticitetsmodul, flydespænding og trækstyrke. Imidlertid findes der tilfælde, hvor trækstyrken først tiltager lidt med stigende temperatur for derefter at aftage på normal vis. Det tilskrives, ligesom med indflydelsen af blødgøringsmidler, kædemolekylernes stigende bevægelighed og dermed deres større evne til at orienteres. På figuren til venstre vises temperaturens indvirkning på deformationsforløbet af en termoplast.

Krybning

Når polymerer udsættes for mekanisk belastning, vil de deformeres ligesom alle andre materialer. Ved konstant belastning vil metaller i det væsentlige deformeres konstant. For polymerer gælder det derimod, at deformationen med tiden vil øges ved konstant belastning. Materialerne giver så at sige langsomt efter. Fænomenet kaldes krybning, og det er en væsentlig dimensioneringsfaktor for plastmaterialer.

Man taler om tre typer af deformation:

- Elastisk deformation
- Viskoelastisk deformation
- Plastisk (eller viskos) deformation

Elastisk deformation optræder momentant, når et materiale påtrykkes en mekanisk spænding. Den er uafhængig af tiden og vil i reglen være proportional med spændingen (Hookes lov). Metalkonstruktioner dimensioneres almindeligvis på basis af elastisk deformation.

For de fleste plastmaterialer er viskoelastisk og plastisk deformation imidlertid meget udpræget.

Læren om og studiet af materials flydeforhold kaldes reologi. De reologiske forhold for polymerer er yderst vanskelige at afklare. For nemheds skyld benytter man sig ofte af simple modeller for at beskrive det, man kan observere.

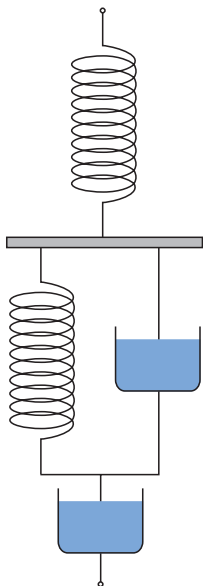
Elastisk deformation kan således forklares som en vis udretning af valensvinkler i de enkelte atomer - en reversibel deformation.

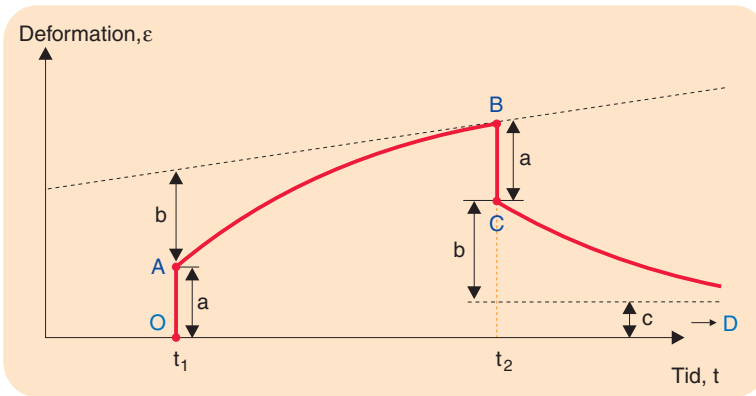
Der sker imidlertid også en vis udretning af de ellers til en vis grad sammenkrøllede kædemolekyler, men den proces tager tid - den elastiske reaktion forsinkes. Denne viskoelastiske deformation er ligeledes reversibel.

Den plastiske deformation kan forklares ved, at kædemolekylerne glider i forhold til hinanden - en ændring, som er irreversibel og følgelig ansvarlig for den blivende deformation, som man altid kan observere i et plastmateriale, der har været udsat for mekanisk belastning i nogen tid.

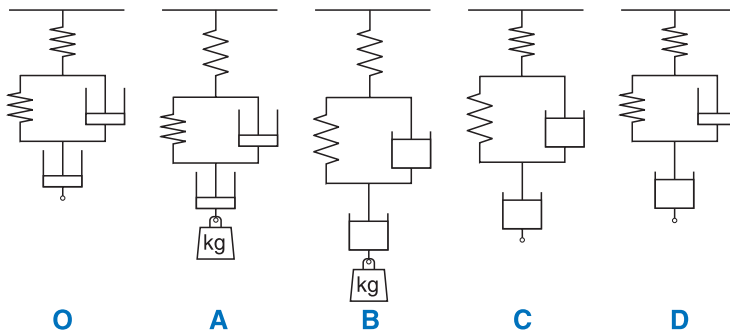
Figuren til venstre er en mekanisk model til forklaring af de specielle deformationsforhold for plast. Den er sammensat af to gange to elementer, en fjeder og et vækestempel (en oliedæmper). Elementerne er to og to koblet henholdsvis parallelt (Kelvin-element) og i serie (Maxwell-element).

Simpel deformationsmodel for et polymert materiale





Principielt forløb af krybekurve med belastning ved t_1 og aflastning ved t_2

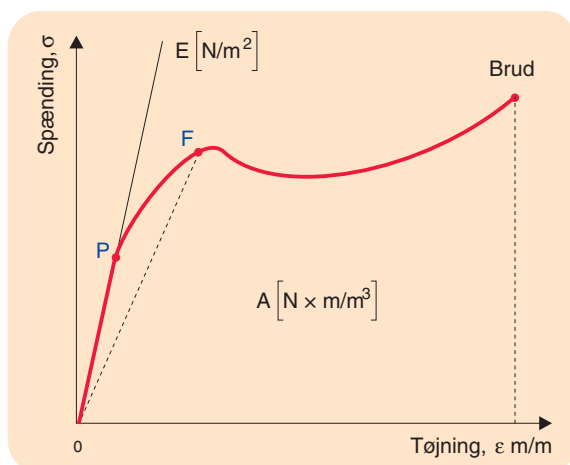


Mekanisk model af faserne i et krybeforsøg

Bogstaverne refererer til punkterne på krybekurven ovenover.

Principielt spændings-tøjningsdiagram

Det viser sammenhængen mellem spænding (σ) og tøjning (ϵ) ved trækbelastning af et tænkt materiale.



Det tilhørende deformationsbillede er vist på figuren til venstre, hvor deformationen er afbildet som funktion af tiden efter påtrykning af en konstant mekanisk last og efterfølgende aflastning til nul.

De enkelte faser i krybeforsøget illustreres ved den mekaniske model nedenunder.

Til tiden t_1 påtrykkes en last svarende til, at der ophænges et lod i kroen under stemplet for nede. Herved deformeres materialet øjeblikkeligt svarende til punkt A på krybekurven. På modellen illustreres det ved udretning af den øverste fjeder. Efter nogen tid ved den konstante last vil deformationen øges svarende til punkt B på krybekurven. Denne reaktion er sammensat af en viskoelastisk og en plastisk (viskos) flydning; stemplerne i modellen har haft tid til at vandre fra nederste til øverste stilling.

Til tiden t_2 , der svarer til punkt B, aflastes materialet til nul (loddet under fjederen fjernes).

øjeblikkeligt trækker materialet sig sammen, idet den rent elastiske del af deformationen straks ophæves.

På den mekaniske model illustreres dette ved sammentrækning af den øverste fjeder svarende til situation C. Efterhånden som tiden går, vil den viskoelastiske del af deformationen ophæves; punkt D nås. På modellen sørger den anden fjeder for sammentrækning af det øverste stempel svarende til situation D.

Det ses, at deformationen aldrig bliver nul, men nærmer sig mere og mere til en bestemt værdi: Den plastiske deformation ophæves ikke, men manifesterer sig som en blivende deformation.

Denne fremstilling må dog betragtes som overordentligt forenklet, idet de faktiske forhold er mere komplicerede. Modellen illustrerer blot hovedtrækene i polymerernes reologiske forhold. En svaghed er det blandt andet, at temperaturen er forudsat konstant.

Spændings-tøjningsforløb

Ligesom ved metallerne har man ved de polymere materialer fornøjelse af at optegne spændings-tøjningsdiagrammer, som også kaldes arbejdslinjer.

Først optegnes kurver over sammenhængen mellem deformationen (fx forlængelsen) af en materialeprøve og den til deformationen nødvendige kraft. Da kraften naturligvis vil være dobbelt så

Principielt forskellige forløb af spændings-tøjningskurver

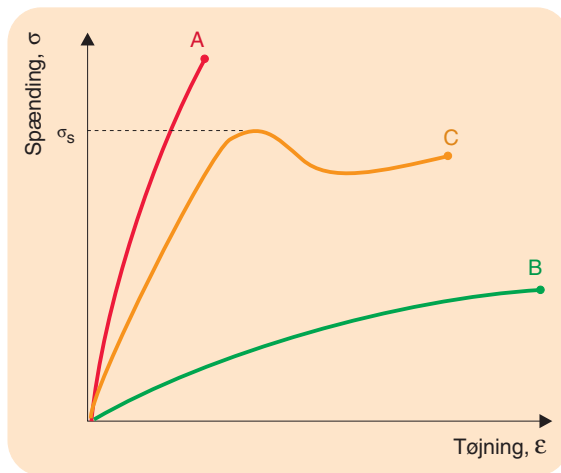
Kurvernes endepunkter repræsenterer brud. A repræsenterer et sprødt materiale, B et sejt materiale, og C et materiale med en flydegrænse, kendetegnet ved σ_s , og påfølgende plastisk deformation.

stor, hvis prøvelegemets tværsnitsareal fordobles, omregnes kraften altid til en spænding, dvs. kraften pr. tværsnitsarealenhed. På samme måde omregnes deformationen til den relative deformation, hvilket vil sige den aktuelle deformation i forhold til den aktuelle måleafstand. Relativ deformation kaldes tøjning. Derved kan man med ret stor tilnærmelse tillade sig at sammenligne arbejdslinjer, der er baseret på forskellige størrelser af prøvelegemer. Normalt tænker man for det meste på trækprøvning, når man taler om spændings-tøjningsdiagrammer, men der fås tilsvarende arbejdslinjer ved alle andre deformationstilfælde, det være sig tryk-, bøjnings-, forskydnings- eller vridningsbelastning.

Kurvens første stykke er retlinjet, dvs. der er proportionalitet mellem den påtrykte spænding og den deraf følgende relative forlængelse, hvis Hookes lov gælder for det pågældende materiale. Materialets elasticitetsmodul, E , kan da beregnes som forholdet mellem spændingen og tøjningen ved at benytte Hookes lov:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

hvor E er elasticitetsmodulen, σ er spændingen, og ϵ er tøjningen.

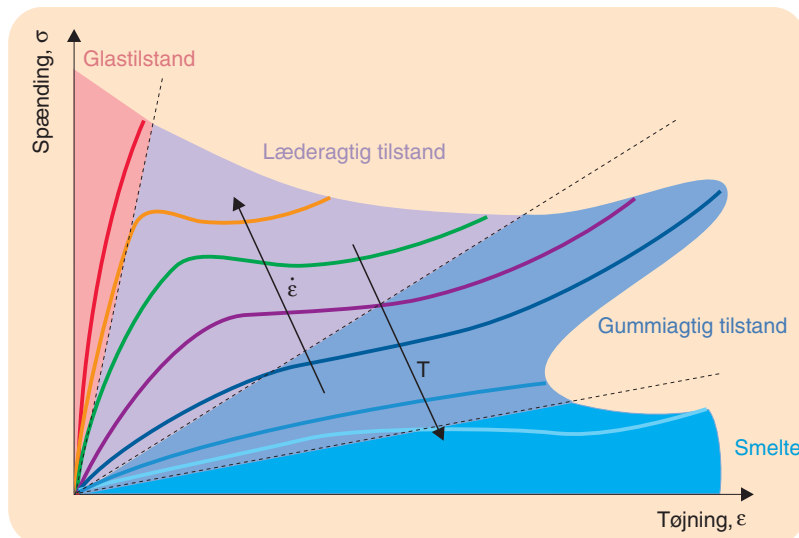


Man kan også sige, at elasticitetsmodulen, E -modulen, er den spænding, som vil medføre 100 %'s tøjning, hvis ellers materialet ikke brydes forinden og det var lineært elastisk helt til brud.

Ved spændinger ud over det hookeske område afviger kurven fra den rette linje, dvs. elasticitetsgrænsen overskrides. Arealet under arbejdslinjen (A på figuren nederst på forrige side) er et udtryk for det til deformationen udførte arbejde. Hos termoplast med delkrystallinsk struktur og hos hærdeplast gælder Hookes lov i det elastiske område, mens det ikke er tilfældet hos amorf termoplast.

Som det fremgår af det foregående om krybning, har tiden afgørende indflydelse på de polymeres flydeforhold. Derfor vil arbejdslinjer, der optegnes

ved forskellige deformations-hastigheder, være forskellige. For at få et fuldstændigt billede af en polymers flydeforhold må man derfor foretage trækforsøg ved forskellige deformationshastigheder og om nødvendigt også ved forskellige temperaturer.



Arbejdslinjens variationer med deformationshastigheden, ϵ , og temperaturen, T

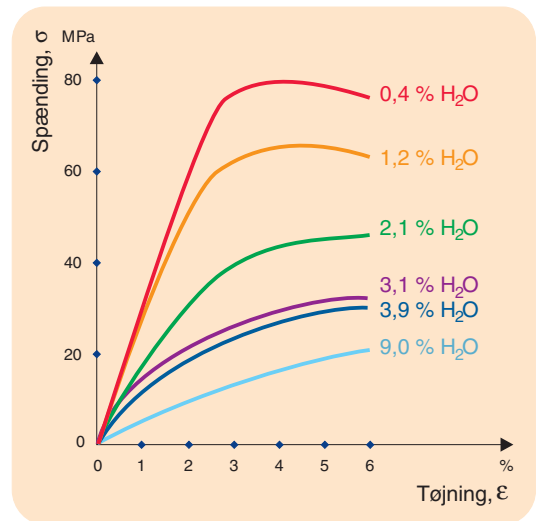
Typiske arbejdslinjer for en polyamid med forskellig fugtindhold

Den øverste kurve repræsenterer næsten tørt materiale.

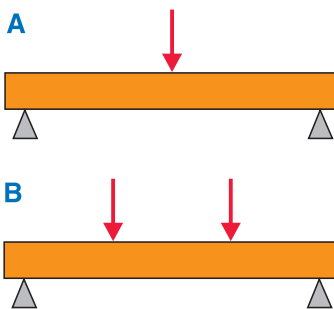
Polyamiden er delkrystallinsk, og vi har et tilnærmelsesvis lineært begyndelsesstykke, hvis hældning angiver elasticitetsmodulen.

Det elastiske område følges af en krumning af kurven svarende til viskoelastisk deformation. Det sidste – i visse tilfælde næsten retlinjede – forløb repræsenterer det plastiske område.

Det ses også, hvorledes arbejdslinjen ændrer sig, når materialet absorberer fugt; der sker en vis blødgøring.

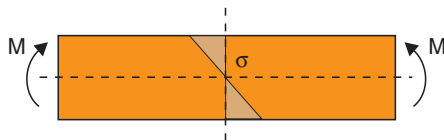


- A. Princippet i trepunktsbøjeprovning
B. Princippet i firepunktsbøjeprovning



På tilsvarende måde som ved trækprøvning kan man ved trykprøvning og ved bøjeprovning opnå lignende arbejdslinjer og værdier af brudspænding, elasticitetsmodul og tøjning. Bøjeprovning kan udføres ved trepunktsbøjning og ved firepunktsbøjning, der giver lidt afvigende resultater. Det menes, at firepunktsbøjeprovning giver mest realistiske resultater.

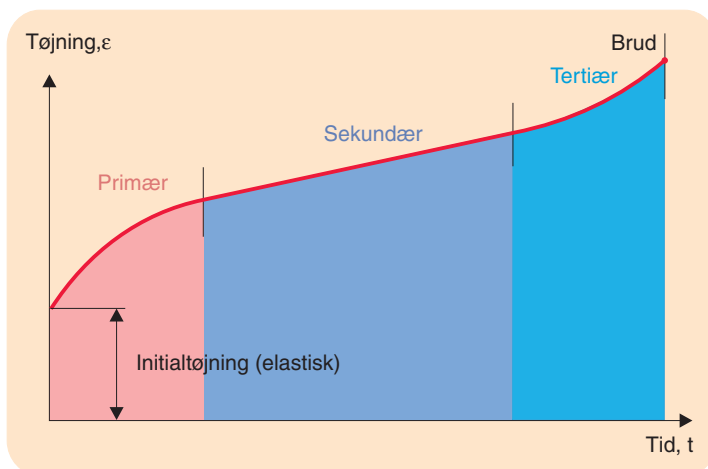
Ved bøjningsbelastning vil reaktionen i materialet være en kombination af træk- og trykspændinger med en principiel fordeling som vist på figuren nedenfor.



Spændingsfordeling i en bjælke mellem de indre anlægspunkter ved firepunktsbøjning

Trækspændinger i undersiden, trykspændinger i oversiden og spændingsfrit i midten, hvis emnet er homogent eller symmetrisk opbygget.

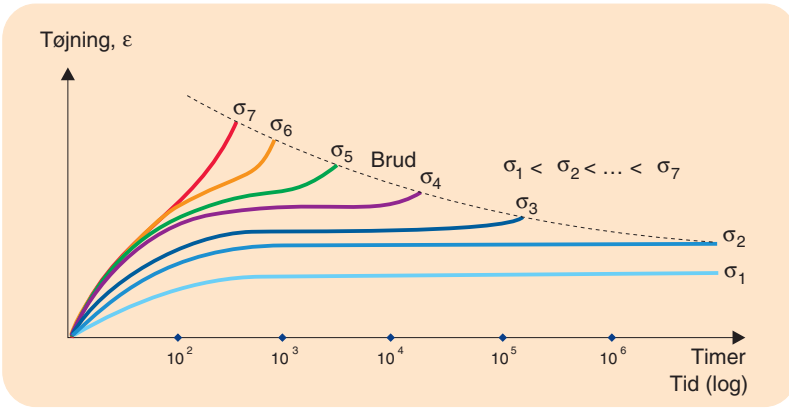
Principiel krybekurve ved konstant last og konstant temperatur



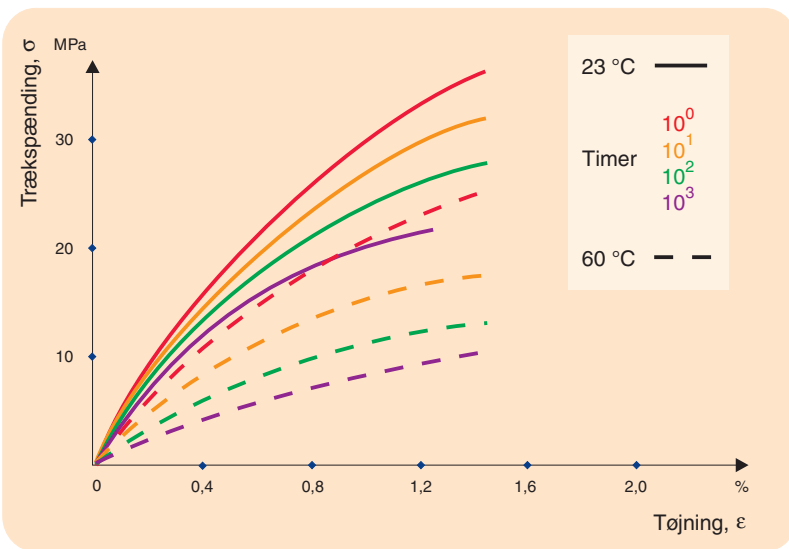
Da polymerer, som tidligere omtalt, udviser udpræget krybning ved længere tids belastning, må man benytte sig af krybedata ved dimensionering af plastemner. Belastes et plastmateriale med konstant last ved konstant temperatur, vil deformationen øges med tiden og give en principiel krybekurve som vist på figuren til venstre.

Vi kan genkende de tidligere omtalte tre komponenter, som den totale deformation er sammensat af.

Den elastiske deformation medfører en øjeblikkelig initialtøjning. Den viskoelastiske deformation ses som primær krybning, og den plastiske deformation som det stort set lineære forløb, der benævnes sekundær krybning.



Skare af krybekurver ved forskellige spændinger



Isokront spændings-tøjningsdiagram for polystyren optegnet ved to forskellige temperaturer

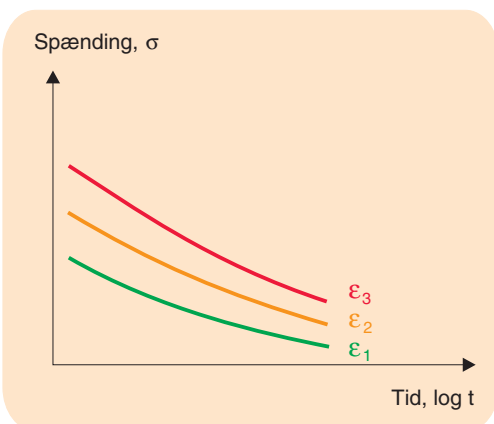
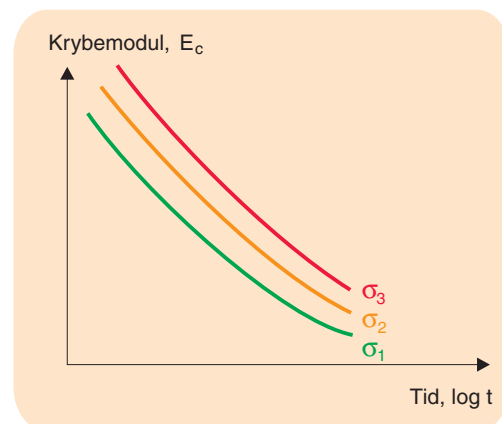
For at få brugbare krybedata må man udføre krybeforsøg ved forskellige laster og forskellige temperaturer. Ved at afbilde kurveskarer i samme diagram kan der udtrages en række ingeniørmæssigt interessante data, fx krybemodul, krybebruddata og isokrone spændings-tøjningsforløb.

Sådan et diagram er imidlertid ikke altid operationelt. Derfor konstruerer man ud fra diagrammets oplysninger en række andre diagrammer, som hver for sig har deres fordele, afhængigt af hvilken opgave der skal løses.

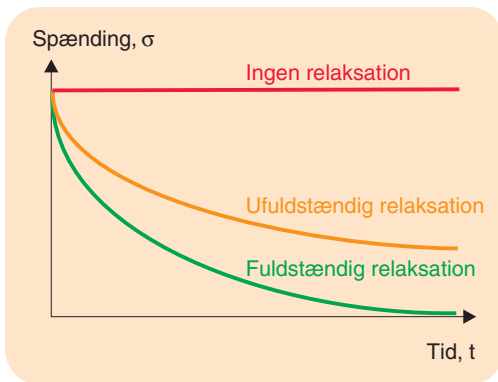
Et eksempel er et såkaldt *isokront spændings-tøjningsdiagram* (iso = samme, kronos = tid), hvor kurverne gælder for forskellige, konstante tider.

Et andet eksempel er det *isometriske spændings-tidsdiagram*, hvor det er hensigtsmæssigt at bruge logaritmisk tidsakse. Her er det tøjningen, der holdes konstant på en række forskellige værdier.

Endelig kan man med fordel afbilde *krybemodulets tidsafhængighed* ved fastholdt spænding eller deformation. Også her anvendes en logaritmisk tidsakse.

Isometrisk spændings-tidsdiagram; $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$ Krybemodulkurver; $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ 

Som tidligere nævnt, vil krybeforholdene påvirkes af eventuel fugtop-tagelse, idet der vil indtræde en blødgørende effekt. Desuden kan der ved efterkrystallisation og dannelse af tværbindinger forekomme sammen-trækning, som kan tilsløre forholdene vedrørende krybning. Endelig vil ældning som følge af påvirkning af ultraviolet lys, oxygen og ozon påvirke materialernes krybeegenskaber.

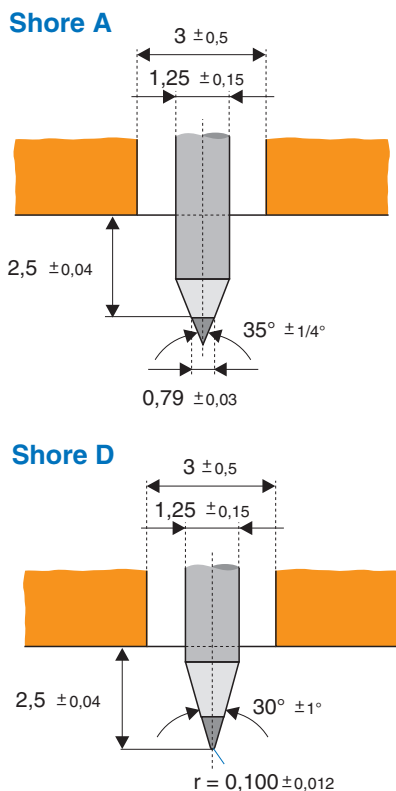


Forskellige relaksationsforløb ved konstant tøjning og temperatur

Dimensionerne af indtrængningslegemerne til bestemmelse af hårdhed efter Shore A og Shore D

Alle mål er i mm.

(Carlowitz: Tabellarische Übersicht)



Spændingsrelaksation

Hvis man holder et polymert materiale i konstant deformation, vil materialet ligeledes udvise koldflydning, hvorved spændingen vil aftage med tiden. Fænomenet, som kan siges at være et spejlbillede af krybning, kaldes spændingsrelaksation.

Spændingen er jævnt faldende; processen kan ikke inddeles i forskellige faser som ved krybning.

Hvis spændingen falder til nul, taler man om fuldstændig relaksation. Det forekommer i bløde, amorfе og ikke tværbundne polymerer efter et døgn's tid ved stuetemperatur.

Materialeleverandørerne præsenterer sjældent relaksationsdata; man må ved dimensionering klare sig med krybedata.

Hårdhed

Et materiales hårdhed er dets evne til at modstå indtrængning af et fast legeme. Hårdheden bestemmes på grundlag af sammenhørende værdier af indtrængningsdybden af fx en kugle eller en keglespids og den dertil nødvendige kraft. Hårdheden af de enkelte polymerer afhænger af polymerens art, af temperaturen og af eventuelle tilsætningsstoffer. Desuden er hårdheden i nogen grad afhængig af prøvelegemets dimensioner, som ikke må være for små i forhold til indtrængningslegemets. Normalt vil hårdhed og elasticitetsmodul følges ad, således at hårdere materialer også har højere elasticitetsmodul.

Hårdhedsværdier opnået ved forskellige prøvningsmetoder er ikke sammenlignelige. For de almindelige plastpolymerer varierer kugletrykshårdheden mellem 10 N/mm² for PELD og 180 N/mm² for acrylplast.

Slagsejhed

Det er tidligere nævnt, at polymerer reagerer forskelligt ved mekanisk påvirkning afhængigt af den hastighed, hvormed materialeprøven deformeres. Ved høje deformationshastigheder kan polymeren ikke nå at "flyde med".

Modstandsevnen mod meget hurtige påvirkninger, slagpåvirkninger, bestemmes af styrken af de primære og sekundære bindinger i materialet og af dets evne til at fordele slagenergien over et stort volumen.

Mens hårdhed og elasticitetsmodul som før nævnt i almindelighed følges ad, er det omvendte tilfældet for slagsejhed.



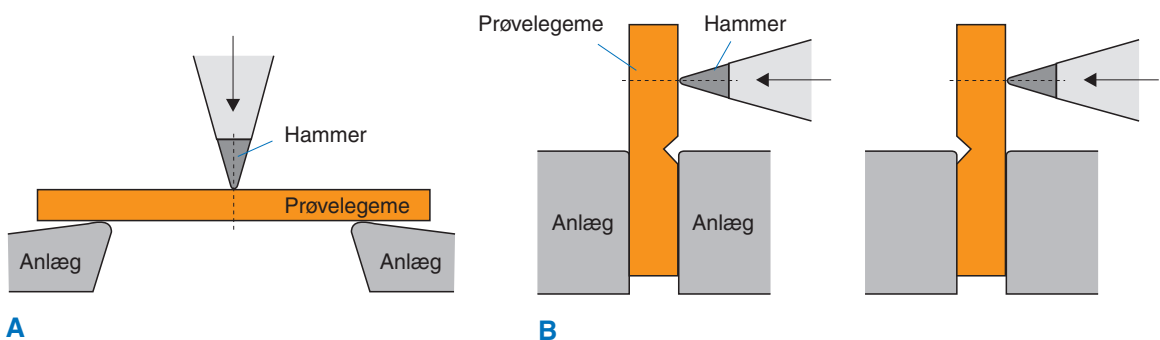
Slagsejhed og E-modul af konstruktionsplast

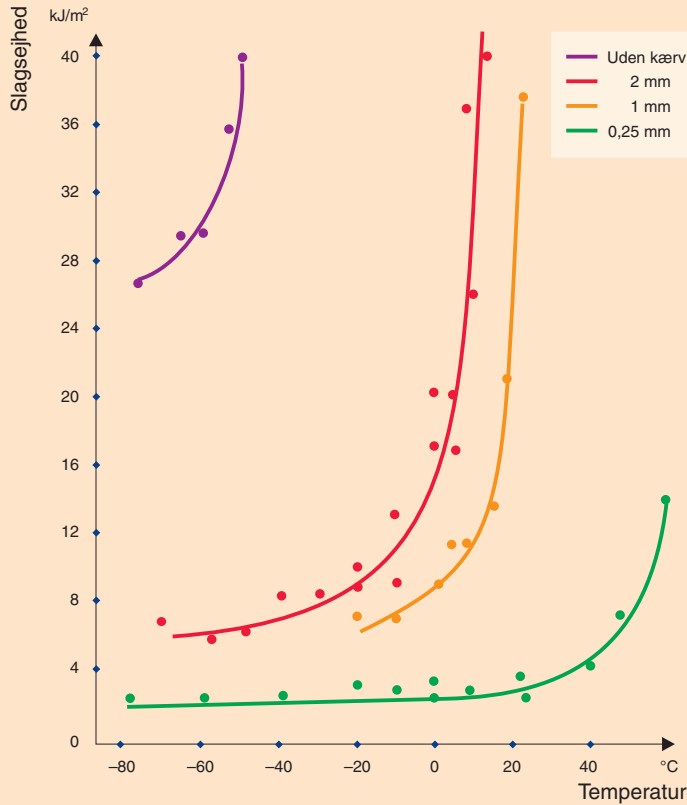


Normale slagprøvningsmetoder baseres på kun et enkelt slag. Sådanne slagsejhedsværdier siger imidlertid intet om et materiales evne til at modstå gentagne slagpåvirkninger. Det er vigtigt at vide, hvilken slagenergi et materiale kan optage ved gentagne slag i det uendelige, uden at der indtræder målelig ødelæggelse.

To almindeligt brugte principper for slagprøvning er Charpy-princippet (ISO 179) og Izod-princippet (ISO 180).

Princippet i slagprøvning efter Charpy (A) og efter Izod (B)
(Carlowitz: Tabellarische Übersicht).

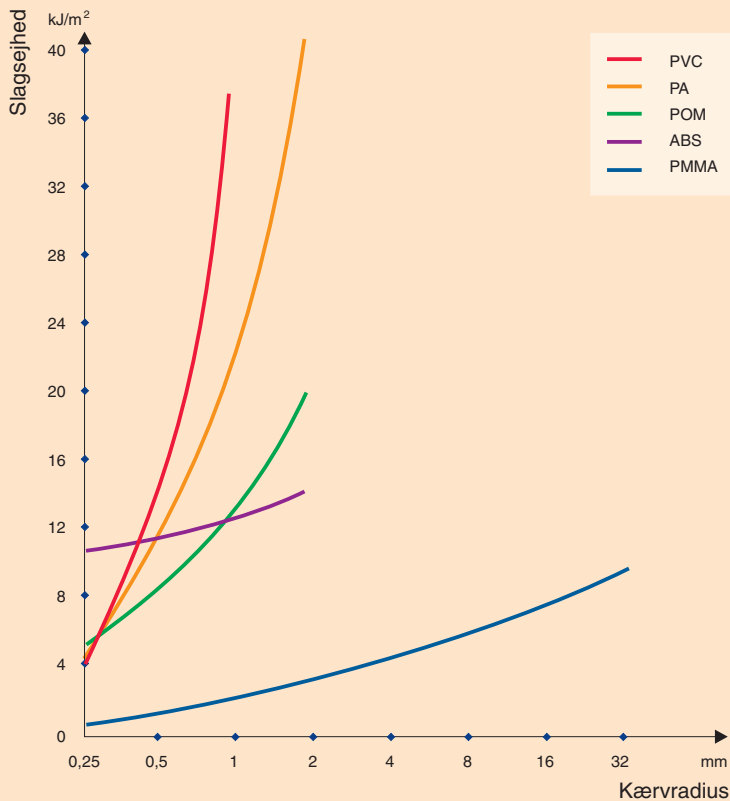




De fleste polymerers slagsejhed vil være påvirket af eventuelle materialedefekter, ridser og/eller mikrorevner. Et fremmedlegeme eller en anden defekt virker som en kærvanviser, og enhver ridse og mikrorevne er en kær, som vil medføre spændingskoncentrationer.

Forholdet mellem et materials slagsejhed med og uden kær kaldes dets kærfølsomhed.

PVC's slagsejhed uden kær og med kær med forskellig radius i afhængighed af temperaturen



Kærslagsejhedens variation med kærns radius ved konstant temperatur for forskellige termoplasttyper

Det ses fx, at kærslagsejhedens afhængighed af kærns radius er betydeligt mindre hos ABS og PMMA end hos de øvrige plasttyper.

Elektriske egenskaber

Alle plastpolymerer klassificeres som ikke elektrisk ledende, idet deres evne til at lede elektrisk strøm er meget ringe. De anvendes derfor ofte som elektriske isolatorer.

De elektriske egenskaber af plast afhænger af den aktuelle strøms spænding og frekvens, af materialets sammensætning (tilsætningsstoffer, forureninger, fugtindhold) og af temperaturen. Stigende temperatur medfører som regel lavere elektrisk modstand; øget fugtindhold (fx i polyamid) vil give samme effekt.

Til karakterisering af plastmaterialers elektriske isolationsegenskaber anvendes først og fremmest:

- Specifik volumenmodstand
- Overflademodstand
- Gennemslagsstyrke
- Dielektricitetskonstant
- Dielektrisk tabsfaktor

Specifik volumenmodstand

Plastpolymerers specifikke modstand ligger ved stuetemperatur mellem 1 og 100 MΩm (megaohm × meter). Modstanden falder ved stigende temperatur. Den største modstand forekommer i polytetrafluorethylen, polyethylen, polypropylen, polystyren og polycarbonat. Derfor ses disse materialer ofte anvendt som isolatorer. Hærdeplastenes specifikke modstand er ikke så stor, men de anvendes alligevel i stor udstrækning på grund af deres større varmebestandighed.

Absorberet fugt og tilstedeværelse af visse - især organiske - fyldstoffer kan forringe plastenes isolationsevne drastisk. Eksempelvis er polyamiderne på grund af deres høje fugtabsorption uegnet til højspændingsformål. Omvendt kan plast gøres ledende ved tilsætning af metallisk fyldstof eller kønrøg. Det anvendes fx ved emner, hvor elektrostatisk opladning skal undgås.

Bortset fra materialer med lav smeltetemperatur og med høj fugtabsorption kan plastene udmærket anvendes som stærkstrømsisolatorer, fx i husholdningsapparater og industrimaskiner.

Volumenmodstanden bestemmes ud fra måling af den indre modstand i et prøvelegeme mellem to elektroder af samme areal og geometri. Den specifikke volumenmodstand beregnes da ud fra formlen:

$$\rho_v = R_v \times \frac{A}{t}$$

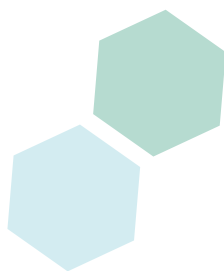
hvor ρ_v = den specifikke volumenmodstand ($\Omega \times m$), R_v = materialets indre modstand (Ω), A = måleelektrodens areal (m^2), t = prøvelegemets tykkelse (m).

Overflademodstand

Af lige så stor betydning som volumenmodstanden kan overflademodstanden være. Overflademodstanden er et emnes evne til at modstå strømme på overfladen. Ofte er det urenheder eller fugt på overfladen, der er bestemmende for overflademodstanden. For at virke optimalt bør en elektrisk isolator derfor altid være ren og tør. I denne sammenhæng er det en god egenskab ved plastmaterialer, at der meget vanskeligt dannes en sammenhængende hinde af fugt på overfladen.

Overflademodstanden måles mellem to elektroder anbragt på et emnes overflade, således at emnets indre tilstand lades ude af betragtning.





Gennemslagsspænding

Elektrisk gennemslagsspænding er den højeste spænding, et materiale kan modstå pr. mm's tykkelse, uden at der indtræffer gennemslag. Den måles fx i kV/mm. Gennemslagsspændingen er imidlertid ikke en materiale- eller stofkonstant, idet den afhænger af den tid, der medgår til opregulering af spændingen indtil gennemslag, af spændingens frekvens, af temperaturen, af elektrodernes størrelse og form, af omgivelsernes natur samt - måske noget uventet - af prøvelegemets tykkelse. Derfor kan måleresultater kun sammenlignes, hvis de er opnået under samme betingelser. Der er flere standardiserede målemetoder til rådighed.

Dielektricitetskonstant

Dielektricitetskonstanten af et materiale er forholdet mellem en kondensators kapacitans med materialet som dielektrikum mellem en kondensators plader og med vakuum som dielektrikum. Dielektricitetskonstanten varierer med den påtrykte spændings frekvens og med temperaturen.

Dielektrisk tab

Ved opladning af en ideel, tabsfri kondensator vil ladestrømmen være faseforskudt 90° forud for den påtrykte vekselspænding; men da intet dielektrisk materiale er fuldstændigt perfekt, vil der altid i praksis opstå tab, hvorved faseforskydningen bliver under 90° . Tangens til tabsvinklen, $\tan \delta$, kaldes den dielektriske tabsfaktor. Temperaturen og frekvensen vil påvirke tabsfaktoren, ligesom de påvirker dielektricitetskonstanten.

Polære plastpolymerer som PVC, acrylplast, polycarbonat og termoplastiske polyestere har høj dielektrisk tabsfaktor. Det betyder, at der afsættes varme i materialerne. Faktisk kan de i frekvensområdet 4-30 MHz sammenføjes ved højfrekvenssvejsning.

Kemiske og fysiske egenskaber

Massefylde

En meget vigtig faktor for mange plastmaterialers tekniske anvendelse er deres relativt lave massefylde. Polyolefinerne (polyethylen, polypropylen og polymethylpenten) har alle massefylde under 1.000 kg/m^3 . De øvrige, rene plastpolymerers massefylde varierer fra lige over 1.000 til 1.400 kg/m^3 for polyoxymethylen og 2.150 kg/m^3 for polytetrafluorethylen.

Hærdeplastene, der altid anvendes med relativt stort indhold af fyldstoffer eller forstærkningsmaterialer, har varierende massefylde op til ca. 2.000 kg/m^3 . Celleplast kan have massefylde helt ned til 10 kg/m^3 .

Ved vurdering af materialeomkostningerne til en bestemt produktion er det vigtigt at tage massefylden i betragtning, idet materialepriser sædvanligvis angives pr. kg, mens volumen af et emne jo er uafhængigt af materialetypen.

Vandabsorption

Plastmaterialer er mere eller mindre hygroskopiske, dvs. de absorberer vand. Adskillige egenskaber påvirkes i uheldig retning; dimensionsstabiliteten reduceres for eksempel.

Vandabsorptionen afhænger af materialet, af omgivelsernes fugtighed og af temperaturen. Optagelsen af vand er dog en langsommelig proces; ligevægt opnås normalt først efter nogen tids forløb.

Nogle polyamider kan ved passende lang tids neddykning i vand optage op til 11 vægt-% vand, men i standardatmosfære (dvs. 23 °C og 65 % relativ luftfugtighed) er ligevægtsvandoptagelsen kun 4 %.

Plastmaterialernes vandabsorption er af betydning både ved forarbejdning og under anvendelse. Hygroskopiske plast skal udtørres grundigt, før de forarbejdes ved fx sprøjtestøbning. Hvis et hygroskopisk materiale skal fungere i ikke helt tørre omgivelser, skal det konditioneres, dvs. bibringes ligevægtsvandoptagelsen, før dimensionsgivende egenskaber bestemmes, og før de tages i brug.

Kemikaliebestandighed

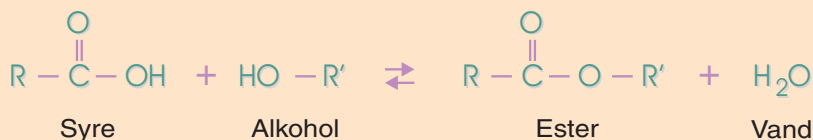
Plastmaterialers bestandighed over for kontakt med kemikalier er stærkt afhængig af det enkelte materiales opbygning og struktur, ligesom temperaturen og tiden spiller en afgørende rolle.

Man bestemmer normalt kemikaliebestandigheden ved at nedsænke opmålte og vejede prøvelegemer i det pågældende kemikalium ved den aktuelle temperatur. Med jævne tidsintervaller skylles og aftørres prøvelegemerne, og deres dimensioner og vægt måles igen. Desuden inspiceres prøvelegemerne for eventuelt ændret udseende. Ofte bestemmes væsentlige, fx mekaniske, egenskaber før og efter eksponeringen.

Ofte er det et ønske at fremskaffe data for effekten af langtidseksponering ved *accelereret prøvning*. Resultater af accelereret prøvning er imidlertid almindeligvis forbundet med meget stor usikkerhed. Det er i al fald en stor fordel at have længst mulig reel langtidserfaring. Normalt vil kun temperaturen kunne være aktuel som accelerationsparameter; men da varme alene kan virke nedbrydende, er det normalt kun acceptabelt at hæve temperaturen forholdsvis lidt. Ydermere kan accelerationsfaktoren kun fastlægges ved eksperimenter.

Principielt er hærdeplastene mere modstandsdygtige over for kemikalier end termoplastene.

For termoplastene gælder som tommelfingeregul, at additionspolymererne er følsomme over for organiske opløsningsmidler og mere bestandige over for uorganiske kemikalier. Polyethylen kan dog ikke opløses ved stuetemperatur. Kondensationspolymererne er i almindelighed bestandige over for de fleste organiske opløsningsmidler, mens de er følsomme over for især stærke syrer og baser. De er hydrolysefølsomme, idet polykondensationsprocessen under visse omstændigheder vil kunne gå tilbage. I praksis vil der være tale om en ligevægt, som kan forskydes den ene eller den anden vej, som vist i formelen herunder.



Det, at fx en ester eller en polyester reagerer med vand under dannelse af syre og alkohol, kaldes hydrolyse. Sådanne nedbrydningsprocesser katalyseres (forstærkes) ofte af tilstedeværende stærk syre eller base.

Desuden gælder det, at delkrystallinske polymerer er mere bestandige over for organiske opløsningsmidler end amorf materialer. Et vist slægtskab i kemisk sammensætning mellem den polymere og kemikaliet vil reducere bestandigheden. Fx er polystyren, som indeholder benzenringe i molekylet, opløselig i aromatiske opløsningsmidler som benzen og toluen.

Der findes mange tabeller over plastmaterialers kemikaliebestandighed. Man må altid være meget varsom med sådanne oplysninger, idet forsøgsomstændighederne kan være meget varierende. Sørg derfor altid for at undersøge, hvilke kriterier der ligger bag oplysningerne.

Et særligt fænomen har overordentlig stor betydning for plastmaterialer. Selv om et materiale i ubelastet tilstand er bestandigt over for et bestemt kemikalium, kan det svigte, hvis det samtidig er udsat for mekanisk belastning. Fænomenet kaldes spændingsrevnedannelse. Organiske opløsningsmidler og vaskemidler er ofte aktive i denne henseende. Ofte er ret beskedne, indre spændinger, fx opstået under forarbejdningen, tilstrækkelige til at udløse såkaldte spændingsrevner.

Fænomenet kan i øvrigt omvendt udnyttes til bestemmelse af niveauet af indre spændinger i et materiale. For en række materialer har man fastlagt de spændingsniveauer, ved hvilke bestemte væsker udløser spændingerne med revnedannelser til følge.

Kritisk tøjning og kritisk spænding hos PC ved kontakt med spændingsrevneudløsende væsker (kalibreringsvæsker)

Væske	ϵ_{cr} , %	σ_{cr} , N/mm ²
Carbontetrachlorid	0,11	2,7
Benzylalkohol	0,18	4,5
Carbontetrachlorid 85 % / isopropanol 15 %	0,26	6,5
Carbontetrachlorid 60 % / isopropanol 40 %	0,38	9,4
Carbontetrachlorid 45 % / isopropanol 55 %	0,50	12,5



Forandringer som beskrevet ovenfor er irreversible og derfor uoprettelige og i princippet fatale. Indvirkning af kemikalier kan imidlertid også have reversible, fysiske forandringer til følge. Eksempelvis absorberer visse materialer, fx polyamiderne, en hel del vand, hvad der blandt andet resulterer i reduceret mekanisk styrke og stivhed; der indtræder en blødgørende effekt. Samtidig kvælder materialet, dvs. det udvider sig. Et polyamidernes dimensioner er altså afhængige af fugtindholdet. Disse egenskabsændringer er reversible, idet de oprindelige egenskaber genskabes, når fugten atter fjernes ved udtørring.

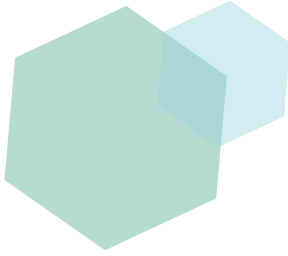
Af disse grunde må mange plastmaterialer tørres, inden de forarbejdes ved forhøjet temperatur, ligesom de producerede emner må konditioneres, til de har antaget ligevægtsfugtindhold svarende til de fugt- og temperaturmæssige forhold, de skal fungere under.

Hos glasfiberforstærkede hærdeplast forekommer et lignende fænomen, hvis glasfiberforstærkningen samtidig er udsat for mekanisk trækspænding og påvirkning af fx svovlsyre. I litteraturen er det beskrevet som *tøjningsskorrosion*.

Plast i kontakt med levnedsmidler

Den stigende opmærksomhed på miljøet og de stigende udbud af kemiske produkter i vore omgivelser skaber hele tiden nye bestemmelser for materialer i kontakt med levnedsmidler. Plastmaterialernes store egnethed som levnedsmiddelemballage og det, at de er relativt nye og lidt kendte, indebærer en særlig risiko. Derfor debatteres dette emne meget i disse år, ligesom der forskes meget i det.

Man er først og fremmest opmærksom på at forhindre giftige stoffer i at vandre fra plasten over i levnedsmidlerne og dermed udgøre en akut



eller kronisk sundhedsrisiko eller være kilde til bismag eller lugtgener.

Det er imidlertid ikke de polymere i sig selv, der udgør en sundhedsrisiko, men de lavmolekylære stoffer, som altid vil være til stede i form af blødgøringsmidler, stabilisatorer, pigmenter eller rester af monomerer. Visse polymerer af kondensationstypen kan desuden depolymeriseres under dannelse af monomerer. Det forekommer fx hos polyamider og hos polyethylenterephthalat især ved forhøjet temperatur fx under forarbejdningen.

Det er meget vanskeligt at finde ubetænelige pigmenter. Til sort indfarvning kan ofte kun kønrøg af en vis renhedsgrad anvendes. Generelt gælder det, at indfarvede plastmaterialer bør undgås i forbindelse med levnedsmidler.

Anvendelsen af fiberforstærkede materialer er ofte stærkt begrænset. For tiden er eksempelvis fiberforstærkede termoplast ikke tilladt til levnedsmidler i USA. I Tyskland tillades glasfiber, men ofte er det de hjælpestoffer, som sikrer vedhæftning mellem fibre og den polymere, der er betænkelige.

Generelt er det overordentligt vanskeligt at gennemføre egentlig godkendelse af et materiale til et bestemt levnedsmiddel eller en gruppe af levnedsmidler. Sædvanligvis kan der kun gives garanti for råvarens egenskaber i den sammenhæng, idet forarbejdningsprocessen kan have negativ indflydelse på materialet.

I Danmark gælder det generelt, at der ikke i et levnedsmiddel må kunne konstateres stoffer stammende fra emballage eller fra redskaber.

I USA reguleres disse forhold af Food and Drug Administration (FDA) og i Tyskland af Bundesgesundheitsamt (BGA). Ofte henholder man sig herhjemme til de amerikanske eller de tyske bestemmelser, hvor de forekommer relevante. I EU foregår et intensivt arbejde for at nå frem til fælles bestemmelser.

Permeabilitet

Ved mange praktiske anvendelser af plast fx til emballageformål er permeabiliteten (gennemtrængeligheden) af afgørende betydning.

At en plastfolie er permeabel over for et bestemt stof, betyder, at stoffet kan vandre ind gennem foliens ene overflade og opløses i plasten. I opløst tilstand diffunderer stoffet gennem plasten til den anden overflade, hvor det forlader foliematerialet. Processen er overordentligt kompliceret, men den påvirker almindeligvis ikke plastmaterialet.

Amorfe polymerer har ofte højere permeabilitet end de tilsvarende polymerer i krystallitisk tilstand, fordi massefylden (= massetætheden) er større i den krystallitiske end i den amorfe fase. Det gælder fx for polyetylen med lav og høj massefylde, men ikke for polymerer af forskellig kemisk opbygning.

Generelt vil tilsætningsstoffer som fyldstoffer, pigmenter og blødgøringsmidler give forøget permeabilitet.

Til moderne anvendelse som levnedsmiddelemballage er de forskellige plastfoliers permeabilitet over for forskellige lugt- og smagsstoffer af afgørende betydning. For at opnå optimal virkning må man ofte ty til at sammensætte (laminere) en emballagefolie af flere forskellige materialer.

Forhold ved brand

Alle plastmaterialer er organiske stoffer og kan derfor brænde. Brandværdien af de fleste plast, dvs. den energimængde, der under forbrænding frigives pr. kg materiale, er af samme størrelsesorden som hos træ.

Ved bygningsbrande er man stærkt opmærksom på sekundære virkninger af brand i plast, såsom udvikling af røg og giftige gasser.

En række brande har vist, at man ofte u hensigtsmæssigt anvender store mængder plast i situationer, hvor der foreligger stor antændelsesrisiko. Erfaringerne viser, at man ikke bør have store mængder letantændelige og/eller hurtigtbrændende materialer på steder, hvor mange mennesker er samlet på lidt plads fx i fly, busser, tog og beboelsesrum.

Til anvendelse i byggeri og i fly er der officielle krav til materialers røgudvikling og varmeudvikling. I passagerfly opererer man således med krav til evakuerings tid. Disse forhold er fx anledning til stærkt stigende anvendelse af phenolplastbaserede materialer i passagerkabiner i fly og tog, idet phenolplast ikke nærer forbrændingen og ikke udvikler røg af betydning.

Brandbarhed

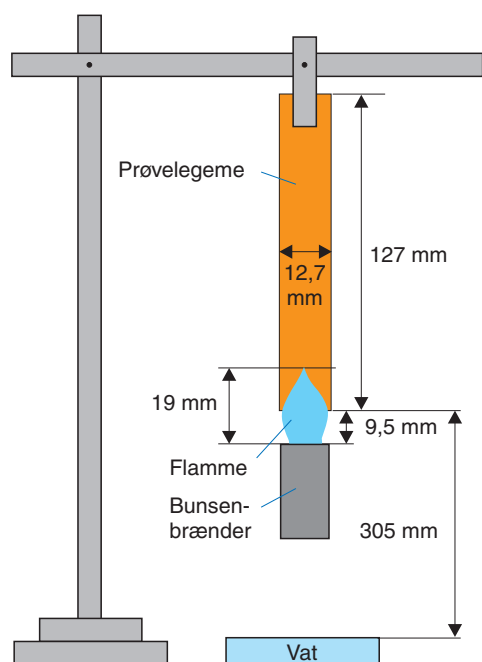
Plastmaterialer kan antændes både ved åben ild og ved elektrisk overbelastning. Ganske vist antændes mange plastmaterialer forholdsvis nemt; men man må samtidig huske, at bomuld, træ og andre organiske naturmaterialer kan være lige så letantændelige. Jo tyndere et emne er, desto lettere antændes det, og jo hurtigere brænder det.

Der findes en lang række forskellige metoder til bestemmelse af materialers brandbarhed. De er ofte meget forskellige i deres krav til prøveemnedimensioner og øvrige forsøgsbetingelser, og resultaterne er derfor ikke sammenlignelige. Fælles for de fleste er imidlertid, at de baseres på relativt små prøveemner og derfor ikke siger ret meget om, hvad der vil ske under fx en bygningsbrand eller brand i et plastlager.

Internationalt baseres brandbarhedsprøvning ofte på metoder fra det amerikanske Underwriters Laboratories. To metoder er aktuelle, en med prøveemnet anbragt lodret, og en, hvor prøveemnet er anbragt vandret.

Det lodret anbragte prøveemne antændes med en flamme i den nederste ende under givne betingelser, og brændetiden bestemmes. Hvis branden går ud inden for 5 sekunder, og der ikke falder brændende dråber, klassificeres materialet som UL94 V-O. Brænder emnet i mere end 5 s, men under 25 s, og der ikke falder brændende dråber, bliver klassificeringen UL94 V-1. Går branden ud inden for 25 s, men der falder brændende dråber, klassificeres materialet som UL94 V-2.

Hvis ingen af de ovenstående krav opfyldes, prøves brandforløbet med et vandret placeret prøveemne. Emnet antændes i den ene ende, og brændudbredelsehastigheden bestemmes. Hvis branden i et emne med 3 mm's tykkelse udbreder sig langsommere end 62,5 mm/min, klassificeres materialet som UL94 HB.



Lodret opstilling til brandprøvning efter UL94

Oxygenindeks

Ved et materiales oxygenindeks forstås det laveste oxygenindhold i en blanding af oxygen og nitrogen, hvorved materialet brænder under givne betingelser.

Brandhæmmende additiver

Et plastmateriales brandbarhed er stærkt afhængig af dets sammensætning. Specielt kan brandbarheden nedsættes ved tilsætning af en række

additiver, fx antimontrioxid, phosphorsyreestere og halogenforbindelser (halogener = fluor, chlor, brom og jod).

Brandhæmmende additiver kan iblandes mekanisk som et hvilket som helst andet additiv. En sådan ydre blødgøring er imidlertid i princippet ikke stabil, idet additivet under visse betingelser kan forlade plastmaterialet (migrere). Bedre stabilitet kan opnås ved copolymerisering af fx halogenholdige monomerer i polymerkæden. Dette benævnes også indre blødgøring.

Ved overfladebehandling med brandbeskyttende lak kan komponenters antændelsestid reduceres med den tid, lakken forbliver intakt.

Foruden at reducere brandbarheden vil plastpolymererne eller de brandhæmmende additiver ofte frigive giftige eller korroderende gasser. Et eksempel herpå er PVC, som ved ca. 200 °C afgiver hydrogenchlorid, som i forbindelse med vand (fugt i luften) danner saltsyre. Hydrogenchlorid har en meget stærk, stikkende og kvalmende lugt. Saltsyre kan give alvorlige ætsninger og ikke mindst betydelige korrosionsangreb på maskiner og udstyr.

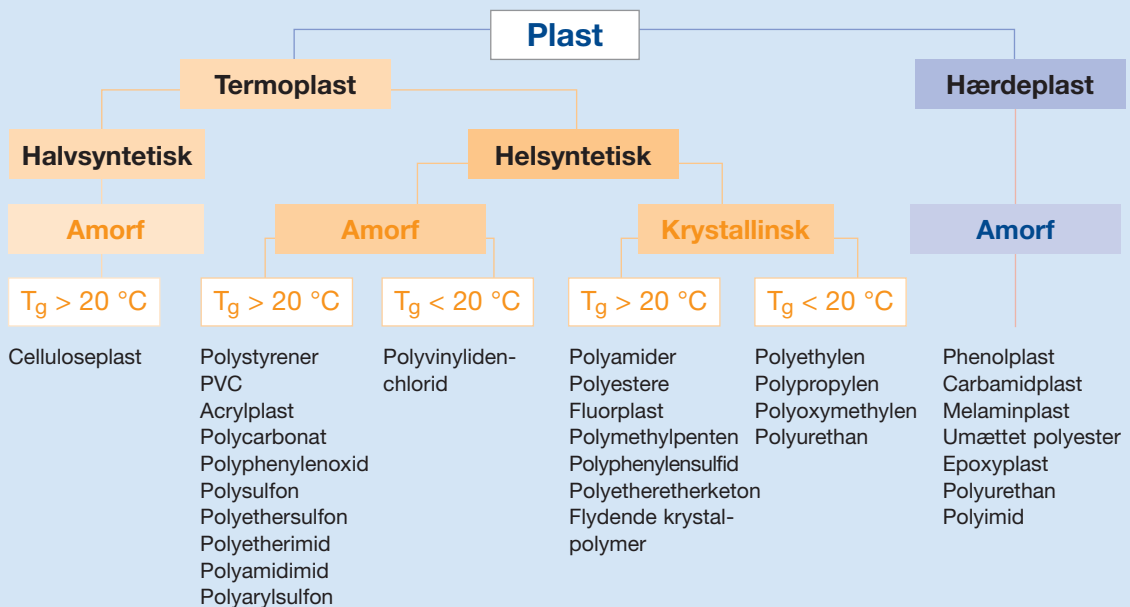


TERMOPLAST

I dette kapitel gives en kort beskrivelse af de forhold, der er karakteristiske for de fleste kommercielt anvendte plast. Der er ikke systematisk oplyst specifikke materialedata.

En systematisk inddeling af plastpolymererne efter deres molekylstruktur (kædemolekyler eller rumlige netværksmolekyler), deres oprindelse (halv- eller helsyntetisk) og deres tilstandsform (T_g større eller mindre end stuetemperatur) er vist herunder.

Systematisk inddeling af plastpolymererne efter deres molekylstruktur, oprindelse og tilstandsform



Omtrentlige prisindekser for de almindeligste plast (2004)

Det vægtbaserede prisindeks for PELD er sat til 1. Værdierne gælder for upigmenterede, ordinære sprøjttestøbekvaliteter uden specielle tilsætninger, beregnet til almindelige formål. Værdierne gælder for indkøb i tons-partier.

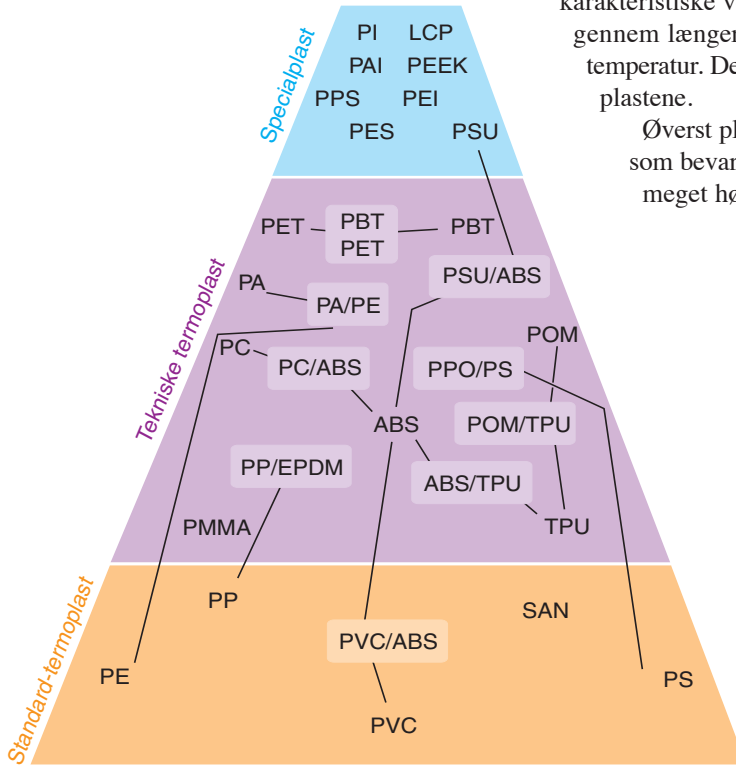
Materiale	Forkortelse	Massefylde kg/m ³	Prisindeks (vægt- baseret)	Prisindeks (volumen- baseret)
Termoplast				
Polyethylen LD	PELD	910-925	1,0	0,91-0,93
Polyethylen HD	PEHD	945-965	0,9	0,9-1,0
Polypropylen	PP	900-910	1,0	0,9-1,0
Polymethylpenten	PMP	830	10	8,3
Polystyren	PS	1.040-1.090	1,1	1,1-1,2
Slagfast polystyren	SB	930-1.100	1,2	1,1-1,3
Styren-acrylnitril-copolymer	SAN	1.070-1.100	1,8	1,9-2,0
ABS	ABS	1.010-1.080	1,7	1,8-2,0
PVC, stiv	PVC	1.300-1.580	1,1-1,3	1,4-2,1
PVC, blødgjort	PVC	1.160-1.350	1,1-1,4	1,3-1,9
Polymethylmethacrylat	PMMA	1.170-1.200	2,0	2,3-2,4
Celluloseacetat	CA	1.220-1.340	3,2-3,8	3,9-5,1
Polyamid 6	PA6	1.120-1.140	2,4	2,7-2,8
Polyamid 66	PA66	1.130-1.150	3,5	4,0
- med 33 % glasfiber		1.370-1.390	3,7	5,1
Polyamid 11	PA11	1.030-1.050	6,5	7,1
Amorf polyamid		1.060	9,0	9,5
Polyoxymethylen	POM	1.410-1.420	3,0	4,2-4,3
- med 20 % glasfiber		1.560	3,2	5,0
Polyethylenterephthalat	PET	1.370	3,2-4,1	4,4-5,6
- med 20-40 % glasfiber		1.500-1.580	3,5-4,1	5,3-6,5
Polyphenylenoxid, modificeret	PPO/SB	1.060	3,5	3,7
Polycarbonat	PC	1.200	3,0-3,5	3,5-4,4
Polysulfon	PSU	1.240	9,0	11
Polyethersulfon	PES	1.370	12	16
Polyphenylsulfid med 40 % glas	PPS	1.640	9,6	16
Polytetrafluorethylen	PTFE	2.140-2.200	25	55
Polyvinylidenfluorid	PVDF	1.780	16	28
Polyetheretherketon	PEEK	1.320	42	55
Polyamidimid	PAI	1.450	24	35
Termoplastiske elastomerer				
Styrenbaserede TPE		930-1.200	1,6-2,1	1,7
Olefinbaserede TPE	TPO	840-1.020	1,7-2,8	1,8
Esterbaserede TPE		1.170-1.250	3,0-5,0	4,5
Urethanbaserede TPE	TPU	1.050-1.200	3,9-6,2	5,0
Amidbaserede TPE		1.010-1.110	5,5-8	7
Hærdeplast				
Phenolplast	PF	1.300-1.500	1,2-2,0	1,6-2,9
Carbamidplast	UF	1.470-1.520	1,3	2,0
Melaminplast	MF	1.480-2.000	1,3-2,0	2,34-2,96
Umættet polyester	UP	1.100-1.460	2,1-2,9	2,3-4,3
Epoxyplast	EP	1.110-1.400	2,0-4,8	2,2-6,7
Polyimid, forstærket	PI	1.600-1.900	24-33	38-63
Polyurethan - stift integralskum	PUR	600	2,2	1,3

I tabellen ovenfor er plastmaterialerne opstillet efter prisindeks med termoplast øverst efterfulgt af de termoplastiske elastomerer og hærdeplastene. Bemærk, at der er vist prisindeks både i forhold til mængde og i forhold til volumen. Tabellen viser også de almindeligt anvendte forkortelser.

En opstilling af termoplastene efter deres tekniske egenskaber er vist i figuren nedenfor. De nederste betragtes som standardmaterialer med relativt beskedne værdier af tekniske egenskaber. De fremstilles i store mængder og er forholdsvis billige. Undertiden benævnes de masseplast eller volumenplast.

De tekniske termoplast, som også betegnes konstruktionsplast, er karakteristiske ved at kunne tåle mekanisk belastning gennem længere tid og undertiden ved lidt forhøjet temperatur. De har noget højere pris end standardplastene.

Øverst placeres de meget kostbare specialplast, som bevarer deres mekaniske egenskaber ved meget høje temperaturer.



Opstilling af de almindeligste termoplast efter deres tekniske egenskaber og pris med de bedste og dyreste øverst

Polyolefiner

Polyolefiner er fællesbetegnelse for de polymerer, der dannes ved polymerisation af olefiner. Olefiner er navnet på den række af hydrocarboner, som indeholder en dobbeltbinding mellem to carbonatomer.

De mest betydningsfulde polyolefiner er polyethylen (PE), polypropylen (PP) og polymethylpenten (PMP), men gruppen omfatter også polybutylen og polyisobutylen.

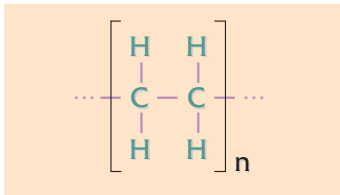
Polyethylen udgør i sig selv to store familier: low density-polyethylen (PELD) og high density-polyethylen (PEHD) (low density = lav massefylde; high density = høj massefylde). En gruppe med middelhøj massefylde benævnes PEMD (medium density-polyethylen). De senere år har flere og flere specialtyper fået selvstændig betydning, det gælder fx PELLD (linear low density-polyethylen) og PE-UHMW (ultra high molecular weightpolyethylen). De enkelte familier adskiller sig tydeligst fra hinanden ved deres massefyldeintervaller og de krystallinske smeltepunkter. Polyolefiner indgår ofte i copolymerisater; fx er termoplasten EVA en copolymer af ethylen og vinylacetat.

Massefyldeintervaller og krystallinske smeltepunkter hos polyolefinerne

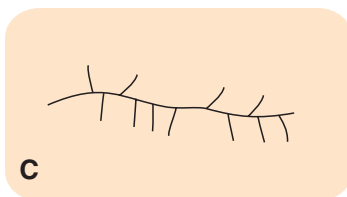
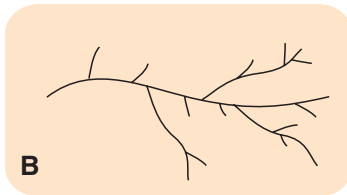
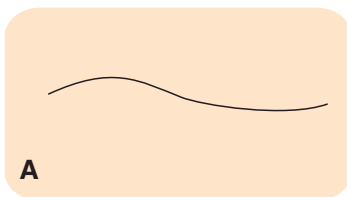
I praksis er overgangene mellem de enkelte PE-familier ret flydende.

Materialfamilie	Massefylde-interval [kg/m ³]	Krystallinsk smeltepunkt [°C]
PMP	835-840	235
PP	900-910	160-165
PELD	910-925	105-115
PEMD	925-940	115-125
PEHD	940-965	125-135
PE-UHMW	~ 930	-

Kemisk grundformel for polyethylen



Molekylstruktur hos PEHD (A), PELD (B) og PELLD (C)



Polyethylen (PE)

Polyetylen er delkrystallinske termoplast, der fremstilles ved højtryks- og lavtryksprocesser under medvirken af mange forskellige, specielle katalysatorsystemer. De forskellige processer resulterer i de forskellige polyethylen-familier. Hver familie har sin særlige egenskabsprofil. Generelt besidder alle polyetylenere fremragende elektriske isolationsegenskaber, fremragende bestandighed over for vand og fugt og god bestandighed over for næsten alle organiske opløsningsmidler og kemikalier. De er ugenomsigtige, lette, seje og fleksible materialer.

Egenskaber

Med massefylde varierende mellem 915 og 960 kg/m³ er PE lettere end vand og hører dermed til de letteste plast.

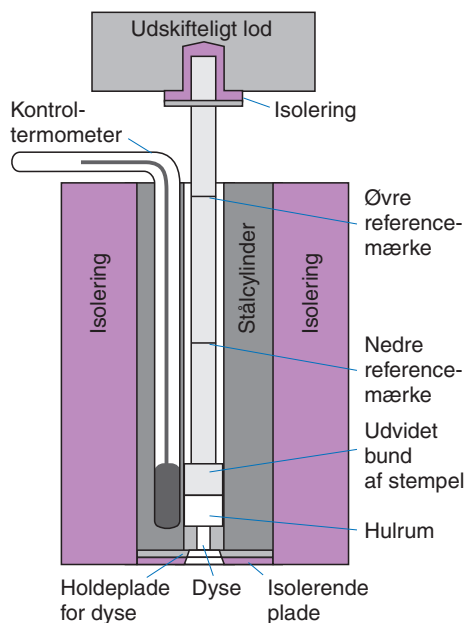
De forskellige kvaliteter adskiller sig fra hinanden ved smelteindeks, massefylde, middelmolekylmasse, molekylmassefordeling og molekyllær forgreningsgrad. Til en konkret anvendelse kræves disse egenskaber nøje afstemt efter hinanden. For at karakterisere en materialekvalitet tilstrækkeligt skal i hvert fald smelteindeks, massefylde og molekylmassefordeling kendes.

Strukturanalyser har vist, at PE-familiernes egenskabsforskelle i væsentlig grad skyldes variationer i molekylstrukturen. HD-polyethylen består næsten udelukkende af lineære molekyler. LD-polyethylen har en del forgreninger både af første, anden og undertiden højere orden. PELLD-molekylerne har derimod mange, men ganske korte førsteordens-forgreninger.

Strukturforskellene gør, at molekylerne i PEHD kan pakkes tættere sammen end i PELD. Det afspejler sig i PEHD's højere massefylde og i en lang række andre egenskaber. PEHD er således stærkere og stivere end PELD, men ikke så sej. Kærvelslagsjeheden efter Izod er 30-160 J/m for forskellige PEHD-kvaliteter, mens PELD slet ikke brydes ved denne metode.

T_g er for PE af alle typer langt under 0 °C, så materialerne befinder sig ved almindelig temperatur i deres viskoelastiske tilstand, hvilket forklarer deres bløde og bøjelige karakter. De er desuden mere eller mindre krystallinske afhængigt af molekylernes forgreningsgrad og tæthed (= massefylden).

Til karakterisering af polyetylenere benytter man sig blandt andet af begrebet *smelteindeks* (engelsk: melt flow index, MFI). Lidt materiale opvarmes til en bestemt temperatur og udsættes for en bestemt mekanisk belastning i en cylinder med veldefineret dyse. Smelteindekset er da den mængde af platen - målt i gram - der forlader dysen i løbet af 10 minut-



Apparat til bestemmelse af smelteindeks efter ISO 1133:1991

ter. Det ses, at et højt smelteindeks er ensbetydende med lav viskositet og omvendt. Smelteindekset er et mål for materialets middelmolekylmasse, som altså er omvendt proportional med smelteindekset. To materialekvaliteter med samme middelmolekylmasse behøver imidlertid ikke at have ens flydeegenskaber; man må også kende molekyllmassfordelingen. Den bestemmes fx ved størrelseskromatografi, GPC (= gel permeation chromatography).

Massefylden er som før nævnt også en væsentlig egenskab hos polyetylen. Den bestemmes med fire betydende cifre fx i en *massefyldeskolonne*, som er et vidt, lodretstående glasrør med en passende blanding af vand og ethylalkohol, således at blandingsforholdet og dermed massefylden ændres kontinuerligt.

I fast tilstand indvirker hovedsageligt middelmolekylmassen og massefylden, men også molekyllmassfordelingen, på de mekaniske egenskaber. Imidlertid har smelteindeks og massefylde ofte modsat indflydelse på egenskaberne, så i praksis må der søges kompromiser.

PE har en glansløs, voksagtig overflade. Lystransmissionen afhænger af krystalliniteten, men kun hos PELD i tynde folier fås normalt gennemskinnelighed af betydning.

Ingen af polyetylenene er bestandige over for ultraviolet lys. Vejrbestandigheden kan dog forbedres ved tilsætning af UV-absorbere. Imidlertid er det kun kønrøg, der har en egentlig langtidseffekt, men derved må man acceptere den sorte farve.

Massefylden af PEHD-homopolymer er 940-965 kg/m³ afhængigt af polymerisationsprocessen. Ved copolymerisation af ethylen med propylen, butylen, hexen eller octen reduceres massefylden helt ned til 940 kg/m³. PEHD er delkrystallinsk. Krystalliniteten af en given PEHD kan påvirkes ved afkølingshastigheden fra smeltet tilstand. Normalt svinger den mellem 50 og 80 %.

Egenskaber som trækflydespænding, stivhed, krybemodstand, modstand mod gennemtrængning af gasser og væsker, slidbestandighed, skrumpning ved forarbejdning (støbesvind) og hårdhed stiger med stigende massefylde. Modsat falder slagsejhed, tøjning og modstand mod spændingsrevnedannelse med stigende massefylde.

Slagsejhed, trækstyrke, tøjning og modstand mod spændingsrevnedannelse forbedres med faldende smelteindeks (= stigende middelmolekylmasse). Forarbejdighed og optiske egenskaber forværres ved faldende smelteindeks.

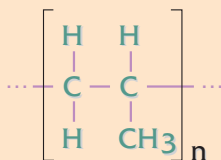
Af det ovenstående ses, at det ikke er muligt at maksimere alle egenskaber i én PEHD-kvalitet. Der må altid indgås kompromiser ved design med PEHD. Det er baggrunden for det overordentligt store udvalg af PEHD-kvaliteter, som de fleste producenter tilbyder.

Som tidligere nævnt, befinder PEHD sig ved almindelig temperatur i den viskoelastiske tilstand, hvorfor den ved konstant mekanisk belastning vil give efter (krybe). Af denne grund kan almindelige korttidsdata som bøj- og trækstyrke og -modul ikke bruges ved konstruktive beregninger. Man benytter sig i stedet af krybedata. Heraf kan findes en krybemodul, som passer til den forudsatte funktionsperiode ved den forudsatte last. Krybemodstanden af PEHD forøges med stigende massefylde og stigende middelmolekylmasse. Herudover kan krybemodstanden forbedres ved tværbinding, som kan etableres ved bestråling eller ad kemisk vej.

Eksempler på handelsnavne på PE

Paxon (Allied Chemical), Hostalen (Hoechst), AMOCO (Amoco), Eraclene og Riblene (Polimeri Europa), Dylan (ARCO/Polymer), Lupolen (BASF), Baylon (Bayer), Lotrène (CdF), Vestolen A (SABIC), Dow PE (Dow), SABIC LDPE, SABIC LLDPE, SABIC HDPE (SABIC), Alathon (Du Pont), Tenite (Eastman), Exxon LD (Exxon), Alkathene (ICI), Novatec (Mitsubishi), Hi-zex (Mitsui), Marlex (Phillips), Natene (Rhône Poulenc), Carolona (Shell), Eltex (Solvay & Cie), Bakelit (Union Carbide), TOTAL Petrochemicals Polyethylene (TOTAL).

Kemisk grundopbygning af polypropylen



PELLD er et overordentligt alsidigt og prisbilligt materiale. Det er sejt og kemisk bestandigt med gode dielektriske egenskaber og gode barriereegenskaber. PELLD kan indfarves og UV-stabiliseres på sædvanlig vis.

PELLD blev udbredt i slutningen af 1970'erne som en ny generation PE med fremragende styrkeegenskaber i forhold til PELD's. Desuden er molekylmassefordelingen smallere end hos PELD, hvilket dog gør materialet sværere at ekstrudere. Emner med samme styrkeegenskaber kan fremstilles i PELLD med mindre materialeforbrug end i PELD.

Som følge af det højere krystallinske smeltepunkt (125 °C) kan der fremstilles emner, som kan tåle maskinopvask.

Desuden anvendes ofte blandinger af PELD og PELLD.

Forarbejdningsmetoder

PE forarbejdes let ved alle de sædvanlige metoder til termoplast. Af særlig betydning er foliefremstilling. En meget stor del af PE-produktionen anvendes til fremstilling af folier af alle slags ved blæsning, ekstrudering eller ekstruderingsbelægning (extrusion coating).

Anvendelser

Over 55 % af produktionen af PELD anvendes til folier, især til emballage (herunder fødevareremballage), affaldsposer og -sække, til byggeriet, landbruget og industrien. Ved ekstrudering belægges fx papir og pap, tekstiler og andre plast med PE-folie, eksempelvis til mælkekartoner.

Rør, slanger og profiler fremstilles ved ekstrudering.

En speciel kvalitet PEMD anvendes til naturgasrør.

En særlig anvendelse er kabelisolering.

Ved rotationsstøbning fremstilles hullegemer, fx tromler, transporttanke, lastepaller og havemøbler. Af tværbundet PE (PEX) rotationsstøbes særligt modstandsdygtige kemikalietransporttanke.

For at opnå særlige barriereegenskaber coekstruderes PELD med andre plast.

Polypropylen (PP)

Polypropylen er en alsidig gruppe af termoplast med en attraktiv balance mellem termisk og kemisk bestandighed, gode mekaniske og elektriske egenskaber og let forarbejdelighed. Der er tale om et ganske bredt spektrum af kvaliteter, hvis egenskaber kan bestemmes ved:

- Type af polymer: Homopolymer eller copolymer med ethylen
- Middelmolekylmasse og molekylmassefordeling
- Morfologi og krystallinsk struktur
- Additiver
- Fyldstoffer og forstærkningsmaterialer
- Fremstillingsteknik

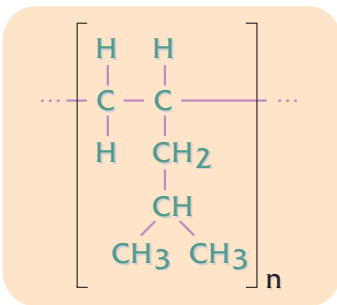
Egenskaber

Polypropylen har høj stivhed, god trækbrudstyrke og bestandighed mod syrer, baser og opløsningsmidler. Imidlertid oxideres PP let, hvorfor anti-oxidanter er nødvendige additiver i alle kommercielle kvaliteter.

PP er som følge af den høje krystallinitet ugenomsigtig med hvid egenfarve. PP kan indfarves efter ønske. PP besidder fremragende udmattelsesegenskaber, hvilket udnyttes i en hængseleffekt, der forekommer naturligt. PP-folie har lav gennemtrængelighed for vand og fugt, er upåvirkelig af bakterier og svampe og har gode elektrisk isolerende egenskaber.

Eksempler på handelsnavne på PP

Plaskon (Allied), Hostalen PP (Hoechst), AMOCO PP (Amoco), Novolen (BASF), Vestolen P (SABIC), Pro-fax (Hercules), SABIC PP (SABIC), Tenite (Eastman), Propathene (ICI), Novatec-P (Mitsubishi), Polypro (Mitsui), Moplen (Shell), Marlex (Phillips), Napryl (Rhône Poulenc), Shell PP (Shell), Eltex P (Solvay & Cie), TOTAL Petrochemicals Polypropylene (TOTAL).



Kemisk formel for polymethylpenten



Med en massefylde på 900-910 kg/m³ er PP den letteste af volumenplastene. Omkring 20 % af PP-produktionen sælges som copolymer med 2-5 % ethylen. Copolymererne har større klarhed i folietykkelse, større sejhed og fleksibilitet samt et lavere krystallinsk smeltepunkt.

Forarbejdningsmetoder

PP kan forarbejdes ved alle de sædvanlige metoder til termoplast. PP anvendes dog i udstrakt grad til fremstilling af fibre, ekstruderet folie og sprøjtetøbte emner.

Anvendelseseksempler

Blæsestøbte emner: Medicinske beholdere, forbrugeremballage.

Ekstruderede produkter: Belægning, fibre og filamenter, folie, rør, plader, sugerør, kabelisolering.

Sprøjtetøbte produkter: Møbler, husholdningsartikler, kufferter, medicinske artikler, låg, beholdere, legetøj, batterikasser.

Polymethylpenten (PMP)

Polymethylpenten er en højtydende termoplast med fremragende elektriske egenskaber og varmebestandighed. PMP er bestandig mod olie og mange kemikalier, transparent og let at forarbejde. Monomeren til PMP er 4-methylpenten-1, som fremstilles ud fra propylen.

Egenskaber

PMP er den letteste af alle plast med massefylde 840 kg/m³. PMP er delkrystallinsk, men transparent og med en glasovergangstemperatur på ca. 50 °C og et krystallinsk smeltepunkt på ca. 230 °C. PMP er imidlertid omkring ti gange så dyr som PE.

PMP's egenskabsprofil placerer plasten mellem transparente materialer som polycarbonat, polysulfon, polyester, styren-acrylnitril-copolymer og acrylplast og ugenomsigtige materialer som polyethylen, polypropylen, polyamid og modificeret polyphenylenoxid.

For eksempel er PMP varmebestandig og transparent med en lystransmission på mindst 90 %. I PMP kombineres således positive egenskaber som transparens og varmebestandighed med gode elektrisk isolerende egenskaber og en forarbejdelighed, som er karakteristisk for delkrystallinske polyolefiner.

Forarbejdningsmetoder

PMP forarbejdes bedst ved sprøjtetøbning og ekstrudering; men materialet kan også termoformes - dog med noget besvær. Derimod udføres celleplastfremstilling, rotationsstøbning, trykstøbning og mekanisk formgivning kun under særlige betingelser.

Anvendelseseksempler

Omkring en tredjedel af al PMP anvendes inden for den medicinske sektor, fx til injektionssprøjter, blodprøveglasser, laboratorieudstyr og dyrebure. Her er det især kombinationen af høj slagsejhed, transparens og steriliserbarhed, der udnyttes.

I kontakt med fødevarer anvendes PMP til emner, hvoraf der kræves bestandighed over for varme, olie og damp, eksempelvis bakker til mi-krobølgeovne (en meget stor anvendelse), komponenter til kaffemaskiner, automatiske vaskemaskiner, æggekogere, sutteflasker og skænkepropper til spiritus.

Eksempler på handelsnavne på PMP

TPX (Mitsui), Crystallor (Phillips 66).

I industrien anvendes PMP-folie fx ved hærdeprocesser ved hærdeplast som polyurethan, epoxyplast, phenolplast, melaminplast og carbamidplast. Som slipmiddel konkurrerer PMP med fluorplast.

I apparat- og elektronikindustrien finder PMP anvendelse i kopimaskiner, til akustiske komponenter og spoler.

Styrenbaserede termoplast

Gruppen af styrenholdige termoplast omfatter foruden homopolymeren polystyren en række copolymerer, hvori styren indgår med en dominerende andel. Her omtales polystyren, styren-butadien-copolymer (SB), styren-acrylnitril-copolymer (SAN) og acrylnitril-butadien-styren-copolymer (ABS).

Polystyren (PS)

Polystyren er en klar, farveløs, amorf termoplast, som er hård, stiv og forholdsvis skør. Ved iblanding af gummi og ved copolymerisation med gummi kan brudtøjning, sejhed og slagsejhed forbedres. Sådanne typer betegnes slagfast polystyren. Ved copolymerisation af styren med acrylnitril dannes SAN. Hvis butadien også indgår, dannes materialet ABS.

Foruden standard-PS uden eller med ringe tilsætning af additiver forekommer typer med forbedrede flydeegenskaber, varmebestandige typer og typer, der er godkendt til fødevareremballage. Slagfast PS forekommer i tilsvarende modifikationer.

Specialtyper til fremstilling af strukturskum af PS og af slagfast PS findes med op til 30 % massefylderreduktion. Brandhæmmende typer og typer, der egner sig til iblanding af fyldstoffer eller fibre, forekommer ligeledes. Desuden forekommer en række blandinger af PS og af slagfast PS med andre termoplast.

Ekspanderbar polystyren (EPS) består af små kugler med 5-8 % af et opskumningsmiddel (fx pentan) indarbejdet. Ved opvarmning med vanddamp til over T_g (≈ 100 °C) blødgøres plasten, og trykket fra det fordampede opskumningsmiddel får materialet til at ekspandere. Afhængigt af pakningsgraden fås produkter med massefylde ned til 20 kg/m^3 .

Egenskaber

Med en bøjemodul på op til 3.400 MPa hører PS til de stive plast. Handelskvaliteter varierer fra 1.600 MPa for gummimodificerede og brandhæmmede typer til det dobbelte for standard-PS.

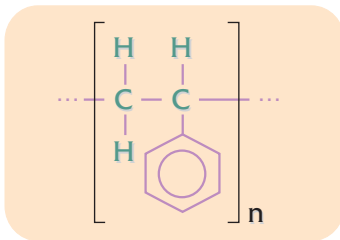
Øvre temperaturgrænse for PS varierer med niveauet af indre spændinger og anvendelsen. I ubelastet og spændingsfri tilstand anføres en grænse på 80-90 °C. Varmeledningsevnen er som hos kork og kun 10 % af glas'.

Udvidelseskoefficienten er 5-10 gange så stor som hos flaskeglas og stål og 2½-4 gange så stor som hos aluminium.

Umodificeret PS er sprød; støbt som plade er trækbrudstyrken 28 MPa, elasticitetsmodulen ved træk 2.760 MPa og brudtøjningen ca. 1 %.

Hos slagfaste typer falder E-modulen noget, men der er en markant flydegrænse, og der optræder koldflydning resulterende i en brudtøjning på op til 75 %.

Kærvelagsejheden af umodificeret, ikke orienteret PS er ca. 20 J/m; men i gummimodificerede typer kan den være helt op til det tidobbelte. PS er bestandig over for uorganiske syrer (med undtagelse af stærke,



Kemisk formel for polystyren



oxiderende syrer) og over for organiske syrer, alifatiske aminer, baser, uorganiske salte, fødevarer, krydderier, vegetabiliske olier, drikkevarer, sæber og vaskemidler.

Derimod angribes PS af hydrocarboner, aromatiske aminer, aldehyder, estere og ketoner samt æteriske olier og insektmidler.

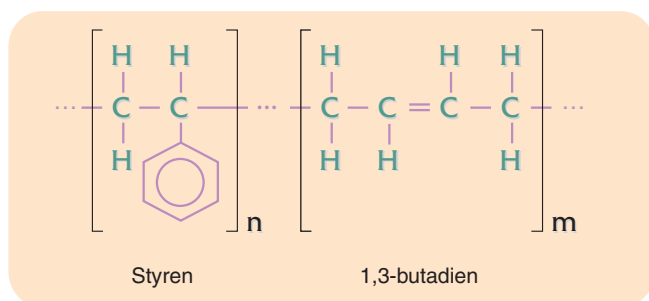
PS er forholdsvis ugenomtrængelig for vand, vanddamp og mange fødevarerkomponenter.

PS er en klar og transparent plast med høj glans. Den kan indfarves efter ønske.

Ved tilsætning af UV-absorbere kan udendørsbestandigheden forbedres.

Styren-butadien-copolymer (SB)

Kemisk grundopbygning af styren-butadien-copolymer



Slagsejhed, brudtøjning og sejhed af PS kan - som ovenfor nævnt - forbedres ved modifikation med en gummikomponent.

Ved copolymerisation af styren og 1,3-butadien opstår styren-butadien-copolymer, også kaldet *slagfast polystyren*, med forkortelsen SB. Ved iblanding af butadiengummi i polystyren (ydre blødgøring) kan samme effekt opnås. I kommercielle produkter udgør styrendelen omkring 2/3. I molekylerne virker butadien-segmenterne som bøjelige led mellem de stive styren-segmenter, hvorved der opstår en sej og slagstærk termoplast.

Egenskaber

Samtidig med stor slagsejhed og god brudtøjning har SB god stivhed og varmebestandighed.

SB tillader større designfrihed end de fleste transparente polymerer og udviser stor målfasthed, idet formsvindet er lavt.

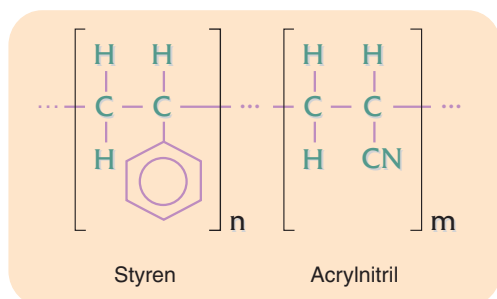
Materialerne blandes godt med andre termoplast, fx polystyren, styren-acrylnitril-copolymer, polypropylen og polycarbonat.

SB fremstilles stort set til to procesområder: sprøjtstøbning og ekstruderings-termoformning. Sprøjtstøbekvaliteterne har højere styrenindhold for at give større overfladehårdhed, stivhed og overfladeglans.

Termoformningskvaliteterne anvendes sædvanligvis blandet med PS til en passende kombination af let forarbejdelighed og sejhed.

Gennem kontrol af længden af butadien-segmenterne i copolymererne kan disse fås i transparente udgaver. Derimod vil de typer, der består af sammenblandet polystyren og butadiengummi, på grund af gummiet være ugenomsigtige, undtagen ved ganske små tykkelser.

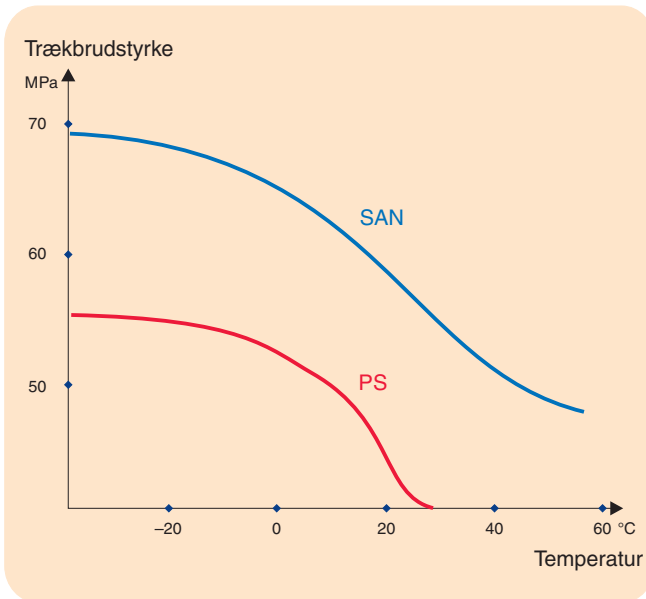
Kemisk opbygning af SAN



Styren-acrylnitril-copolymer (SAN)

Styren-acrylnitril-copolymer (ofte kaldet polystyrenacrylnitril) er en copolymer af styren og acrylnitril. SAN udmærker sig ved at have polystyrens klarhed, men større sejhed, og frem for alt ved, at det bevarer de mekaniske egenskaber ved højere temperatur. Andre karakteristika er god hårdhed, stivhed og dimensionsstabilitet samt høj transparens. Desuden er kemikaliebestandigheden bedre end hos polystyren.

Temperaturens betydning for trækbrudstyrken af SAN og PS



Eksempler på handelsnavne på styrenbaserede termoplast

PS: Hostyren (Hoechst), Polystyrol (BASF), Vestyron (Degussa-Hüls), BP Polystyrene (BP), Carinex (Shell), Gedex (CdF), Lacqrène (ATO), Edistir (EniChem), Lustrex (Monsanto), Styron (Dow), Diarex (Mitsubishi), Toporex (Mitsui), TOTAL Petrochemicals Polystyrene (TOTAL).

EPS: Hostapor (Hoechst), Styropor (BASF), Vestypor (Degussa-Hüls), Extiv (EniChem).

SB-copolymer: Stereon (Firestone), K-Resin (Phillips), Asaflex (Asahi Chemical), Styrolux (BASF), Clearen (Derki-Kagaku), FINACLEAR (TOTAL).

Handelsnavne på de gummiblandede PS-typer følger i store træknavnene på PS (se ovenfor).

SAN: Luran (BASF), Kostil (EniChem), Sicoflex (Mazzucchelli), Lustran (Monsanto), Tyril (Dow), Litac (Mitsui), Sanrex (Mitsubishi), Vestyron (Degussa-Hüls).

Egenskaber

SAN er lige så transparent som standardpolystyren. SAN kan optage større slagenergi og modstå påvirkning fra flere kemikalier. SAN er således modstandsdygtig over for vand, fortyndede syrer og baser, blegemidler, vaskemidler, benzin og visse chlorerede hydrocarboner. Derimod angribes SAN af en række aromatiske forbindelser og af ketoner.

I sammenligning med standardpolystyren har SAN væsentligt forbedret bestandighed mod mekaniske spændinger såvel i luft som i mere aggressive omgivelser. For en SAN-kvalitet med 70 % styren er den kritiske spænding i luft dobbelt så høj som for PS. I mælk og smør er den fem gange så høj.

Over for en række kemikalier er bestandigheden mod spændingsrevnedannelse stor, ligesom træk- og bøjestykke, stivhed, ridebestandighed og krybeforhold er bedre end hos PS.

De mekaniske styrke-egenskaber bibeholdes ved højere temperatur end hos PS.

På tilsvarende vis forholder det sig med elasticitetsmodul og flydespænding.

Forarbejdningsmetoder

Ved 140-150 °C formgives polystyren både som homopolymer og de copolymerer typer let ved sprøjtstøbning og ekstrudering, ligesom termoformning, presning og celleplastprocesserne er velegnede.

Typiske eksempler på anvendelse af polystyren (PS), slagfast polystyren (SB) og styren-acrylnitril-copolymer (SAN)

PS, SB: Emballage (også til levnedsmidler), engangsartikler.

PS, SB, SAN: Husholdningsartikler, elektroniske og elektriske komponenter, telekommunikationsudstyr, stærkstrømsdele.

SB, SAN: Køleskabs- og kølerumsdele, kabinetter til fotoapparater, elektriske apparater, husholdningsapparater og kontormaskiner, automobildele fx instrumentbrætter og kølergitte.

EPS: Termisk isolering, støddæmpende emballage, redningsmateriel, drikkebægre til varme drikke.

SAN: Elektronik: Videokassettevinduer og -spoler, telefonkomponenter, terminalkabinetter.

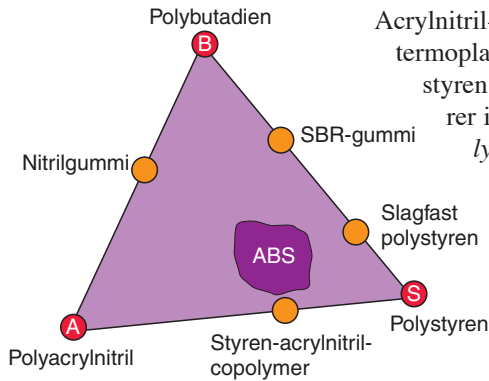
Automobilindustri: Instrumentlinser, batterikapsler, komponenter til instrumentpaneler. Glasfiberforstærket SAN erstatter i stigende grad metaldeler.

Husholdningsartikler: Komponenter i vaskemaskiner, blenderskåle, hårtørrere, drikkeglas, kander, skåle, krus.

Emballage: Kosmetikbeholdere, hylstre til læbestift, engangslyghtere.

Byggeindustri: Vinduespaneler, toiletsæder, batterikasser.

Acrylnitril-butadien-styren-copolymer (ABS)



Variationsmulighederne for sammensætning af ABS (det markerede område)

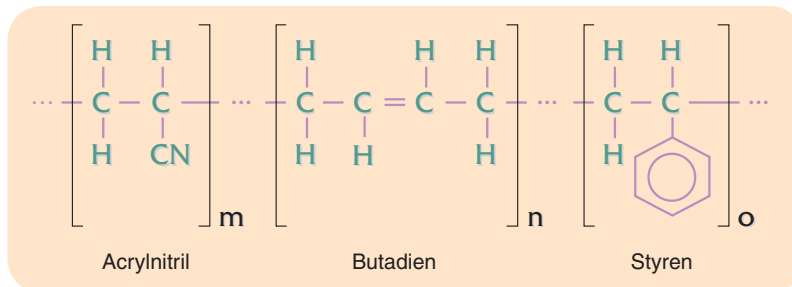
Acrylnitril-butadien-styren-copolymer (ABS) er en familie af amorfe termoplast. ABS er copolymerer sammensat af acrylnitril, butadien og styren, hvori styren udgør hovedparten. Når der indgår tre monomerer i en copolymer, kan man angive det ved at kalde den en *terpolymer*. ABS er altså en terpolymer.

Det karakteristiske for ABS set i forhold til andre termoplast er en meget gunstig balance mellem de forskellige egenskaber. I ABS forenes således stor slagsejhed med god stivhed og dimensionsstabilitet. Endvidere kombineres en fin overfladefinish med let forarbejdelighed og rimelig pris. Ulempen ved ABS er den ringe vejrbestandighed og den manglende transparens, som skyldes butadien-indholdet.

Ved at variere det forhold, hvori de tre monomerer indgår i ABS, og ved at tilføje forskellige additiver er det muligt at kontrollere egenskabsprofilen hos ABS inden for vide grænser.

Normalt indgår de enkelte monomerer i følgende forhold:

- Acrylnitril: 20-35 %
- Butadien: 5-30 %
- Styren: 40-60 %



De tre grundenheder i ABS er imidlertid ikke knyttet sammen til en homogen fase; materialet er opbygget som et heterogent system bestående af en hård og en blød fase. Den hårde fase udgøres af en copolymer af styren og acrylnitril (SAN). Den bløde fase er en dispers gummifase af polybutadien, som er podet med styren og acrylnitril.

Principiell kemisk sammensætning af ABS

Egenskaber

Glasovergangstemperaturen, T_g , er 100-120 °C. Den øvre anvendelsestemperatur for ABS svinger fra 80 til 105 °C afhængigt af typen.

ABS bevarer i betydeligt omfang sin slagsejhed i kulden.

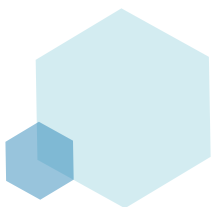
De almindelige typer af ABS dækker et ret bredt område, når det gælder kombinationen af styrke og sejhed.

Som amorf termoplast udviser ABS begrænset slidbestandighed, men den har gode svingningsdæmpende egenskaber.

ABS bliver ikke så let statisk opladet, og der findes specialtyper, som på det nærmeste må betegnes som antistatiske.

De elektriske egenskaber påvirkes ikke i særlig grad af fugtigheds- og temperaturændringer. Derfor anvendes ABS i udstrakt grad til sekundære isolationsformål.

ABS nedbrydes af sollys; materialet misfarves, og slagsejheden reduceres meget kraftigt. Der findes dog specialtyper af ABS, hvor misfarvningen i UV-lys er reduceret. Udendørs anvendelse kræver imidlertid anderledes effektiv beskyttelse, hvis slagsejheden skal bevares. Bedste effekt fås ved indfarvning med kønrøg.



ABS kan let antændes og brænder stærkt sodende.

ABS tåler en række syrer, baser, olier og fedtstoffer, under forudsætning af at niveauet af indre spændinger er tilstrækkeligt lavt.

Der er adskillige opløsningsmidler, som kan opløse ABS, fx methylenchlorid og methylethylketon.

Erstattes acrylnitril med methylmethacrylat, fås MBS. Med denne kombination er det muligt at tilpasse brydningsindeks på en sådan måde, at materialet i modsætning til ABS bliver transparent.

ABS indgår i stadigt stigende omfang i polymerlegeringer. Vellykkede kombinationer er således ABS blandet med PC, PA, PVC, PBT og PSU.

Forarbejdningsmetoder

Sprøjtstøbning, ekstrudering, blæsestøbning og termoformning er meget anvendte forarbejdningsmetoder.

I pladeform er ABS et af de mest anvendte materialer til termoformning.

Anvendelseseksempler

ABS anvendes især til emner, hvortil der stilles store krav til smidighed, slagsejhed og overfladefinish.

Automobilsektoren: Kølgeritre, konsoller m.v.

Husholdningsudstyr: Tilbehør til køle- og fryseskabe, kabinetter til husholdningsmaskiner.

Kommunikationssektoren: Kabinetter til kontormaskiner, tv- og radio-kabinetter, højttalere, telefoner og computerudstyr.

Andre anvendelser: Legetøj, husholdningsartikler, kufferter.

Eksempler på handelsnavne på ABS

Cycolac (Borg-Warner), Novodur (Bayer), Terluran (BASF), Kralastic (Uniroyal), Lustran (Bayer), Ronfalin (BASF), Sternite (Sterling Moulding), Ugikral (Borg Warner), Sinkral (EniChem).

Eksempler på handelsnavne på ASA

Geloy (General Electric), Luran S (BASF).

Andre styrenbaserede terpolymerer

Acrylnitril-styren-acrylat-copolymer (ASA)

I terpolymeren ASA, som er sammensat af acrylester, styren og acrylnitril, er det elastomerkomponenten i form af en acrylester, der først og fremmest giver materialet dets afvigende egenskaber i forhold til egenskaberne af ABS, som det ellers ligner i opbygning og struktur.

ASA er en amorf termoplast med $T_g \approx 100$ °C.

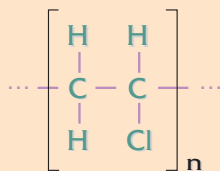
Det, der i særlig grad karakteriserer ASA i forhold til ABS, er materialets væsentligt større udendørs bestandighed kombineret med en langt ringere tendens til gulning.

Anvendelseseksempler

ASA anvendes fortrinsvis til produkter, hvoraf der kræves slagsejhed, og som skal anvendes til udendørs brug, såsom havemøbler, telefon- og målerkapper, beklædning til campingvogne m.v.



Kemisk formel for PVC



Polyvinylchlorid (PVC)

Stiv PVC er karakteristisk ved sin styrke og fremragende kemikaliebestandighed. PVC er en amorf og derfor transparent termoplast. Homopolymeren baseres på vinylchlorid som monomer. Imidlertid forekommer også en lang række copolymerisater med andre monomerer fx vinylacetat, ethylen og propylen.

Der er tre forskellige teknologier forbundet med PVC: stiv PVC, blødgjort PVC og PVC-plastisol.

PVC har ringe varmebestandighed. Derfor vil PVC altid være tilsat varmestabiliserende additiver. I de fleste tilfælde er andre additiver også tilsat for at lette forarbejdningen. Man taler da om PVC-komponent. Ofte blandes komponenten af den PVC-forarbejdende virksomhed selv.

Stiv PVC

Egenskaber

Der er en konstant konflikt imellem kravet til et færdigt PVC-emnes fysiske og mekaniske egenskaber og kravet til forarbejdning. For eksempel er en PVC-copolymer lettere at forarbejde end homopolymeren, mens homopolymeren har bedre mekaniske egenskaber og er mere varmebestandig.

PVC's mekaniske egenskaber bestemmes i hovedsagen af molekylmassen. Jo højere molekylmassen er, desto bedre er de mekaniske egenskaber: men jo vanskeligere er komponenten at forarbejde.

Ligesom ved polyolefinerne bestemmes middelmolekylmassen af PVC ved viskositetsbestemmelse. Ved PVC benyttes man sig imidlertid af polymerens opløselighed. *K-værdien* betegner viskositeten af en opløsning af 0,5 g PVC i 100 ml cyclohexanon ved 25 °C. Der er således ligefrem proportionalitet mellem *K-værdien* og molekylmassen. Ved bestemte forarbejdningsprocesser er bestemte *K-værdiområder* at foretrække.

Handelskvaliteter af PVC har glasovergangstemperatur omkring 80 °C. Ved højere temperatur er PVC blød og bøjelig. Ved iblanding af additiver fås de bedste resultater, når det foregår ved temperatur over T_g .

Som følge af de store muligheder for at variere sammensætningen af PVC-komponenter er spektret af egenskabsvariationer ligeledes meget bredt.

Udvidelseskoefficienten er typisk ca. $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, hvilket er væsentligt ved udendørs anvendelse.

Højeste anvendelsestemperatur er typisk 50-70 °C og afhænger i øvrigt af varme- og UV-stabiliserende additiver.

Stiv PVC er selvslukkende på grund af chlorindholdet.

Kærvelagsejheden af ren PVC er 20 J/m, men ved modificering kan den hæves til 1.200 J/m.

PVC er stærk, stiv, hård og hornagtig. De mekaniske egenskaber varierer med molekylmassen. PVC bliver sprød ved frostgrader. Særlige kvaliteter kan dog tåle lidt lavere temperaturer.

De optiske egenskaber af PVC er fremragende; materialet kan fremstilles i udgaver fra funklende klar til halvgennemskinneligt, og det kan indfarves efter ønske.

PVC har fremragende bestandighed over for syrer og baser og en række andre kemikalier, men angribes af nogle opløsningsmidler.

PVC er ikke vejrbestandig, men bestandigheden kan forbedres ved tilsætning af additiver.

Med en massefylde på 1.400 kg/m³ er PVC den tungeste af de almindelige termoplast.

Forarbejdningsmetoder

Stiv PVC forarbejdes almindeligvis ved sprøjtstøbning, ekstrudering, termoformning, flaskeblæsning og celleplastmetoder, mens presning og direkte støbning er vanskeligere at gennemføre.

Anvendelseseksempler

Omkring en tredjedel af al stiv PVC anvendes til rør og fittings - til den kemiske industri, til koldtvandsledninger (chloreret PVC også til varmtvandsledninger), til drænrør og til afløbssystemer.

Facadebeklædning, tagrender, nedløbsrør og vinduer udgør de store anvendelser i byggeriet.

Sprøjtstøbte dele finder stigende anvendelse i takt med udviklingen af forbedrede komponenter; tv-bagsider, tv-kabinetter, dele til kontormaskiner og apparater er eksempler.

Ved blæsestøbning fremstilles flasker og dunke til en lang række produkter. Der findes kvaliteter, som er godkendt til at komme i kontakt med fødevarer; øl, vin og spiritus forhandles fx i PVC-flasker.

Som celleplast anvendes stiv PVC til termisk isolering og som kerne-materiale i sandwichkonstruktioner.

Blødgjort PVC

Blødgjort PVC - også kaldet plastificeret PVC - udgør en meget stor variation af komponenter med et bredt spektrum af egenskaber. Blødgjort PVC er let at forarbejde ved næsten alle de sædvanlige metoder til termoplast. PVC komponenteres med blødgøringsmidler, stabilisatorer, fyldstoffer og andre additiver afhængigt af de ønskede egenskaber og den anvendte forarbejdningsproces.

Copolymerisater med fx vinylacetat og propylen anvendes også i blødgjort tilstand.

Indholdet af blødgøringsmiddel kan være så højt som 50 %, hvilket indikerer de store variationsmuligheder for især mekaniske egenskaber. Det mest anvendte blødgøringsmiddel er di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP). Dette stof kan også benævnes dioctylphthalat og betegnes ofte med forkortelsen DOP. Dette blødgøringsmiddel er imidlertid - ligesom andre blødgørende phthalater - mistænkt for at være kræftfremkaldende og for at virke reducerende på mænds sæd kvalitet, og det er derfor stærkt på retur til fordel for især polymere blødgøringsmidler.

Blødgjort PVC anvendes i øvrigt med stort udbytte i blandinger med andre polymerer fx SAN, ABS, syntetisk gummi, acrylater og endog med hærdeplast.

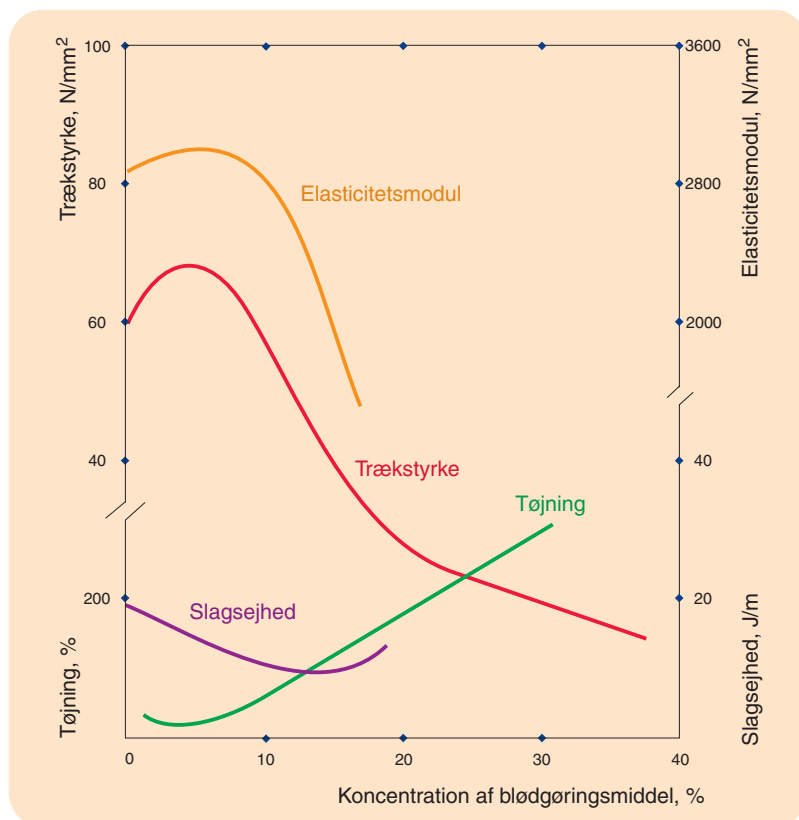
Ved iblanding af additiver fås en række egenskaber, som ikke kan opnås på anden måde. Omkring 60 % af forbruget af alle plastadditiver anvendes til blødgjort PVC.

Egenskaber

Egenskaberne af blødgjort PVC afhænger først og fremmest af arten og mængden af blødgøringsmidler og andre additiver, men også af polymerens molekylmasse. Kvaliteter med lav molekylmasse er bedst til sprøjtstøbning, mens de med større molekylmasse er bedst til ekstrudering.

Almindeligvis tilstræbes den størst mulige molekylmasse, der uden for store vanskeligheder kan forarbejdes.

Afhængigt af tilsætning af additiver og fyldstoffer kan massefylden variere mellem 1.180 kg/m³ for en klar komponent og 1.700 kg/m³ for komponenter med højt fyldstoffindhold.



Mekaniske egenskaber af PVC, blødgjort med varierende koncentrationer af di(2-ethylhexyl)-phthalat

Glasovergangstemperaturen af blødgjort PVC falder lineært med indholdet af blødgøringsmiddel.

Ligesom stiv PVC har blødgjort PVC ringe varmebestandighed. Der anføres en højeste anvendelsestemperatur på 50-60 °C. Kuldebestandigheden er ligeledes ringe, men kan dog forbedres ved stabilisering.

De mekaniske egenskaber afhænger som nævnt stærkt af indholdet af blødgøringsmiddel, hvilket fremgår af figuren til venstre.

Glansen af blødgjort PVC kan varieres fra som skinnende laklæder til meget dunkelt mat. Kompounder varierer i transparens fra klar over halvgennemskinnelig til ugenomsigtig. Alle farver kan indarbejdes.

Blødgjort PVC er kendt for den ekstraordinært gode kemikaliebestandighed. Materialet angribes ikke af de fleste fortyndede syrer

og baser og mange koncentrerede syrer samt de fleste andre kemikalier, men opløses dog af ketoner, visse aromatiske forbindelser og chlorerede hydrocarboner. Desuden vil en række opløsningsmidler kunne udvaske blødgøringsmidlet. Dette fænomen, som kaldes *migrering*, har meget stor betydning, især hvor blødgjort PVC er i kontakt med fødevarer.

Eksempler på handelsnavne på PVC

Geon (BF Goodrich), Vinoflex (BASF), Beetle og Vybak (BIP), Vestolit (Degussa-Hüls), Dacovin (Diamond Shamrock), FPC (Firestone), Rucoblend og Rucodur (Hooker), Sicron (Montedison), Nissan Vinyl (Nissan), Le Vinylchlore (Saplast), Hostalit (Hoechst), Trosiplast (Dynamit Nobel), Breon (BP), Carina (Shell), Welvic (ICI), Lacqvyl (ATO), Lucolene (Rhône Poulenc), Vipla, Viplast og Viplavil (EVC), Ultryl (Phillips), Norvinyl (Hydro), Kohinor (Pantasote), Nipeon (Nippon), Vinika (Mitsubishi), Vinychlon (Mitsui).

Forarbejdningsmetoder

Blødgjort PVC kan forarbejdes ved flere metoder end nogen anden plast. Foruden de sædvanlige metoder til forarbejdning af termoplast er især kalandring af betydning til fremstilling af folier.

Anvendelseseksempler

Byggesektoren: Tætningslister, membraner i svømmebassiner, plastbelægning på metal, gulvbelægning, polstermateriale, vægbeklædning.

Beklædning: Blesnipper og -bukser, regntøj, fodtøj.

Elektrisk industri: Lednings- og kabelisolering, fittings.

Kontor og hjem: Apparater, haveslanger, badeforhæng, duge.

Landbrug: Slanger.

Emballage: Fødevarerfolie, krympfolie, kapselpakninger.

Fritidssektoren: Bolde, dukker, modeller, oppustelige badedyr, svømmefinner, legetøj.

Transport: Måtter, indtræk, sædeovertræk, stødpuder, luftfilterpakninger til biler.

PVC-plastisol

En PVC-plastisol er en opløsning af en PVC-komponent i en væske, som ikke opløser PVC'en ved stuetemperatur, men først ved en højere temperatur, hvorved der dannes en homogen blanding.

Polymerens kornstørrelse er 0,5-2,0 µm. Den kan være homo- eller copolymer.

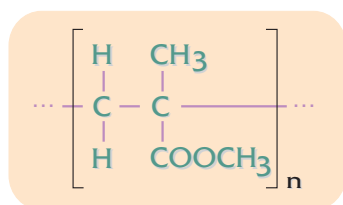
PVC-plastisol anvendes som belægning til alle slags formål.

Anvendelseseksempler

Som bærer af polstermaterialer, kalecher, beklædningstekstiler, vægbeklædning, skooverdele, støvler, gulvbelægning, tæppebagsider, papirbelægning, valsebelægning.

Acrylplast

Der findes mange acrylpolymerer: acrylnitril, acrylater, methacrylater og en skare af copolymerer. De repræsenterer en bred vifte af egenskaber. En af de vigtigste, umodificerede acrylpolymerer er polymethylmethacrylat med forkortelsen PMMA. Til daglig benævnes PMMA ofte blot acrylplast, hvis det af sammenhængen er indlysende, at der ikke kan være tale om nogen af de andre acrylpolymerer.



Kemisk formel for PMMA

Egenskaber

PMMA er en amorf termoplast, som ved stuetemperatur er hård og stiv.

PMMA er et polært materiale.

Glasovergangstemperaturen, T_g , for PMMA ligger i området 90-105 °C.

Højeste anvendelsestemperatur for PMMA svinger mellem 65 og 105 °C.

Kogende vand vil nedbryde de fleste acrylplastkvaliteter, men der findes varmebestandige typer, som kan tåle kogende vand.

Slagsejheden af PMMA falder ved lave temperaturer; men ned til omkring -40 °C bevares den i tilstrækkelig grad til de fleste anvendelser.

Acrylplast er langsomt brændende materialer med en selvantændelsestemperatur på omkring 454 °C. Brændhæmmede kvaliteter forekommer.

Som de fleste plast er PMMA en god termisk isolator, hvilket sammen med den enestående transparens gør materialet velegnet til vinduesruder. Den termiske ledningsevne er mindre end hos glas.

PMMA absorberer nogen fugt, derfor afhænger de fysiske, mekaniske og elektriske egenskaber af fugtigheden foruden af temperaturen.

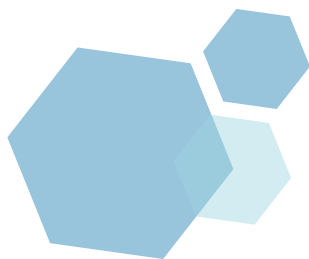
Ved temperaturer under T_g er umodificeret PMMA hård og stiv og derfor kærvfølsom. Slagsejheden er moderat og stiger med temperaturen. PMMA er sejere end umodificeret polystyren, men ikke så sej som ABS. PMMA har meget større slagsejhed end glas.

PMMA anvendes ofte, hvor der kræves fremragende optiske egenskaber. PMMA er hårdere end de fleste termoplast, men mindre ridsefast end glas. Ridsefastheden kan dog forbedres med særlige overfladebelægninger.

Trækbrudstyrken, trykstyrken og bøjemodulen er højere end hos polycarbonat og mere end dobbelt så høje som hos PEHD.

92 % af dagslyset transmitteres gennem PMMA, hvilket er mere end hos glas. PMMA har fremragende lysledningsegenskaber; stænger, rør og fibre af PMMA kan transmittere lys om hjørner og ind i utilgængelige områder.

Ren PMMA absorberer næsten intet UV-lys, hvilket forklarer den store lysstabilitet. PMMA er den eneste af de almindelige termoplast, der ikke



nedbrydes af sollys. Da den desuden har udmærket kemikaliebestandighed, resulterer det i enestående udendørs bestandighed. Man kender eksempler på klare acrylplastprodukter, der efter 20 års udendørs eksponering overhovedet ikke er blevet påvirket. I den forbindelse er det vigtigt at bemærke, at tilsætning af farvepigmenter, blødgøringsmidler eller andre additiver kan reducere vejrbestandigheden.

PMMA har god bestandighed over for vand, baser, uorganiske saltopløsninger, uorganiske syrer, de fleste fortyndede syrer, alifatiske hydrocarboner, de fleste husholdningsrengøringsmidler, fedtstoffer og olier. Derimod angribes materialet af chlorerede og aromatiske hydrocarboner, visse fortyndede syrer, koncentreret svovlsyre, estere og ketoner.

Spændingsrevnedannelse forekommer ved kontakt med opløsningsmidler og andre organiske kemikalier. Vedvarende belastning bør ikke overstige 10 MPa, mens større belastninger kan modstås i kortere tid.

Acrylplastene har lav elektrisk ledningsevne. Som følge af polariteten er de imidlertid ikke så gode elektriske isolatorer som polyethylen.

Forarbejdningsmetoder

Acrylplast egner sig fortrinligt til forarbejdning ved de almindelige metoder til termoplast: sprøjtstøbning, ekstrudering, termoformning, trykstøbning, direkte støbning og mekanisk bearbejdning. Derimod kan rotationsstøbning kun udføres under særlige omstændigheder.

Anvendelseksemples

Den største anvendelse af acrylplast er inden for områder, hvor man udnytter kombinationen af den gode vejrbestandighed og de fine, optiske egenskaber.

Byggesektoren: Ovenlys, lyspaneler, forsatsruder, lamper til indendørs og udendørs brug.

Sanitetssektoren: Vaskekummer, badekar, brusekabiner.

Autosektoren: Blinklys, lygteglas, knapper til afvisere og horn.

Elektroteknik: Styrepaneler, trafiklys.

Optik: Brillleglas, linser, prizmer, lysledere.

Den medicinske sektor: Diagnostiseringsudstyr.

Eksempler på handelsnavne på acrylplast

Lucryl (BASF), Orogas (Rohm & Haas), Perspex og Diakon (ICI), Plexiglas (Röhm), Degalan (Degussa), Lucite (DuPont), Bonotex (Bofors), Resarit (Resart-IHM).

Polyamider (PA)

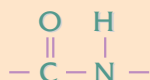
Betegnelsen polyamid dækker over en hel gruppe af termoplast, der alle er karakteriseret ved at indeholde et større eller mindre antal amidgrupper.

De fleste polyamider er delkrystallinske termoplast.

Et karakteristisk træk ved polyamiderne er deres store bestandighed over for brændstoffer, olier og fedtstoffer. Polyamiderne besidder desuden stor evne til at modstå udmattelse og gentagende slagpåvirkning. Tendensen til krybning er ringe. De er slidbestandige med lav friktion og har fremragende barriereegenskaber.

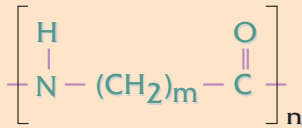
Alle polyamiderne optager imidlertid nogen fugt, hvorfor deres egenskaber bedst bestemmes, efter at de har antaget ligevægt med hensyn til fugtoptagelse under de betingelser, hvorved de skal anvendes. Desuden skal de konditioneres forud for ibrugtagning.

Man skelner de enkelte polyamider fra hinanden ved hjælp af en talkode, der angiver det antal carbonatomer, der optræder mellem to på hinanden følgende nitrogenatomer i molekylkæden. Hvis de enkelte segmenter er identiske, anvendes et enkelt tal fx PA6. Hvis de enkelte segmenter er forskellige, anvendes et talsæt, fx PA6.6. Til daglig udelades punktet

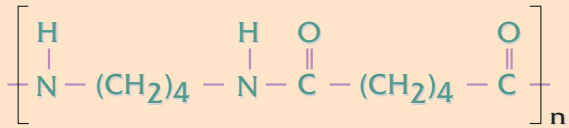


Kemisk struktur af en amidgruppe

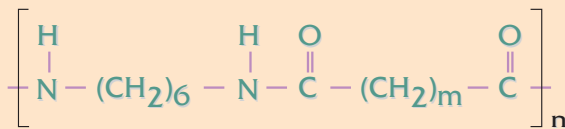
mellem de to tal; PA66 udtales altså polyamid seks-seks, ikke polyamid seksogtres!



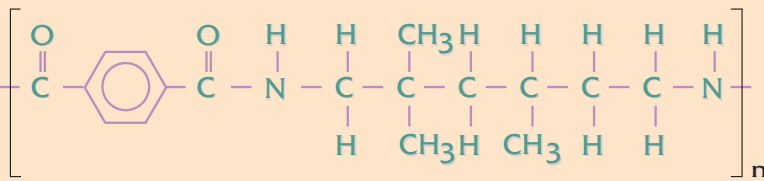
Kemisk sammensætning af PA6, PA11 og PA12, hvor m er henholdsvis 5, 10 og 11



Kemisk sammensætning af PA4.6



Kemisk sammensætning af PA6.6, PA6.9, PA6.10 og PA6.12, hvor m er henholdsvis 4, 7, 8 og 10



Kemisk sammensætning af amorf PA

Polyamidernes krystallinske smeltepunkter (°C)

PA6	225
PA6.6	265
PA6.9	205
PA6.10	225
PA11	190
PA12	180

Egenskaber

Det termiske anvendelsesområde for polyamiderne ligger mellem -40°C og $80-100^\circ\text{C}$. Der findes særligt varmestabiliserede typer, der egner sig til det øvre temperaturområde. Ustabiliserede kvaliteter vil misfarves ved forhøjet temperatur under samtidig reduktion af de mekaniske egenskaber.

Glasovergangstemperaturen for amorf PA er ca. 150°C .

Polyamiderne er stærke og relativt stive. Den gode sejhed bevares selv ved lave temperaturer. Polyamiderne har derfor stor dæmpningsevne. Ved langvarige mekaniske påvirkninger

udviser polyamiderne ikke tegn på udmattelse, hverken når påvirkningerne er af statisk eller dynamisk karakter.

PA6 og PA6.6 repræsenterer de hårdeste og stiveste typer.

PA'erne har bemærkelsesværdigt stor slidstyrke.

Selv om PA's elektriske isolationsegenskaber på ingen måde kan stå mål med dem, som kendes hos PE og PVC, er de tilstrækkelige til, at PA'erne sagtens kan anvendes inden for det mest almindelige frekvens- og spændingsområde (50 Hz, 230 V). De elektriske egenskaber er imidlertid stærkt afhængige af fugtindholdet.

Polyamiderne er for det meste ugenomsigtige, opalhvide eller svagt gullige. De amorfe typer er dog transparente og farveløse.

Udsættes polyamider i længere tid for UV-lys, vil de nedbrydes med misfarvning og tiltagende sprødhed til følge. De kan dog stabiliseres, men effektivt kun med kønrøg.

Polyamider er ret svært antændelige. Brandbarheden kan imidlertid yderligere nedsættes ved hjælp af additiver.

Alle polyamiderne optager fugt, dog ikke i samme grad. Derved formindskes styrke og stivhed, samtidig med at slagsejheden forøges.

PA'erne har udmærket bestandighed mod brændstoffer, der er baseret på hydrocarboner, og mod smøremidler og mange forskellige opløsningsmidler. Derimod angribes de af mange syrer, stærke baser og oxidationsmidler. Stærkt koncentrerede phenolopløsninger virker direkte opløsende. Visse koncentrerede saltopløsninger, navnlig zinkchlorid, virker spændingsrevnedannende.

De mekaniske egenskaber kan modificeres ved fiberforstærkning og/eller ved tilsætning af mineralske fyldstoffer samt ved blødgøring. Polyamiderne kan i øvrigt blandes indbyrdes og med andre termoplast.

Forarbejdningsmetoder

Samtlige polyamider egner sig til forarbejdning ved sprøjtstøbning, ekstrudering og blæsestøbning, men materialerne skal fortørres.

PA6 kan støbes direkte ud fra monomeren, ϵ -caprolactam, idet polymerisationen foregår i formværktøjet. Denne metode egner sig særligt til fremstilling af store, spændingsfrie emner i små serier.

Anvendelseksemples

I teknisk henseende er de vigtigste polyamidtyper PA6 og PA6.6.

Maskinindustrien: Glidelejer, tandhjul, koblinger og tilsvarende maskinelementer, hvortil der stilles store krav til styrke- og slidegenskaber.

Elektroteknik: Spoler, kapper til elektrisk udstyr, kabelkoblinger, blitzudstyr.

Autosektoren: Blæserhjul, oliefiltre, karburatordele, brændstofbeholdere, svømmere til benzintanke, olie- og benzinslanger.

Møbelsektoren: Dørbeslag, dørklinker, møbelhængsler, dyvler, overfladebehandling af havemøbler.

Emballagesektoren: Flasker, folier, også laminatfolier til gastætte emballager.

Husholdningsartikler: Køkkenudstyr, køkkenmaskiner, støvsugerkapper.

Eksempler på handelsnavne på PA

PA6: Akulon (DSM), Durethan BK (Bayer), Maranyl F (ICI), Ultramid B (BASF), Orgamide (ATO), Orgasol (Arkema).

PA11: Rilsan B (Arkema), Rilsan Fine Powder (Arkema).

PA12: Rilsan A (Arkema), Grilamid (Emser-Werke), Vestamid (Degussa-Hüls).

PA4.6: Stanyl (DSM).

PA6.6: Akulon (DSM), Maranyl A (ICI), Ultramid A (BASF), Zytel (DuPont).

PA6.9: Vydine (Monsanto).

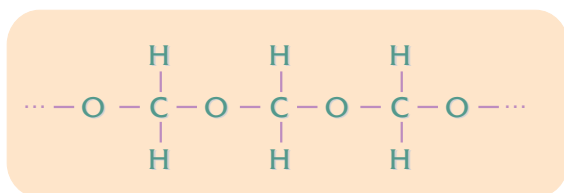
PA6.10: Ultramid S (BASF), BZytel (DuPont).

PA6.12: Orgasol (Arkema)

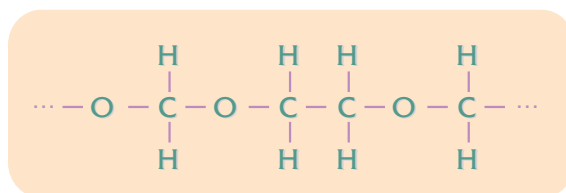
PA, amorf: Trogamid T (Dynamit Nobel).

Polyoxymethylen (POM)

POM er en højkrystallinsk termoplast, der tilhører gruppen af tekniske plast. I POM kombineres en række teknisk vigtige egenskaber som stivhed, hårdhed og styrke samt formbestandighed ved forhøjet temperatur. POM forekommer både som homopolymer og som copolymer. Polyoxymethylen kendes også som *acetalplast* og som *polyformaldehyd*, idet monomeren til denne polymer er formaldehyd.



Kemisk opbygning af POM-homopolymer



Kemisk opbygning af POM-copolymer

Egenskaber

Den maksimale anvendelsestemperatur ved kontinuerlig drift i luft er 100 °C for copolymeren og 85 °C for homopolymeren. Kortvarigt tåler materialerne noget højere temperatur, bestemt fortrinsvis af deres krystallinske smeltepunkter.

Glasovergangstemperatur og krystallinsk smeltetemperatur af POM

	Homopolymer	Copolymer
Glasovergangstemperatur, T_g	≈ -85 °C	≈ -75 °C
Krystallinsk smeltetemperatur, T_m	≈ 175 °C	≈ 165 °C

I vandigt miljø er den maksimale anvendelsestemperatur ved kontinuerlig drift 80 °C for copolymeren og noget lavere for homopolymeren.

POM udviser en god kombination af styrke, stivhed og hårdhed ved temperaturer op til 120 °C.

POM har udprægede fjedringsegenskaber af den type, som kendes fra en række metaller. I praksis udnyttes dette forhold ved snapsamlinger.

Materialet bevarer dets slagsejhed i betydeligt omfang ned til -40 °C.

POM tåler langvarig statisk og dynamisk belastning, uden at de mekaniske egenskaber reduceres i nævneværdig grad.

POM besidder stor slidstyrke. Friktionskoefficienten er lille, bestemt både i forhold til materialet selv og til andre typer af plast samt metaller og keramiske materialer.

POM har gode elektriske isolationsegenskaber, der knapt nok påvirkes af fugtighedsvariationer. Den dielektriske tabsfaktor er 0,0055 ved 1 MHz.

POM er ugenomsigtig med en hvidlig egenfarve.

Vejrbestandigheden er dårlig; sollys fremkalder sprødhed i materialet. Bedste beskyttelse mod UV-lys er indfarvning med kønrøg.

POM er altid tilsat additiver til forebyggelse af termisk-oxidativ nedbrydning.

POM har gode barriereegenskaber, idet permeabiliteten over for gasser er lav.

POM brænder let, og brandbarheden kan kun reduceres lidt ved til sætning af brandhæmmende additiver. Ved termisk nedbrydning af POM optræder en kraftigt stikkende lugt af formaldehyd.

I sammenligning med polyamiderne absorberer POM kun lidt vand.

POM tåler svage syrer og baser, men angribes af stærke syrer og baser. Stærkt oxiderende kemikalier som hypochlorit (chlorin-opløsninger) virker kraftigt nedbrydende på POM. Til gengæld er materialet meget modstandsdygtigt over for et bredt spektrum af såvel polære som upolære opløsningsmidler.

POM viser ingen tendens til spændingsrevnedannelse.

Modificerede kvaliteter med forskellige additiver og fiberforstærkning står til rådighed.

Forarbejdningsmetoder

Sprøjtstøbning er den mest anvendte forarbejdningsmetode, men også ekstrudering og blæsestøbning anvendes.

Anvendelseksemples

Maskin- og apparatsektoren: Tandhjul, glidelejer, remskiver, styreelementer, pumpelede, skruer og finmekaniske dele.

Elektroteknik: Isolatorer, spolehoveder og dele til telefoner, radioer og fjernsyn.

Møbelsektoren: Beslag, hængsler, dørgreb.

Emballagesektoren: Aerosoldåser, engangslightere.

Eksempler på handelsnavne på POM

Delrin (DuPont), Kematal (ICI), Hostaform (Hoechst), Ultraform (BASF).

Termoplastiske polyestere (PET, PBT, PEN, PBN)

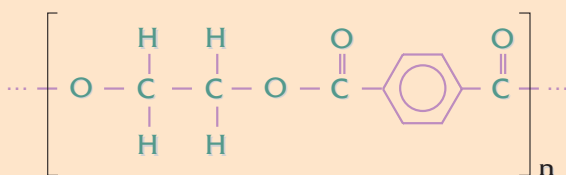
Polyethylenterephthalat og polybutylenterephthalat

Polyethylenterephthalat (PET) forekommer både som amorf og som del-krystallinsk termoplast, mens polybutylenterephthalat (PBT) kun forekommer i delkrystallinsk tilstand. I amorf og upigmenteret tilstand er PET transparent og farveløs, mens materialet i delkrystallinsk tilstand er ugenomsigtigt og hvidt. PBT er altid ugenomsigtigt og hvidt.

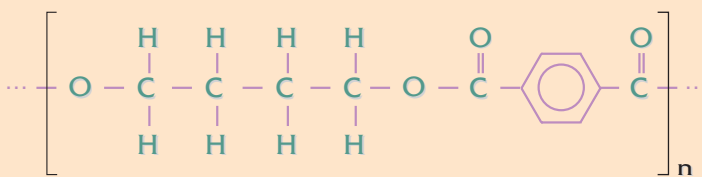
De to polyestertyper adskiller sig afgørende fra hinanden med hensyn til dannelse og vækst af krystallitter. I PET dannes således kun krystallitter, hvis materialet er tilsat særlige kimdannere, såkaldte *nukleater*. I modsætning til PET krystalliserer PBT spontant. PET på amorf form betegnes undertiden PET-A, og på krystallinsk form PET-C. En glykolmodificeret copolymer betegnes PET-G.

Hos de termoplastiske polyestere i delkrystallinsk tilstand kombineres stor styrke, stivhed og hårdhed. Desuden besidder materialerne gode slid- og friktionsegenskaber. På grund af ringe fugtoptagelse bibeholdes deres elektriske egenskaber over et bredt temperatur- og fugtighedsområde. De er derimod meget følsomme over for hydrolytisk nedbrydning ved højere temperatur end 50 °C.

Termoplastiske polyestere har gode barriereegenskaber over for luftarter som oxygen og carbon-dioxid. Dette forhold udnyttes navnlig i forbindelse med amorf PET.



Polyethylenterephthalats kemiske sammensætning



Polybutylenterephthalats kemiske sammensætning

Egenskaber

De forholdsvis lave glasovergangstemperaturer (PET: 70 °C og PBT: 50 °C) medfører, at også materialernes formbestandighedstemperaturer (HDT), bliver forholdsvis lave. Det kan der imidlertid rådes bod på ved fiberforstærkning.

De krystallinske smeltepunkter er 265 °C for PET og 225 °C for PBT.

Hvis der ikke er tale om mekanisk belastning eller vandigt miljø, kan de termoplastiske polyestere anvendes vedvarende ved temperatur op til 100 °C.

På grund af forholdsvis lille varmeudvidelseskoefficient, ringe vandoptagelse og beskedent støbesvind kan produkter, der er fremstillet i termoplastisk polyester, opnå relativt stor målfasthed.

Krystallinsk PET hører til de termoplast, der har bedst kombination af styrke, stivhed og hårdhed. I amorf tilstand forøges sejheden, men samtidig formindskes stivheden og hårdheden.

Til konstruktive formål skal PET være i krystallinsk og/eller i fiberforstærket tilstand for at kunne bevare stivheden ved forhøjet temperatur.



Generelt udviser PBT ringere styrke end PET i delkrystallinsk tilstand.

PET og PBT har fremragende slid- og friktionsegenskaber. Både PET og PBT har gode elektriske isolationsegenskaber. De dielektriske egenskaber er mere beskedne, idet den dielektriske tabsfaktor ved 1 MHz er 0,01-0,02. De elektriske egenskaber påvirkes ikke nævneværdigt af fugt.

Termoplastiske polyestere udviser stor krybe-strømssikkerhed og er bestandige mod elektrolytisk korrosion.

Termoplastiske polyestere absorberer UV-lys. PBT er en grad mere følsom over for fotolytisk nedbrydning end PET. Materialerne udviser dog middelhøjt bestandighed set i en fotokemisk sammenhæng.

PET og PBT er villigt brændende materialer, der imidlertid kan brandhæmmes ved hjælp af tilsætningsstoffer.

Termoplastiske polyestere optager kun lidt vand og angribes ikke af vand ved stuetemperatur. Ved temperatur højere end 50 °C sker der imidlertid hydrolytisk nedbrydning.

Termoplastiske polyestere udviser betydeligt tætthed over for vand-damp, luftarter og aromastoffer.

Materialerne udviser god bestandighed mod mineralolier og opløsningsmidler. På grund af deres tilbøjelighed til at hydrolyseres er bestandigheden over for syrer og baser begrænset.

Der er en gradforskelle i kemisk bestandighed af de to polyestertyper, idet PET gennemgående er mest modstandsdygtig over for organiske kemikalier, mens omvendt PBT er mest modstandsdygtig over for uorganiske kemikalier.

Hidtidige undersøgelser tyder på, at de termoplastiske polyestere kun i ringe grad viser tendens til spændingsrevnedannelse.

Foruden grundtyperne findes der en række glasfiberforstærkede typer med et rigt varieret glasinhold. Desuden forekommer der en række polymerlegeringer.

Forarbejdningsmetoder

På grund af følsomheden over for hydrolytisk nedbrydning er omhyggelig fortørring nødvendig, inden forarbejdning kan finde sted. Det maksimale tilladelige vandindhold er 0,02 %.

Sprøjtstøbning er den mest anvendte forarbejdningsmetode, men også ekstrudering kan anvendes. Det sker fx ved fremstilling af glasklare folier i PET.

Fremstilling af PET-flasker sker ved sprøjteblæsning.

Anvendelseseksempler

Fødevarersektoen: Glasklare flasker i PET til kulsyreholdige produkter, bakker til ovnretter, stegefolier.

Maskin- og apparatsektoen: Ruller, hjul, koblingsdele til kontormaskiner, håndtag og bundplader til husholdningsmaskiner, pumpelede.

Lyd- og videosektoen: Bærefolie til lyd- og videobånd.

Automobilindustrien: Mekaniske og elektriske komponenter til brug under motorhjelm.

Elektroindustrien: Kontakter og holdere af enhver art.

Eksempler på handelsnavne på PET og PBT

PET: Arnite (DSM), Crasting (Ciba-Geigy), Rynite (DuPont), Vestodur (Degussa-Hüls).

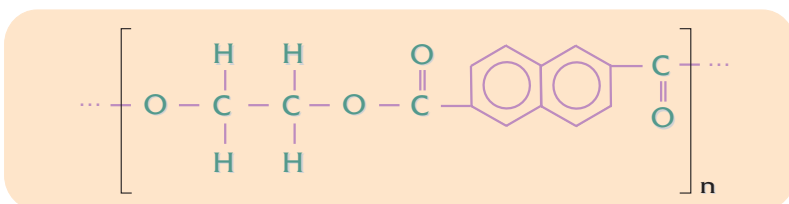
PBT: Arnite T (DSM), Pocan B (Bayer), Ultradur (BASF), Valox (General Electric), Dynalit (DN).

Polyethylenaphthalat

Polyethylenaphthalat (PEN) er en amorf og transparent termoplast. PEN kan være et alternativ til PET i folier og fibre. PEN er mere varmebestandig end PET. PEN er PET overlegent, når det gælder termiske, mekaniske, elektriske og kemiske egenskaber. Den dobbelte benzenring (naphthalen) giver meget stive kædemolekyler. PEN er godkendt til elektrisk langtidsanvendelse ved 155 °C, mens PET kun er godkendt til 105-130 °C afhængigt af krystalliniteten.

Trækstyrken hos PEN er omtrent den samme som hos PET, mens elasticitetsmodulen af PEN er højere – ca. 25 % ved stuetemperatur, men adskillige gange større i temperaturområdet 100-150 °C. PEN er også mere UV-beständig, har bedre barriereegenskaber og er mere modstandsdygtig over for hydrolyse i alkalier og meget varme, vandige miljøer. Imidlertid er PEN dyrere end PET.

Polyethylenaphthalats kemiske sammensætning

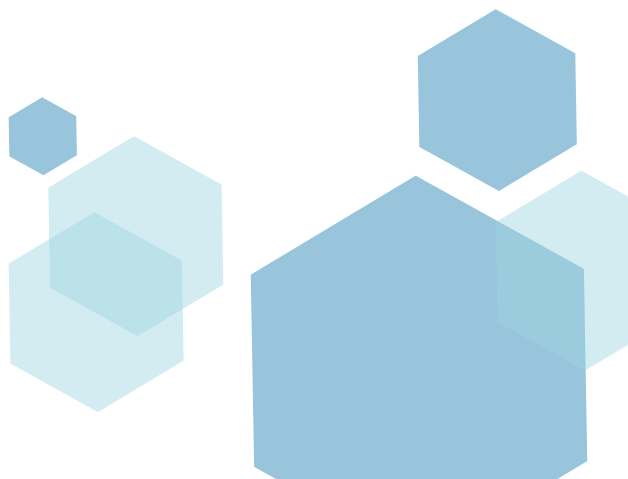


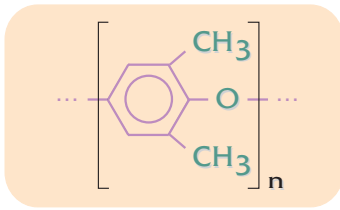
PEN anvendes til magnetisk tape og andre elektriske komponenter. I Danmark er PEN specielt kendt som genbrugsflasker til øl. Et eksempel er vist i kapitlet Generelt om plast. Magnetbånd kan gøres tyndere uden at blive så elastiske, at de giver mislyd. Tyndere bånd betyder mindre kassetter. Andre områder er under motorhjelmene i biler, trykte kredsløb, som udsættes for høje temperaturer under fremstillingen, småmotorer og kondensatorer.

Polybutylenaphthalat

Polybutylenaphthalat (PBN) er delkrystallinsk og har højere formbestandighedstemperatur end PBT. PBN er et højværdigt alternativ til PBT, men er dyrere. Det krystallinske smeltepunkt er 242 °C og glasovergangstemperaturen 82 °C. PBN forekommer i fiberforstærkede kvaliteter til sprøjttestøbning.

Af PEN og PBN med copolymerer fremstilles fibre med potentiel anvendelse i radialdæk, transportbånd og -bælter samt til forstærkning af rør til hydraulik og rør til transport af brændstoffer. På grund af lav diffusion af hydrocarboner er brændstoftanke en potentiel anvendelse.





Kemisk formel for PPO

Polyphenylenoxid (PPO)

Egenskaberne af polymeren polyphenylenoxid er sådan, at materialet aldrig anvendes alene, men kun legeret med slagfast polystyren. Materialet betegnes da modificeret polyphenylenoxid og får forkortelsen PPO/SB.

Polyphenylenoxid kan også betegnes polyphenylenether med forkortelsen PPE. Som følge heraf kan man også se forkortelsen PPE/SB.

Egenskaber

Den øvre, vedvarende anvendelsestemperatur er 90 °C. T_g er 100-140 °C.

Den lille lineære varmeudvidelseskoefficient på $6 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ er medvirkende årsag til materialets gode dimensionsstabilitet.

PPO/SB besidder en temmelig god kombination af styrke, stivhed og sejhed. Materialet har ringe tendens til krybning; men udsættes det for overbelastning, opstår der let mikrorevner.

Gode elektriske isolationsegenskaber bevares over et stort fugtigheds- og temperaturområde. Det samme gælder de dielektriske egenskaber, hvor den dielektriske tabsfaktors frekvensafhængighed samtidigt er meget lille helt frem til gigahertz-området. Tabsfaktoren er 0,0009 ved 1 MHz.

Modificeret polyphenylenoxid er ugenomsigtig med en gullig egenfarve, som har tendens til at forstærkes ved udendørs anvendelse.

Materialets brandbarhed kan variere stærkt, afhængigt af hvilken type der vælges, men de fleste typer udviser begrænset brandbarhed.

PPO/SB absorberer kun meget lidt vand: maksimalt 0,14 % ved stuetemperatur og 0,3 % ved 100 °C.

PPO/SB tåler direkte kontakt med kogende vand. Ved meget langvarig kontakt med varmt vand må temperaturen dog sænkes til 80-85 °C. Gen-tagende autoklavering ved 135 °C er mulig.

Modificeret polyphenylenoxid angribes kun minimalt af saltopløsninger, syrer og baser. Visse organiske kemikalier fx aromatiske og chlorerede hydrocarboner virker derimod direkte opløsende. Andre organiske kemikalier virker blødgørende eller revnedannende; alifatiske hydrocarboner, ketoner og estere er spændingsrevnedannende.

Der findes særlige typer, der er tilsat gummi for forøgelse af slagsejheden, mens andre typer er tilsat glas- eller carbonfibre for at forøge stivheden. Atter andre typer er tilsat forskellige former for fyldstoffer for at forbedre styrke og stivhed og samtidig formindske støbesvindet.

Specielle typer til fremstilling af integralskum giver mulighed for fremstilling af store, stive emner på forholdsvis beskedent forarbejdningsudstyr.

Forarbejdningsmetoder

Forarbejdningsmetoderne strækker sig fra sprøjtstøbning og ekstrudering til blæsestøbning og fremstilling af integralskum. Ekstruderede plader kan termoformes.

Anvendelseseksempler

Automobilindustrien: Instrumentpaneler, kølertitre.

Elektroindustrien: Kabelbakker, strømskinner, relæsokler, omskifttere.

Husholdningsapparat: Komponenter til vaske-, opvaske- og kaffemaskiner samt elektriske barbermaskiner, hårtørre og støvsugere.

Armaturindustrien: Ventiler, komponenter til pumper, vandhaner og brusere.

Radio- og fjernsynsindustrien: Kabinetter til film-, radio- og fjernsynsapparater.

Kontor- og computerindustrien: Kabinetter til kontor- og datamaskiner.

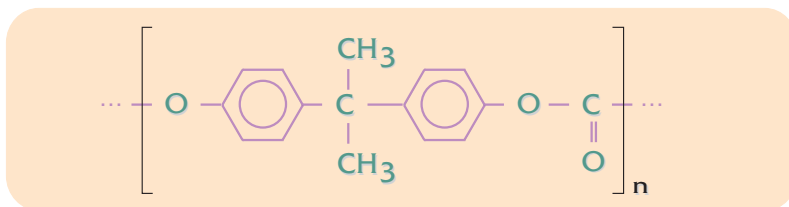
Eksempler på handelsnavne på PPO

Noryl (General Electric), Prevox (Borg-Warner), Xyron (Asahi-Dow).

Polycarbonat (PC)

Polycarbonat er en amorf termoplast, som er meget slagfast og nærmest må betragtes som brudsikker.

Kemisk opbygning af polycarbonat



Egenskaber

Polycarbonat tåler både kulde og varme. Materialet bliver således ikke sprødt i kulde eller blødt i varme inden for et relativt bredt temperaturinterval.

Glasovergangstemperaturen er 150 °C; formbestandighedstemperaturen (HDT) er 130 °C.

Den lineære varmeudvidelseskoefficient er relativt lille i forhold til hos andre termoplast, nemlig $6-7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

PC er et meget sejt, stærkt og relativt stift materiale. Ved slagpåvirkning er det næsten umuligt at fremkalde brud i materialet, hvilket gælder over et bredt temperaturinterval.

PC har ringe tendens til krybning selv ved forhøjet temperatur, men kan på dette punkt dog under ingen omstændigheder stå mål med de forskellige former for polysulfon.

PC har gode elektriske isolationsegenskaber; den specifikke modstand er større end $10^{16} \Omega\text{cm}$, og det dielektriske tab er af størrelsesordenen 0,001-0,01 afhængigt af frekvensen.

Lystransmissionen i polycarbonat i upigmenteret tilstand er 85-90 % afhængigt af godstykkelsen.

PC besidder god udendørs bestandighed, navnlig i UV-stabiliseret tilstand, men har tendens til at gulnes ved længere tids indvirkning af sollys.

Uden tilsætning af brandhæmmende additiver er brændbarheden af PC begrænset.

PC absorberer kun lidt vand, men hydrolyseres til gengæld let, hvad der afspejles i reduceret sejhed. Materialet tåler ikke gennem længere tid indvirkning af vand, der er varmere end 60 °C.

PC er lidet bestandig over for stærke syrer og baser og angribes ligeledes af aromatiske og chlorerede hydrocarboner samt af en række polære, organiske opløsningsmidler. Derimod er materialet bestandigt over for alifatiske hydrocarboner samt olier og fedtstoffer.

Tendensen til spændingsrevnedannelse er stor hos PC, navnlig i forbindelse med chlorerede hydrocarboner.

Egenskaberne kan modificeres ved iblanding af additiver og fyldstoffer og ved fiberforstærkning.

En meget ren og letflydende kvalitet er specielt udviklet til fremstilling af cd'er (compact discs).

PC indgår i polymerlegeringer sammen med fx ABS, termoplastiske polyestere og termoplastiske elastomerer.

Forarbejdningsmetoder

Forarbejdning i termoplastisk tilstand kan først ske efter omhyggelig for-tørring, idet fugtindholdet højst må være 0,02 %.

Eksempler på handelsnavne på PC

Lexan (General Electric),
Makrolon (Bayer),
Xantar (DSM),
Xantar C (DSM).

PC egner sig fortrinligt til sprøjtstøbning og ekstrudering. Ved termoformning af plader skal materialet ligeledes fortørres.

Andre processer er mulige, men udføres med nogen vanskelighed.

Anvendelseksemples

Maskin- og apparatsektoren: Afdækningsskærme, maskindele til skrive-, regne- og symaskiner, dele til hårtørrere og barbermaskiner, skueglas

Arkitektur: Vandaliseringssikre ruder, brystværn til broer og balkoner, lyspaneler, -tage og -kuper.

Sikkerhedsudstyr: Sikkerhedshjelme til arbejde og sport, sikkerhedsskærme til fjernsyn.

Elektronisk udstyr: Computerdele, dele til radio, fjernsyn, foto- og filmapparater.

Autosektoren: Blinkere, baglygter, luft- og kølergitre.

Lydsektoren: Cd'er fremstillet af specialtyper af polycarbonat.

Fluorplast (PTFE m.fl.)

Polytetrafluorethylen (PTFE)

PTFE er en højkrystallinsk termoplast med smeltepunkt 325 °C og massefylde ca. 2.150 kg/m³. PTFE er ugenomsigtig, og egenfarven er hvid.

Egenskaber

PTFE repræsenterer en ekstrem kombination af egenskaber blandt organiske polymerer. Hvad de enkelte egenskaber angår, vil andre plast være bedre, men kun i PTFE forekommer denne enestående kombination, som er så væsentlig ved mange kritiske anvendelser.

Den øvre temperaturgrænse er normalt 260 °C. Helt ned til lige over det absolutte nulpunkt (-273,15 °C) brydes PTFE med sejt brud - ikke sprødt. I visse tilfælde har PTFE tilfredsstillende været brugt som stempepakkning i længere tid ved 500 °C. Det er bemærkelsesværdigt, at nogen plast overhovedet har optrådt tilfredsstillende ved over 700 °C - det har PTFE.

PTFE har enestående kemikaliebestandighed, og vandabsorptionen er meget lille. Vejrbestandigheden er stor. Slagsejheden er høj, men trækstyrken, slidbestandigheden og modstanden mod krybning er ringe i sammenligning med andre konstruktionsplast. Ved iblanding af glasfibre, bronze, kul og grafit kan de mekaniske egenskaber imidlertid forbedres.

Dielektricitetskonstanten og den dielektriske tabsfaktor er lave og stabile over et meget stort temperatur- og frekvensinterval.

Brændbarheden er meget ringe; oxygenindekset er større end 95 %.

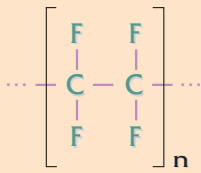
Forarbejdningsmetoder

PTFE kan *ikke* sprøjtstøbes eller forarbejdes ved andre af de almindelige metoder til termoplast; smelteviskositeten er for høj.

Forarbejdning sker ved presning af pulver og efterfølgende sintring ved høj temperatur ligesom ved metalpulver og keramiske materialer.

Dispersioner anvendes til belægning og imprægnering af porøse komponenter.

Ved blødgøring ved hjælp af fx nafta kan den fremkomne pasta ekstruderes under højt tryk ved fremstilling af tyndvæggede emner. Ved efterfølgende opvarmning fordampes hjælpestoffet.



Kemisk sammensætning af polytetrafluorethylen

Andre fluorplast

De øvrige fluorplast udmærker sig hovedsageligt ved deres lettere forarbejdelse; de kan alle forarbejdes termoplastisk.

Polychlorotrifluorethylen (PCTFE) er hårdere end PTFE, men mindre kemikaliebestandig. Materialet er halvgennemskinneligt til transparent. Det krystallinske smeltepunkt er 215 °C.

Tetrafluorethylen-hexafluorpropylen-copolymer (FEP) har egenskaber som PTFE, men kan forarbejdes termoplastisk ved 390 °C. Det krystallinske smeltepunkt er 290 °C.

Ethylen-chlorotrifluorethylen-copolymer (ECTFE) smelter ved 240 °C og har massefylden 1.680 kg/m³. Styrken, slidbestandigheden og modstanden mod krybning er markant bedre end hos PTFE, FEP og PFA. Kemikaliebestandigheden er ekstremt god, barriereegenskaberne ligeledes.

Perfluoralkoxypolymer (PFA) er ganske lig PTFE og FEP, dog er de mekaniske egenskaber noget bedre end hos FEP ved temperaturer over 150 °C; PFA kan anvendes op til 260 °C.

Ethylen-tetrafluorethylen-copolymer (ETFE) har massefylden 1.700 kg/m³ og et krystallinsk smeltepunkt på 270 °C. ETFE har egenskaber som PTFE, men kan forarbejdes termoplastisk. ETFE er den første fluorplast, som ikke blot kan fyldes, men også forstærkes med glasfibre.

Polyvinylidenfluorid (PVDF) har bedre mekanisk styrke end nogen af de andre fluorplast. Den kan forarbejdes termoplastisk ved temperaturer fra 300 °C. Den krystallinske smeltetemperatur er 170 °C, og massefylden er 1.780 kg/m³.

Polyvinylfluorid (PVF) er et højkrystallinsk, men glasklart materiale. PVF er kun kommercielt tilgængelig som folie. Materialet har fremragende vejrbestandighed og bevarer gode mekaniske egenskaber i temperaturområdet fra -70 til +110 °C. Slidstyrken af PVF er udmærket, og materialet kan lamineres sammen med krydsfiner, blødgjort PVC, fiberplader, glasfiberforstærket polyester og metalfolie.

Anvendelseseksempler for alle fluorplastene

Elektrisk isolation i fly, robotter, elektriske maskiner, pakninger, rør, filtre, selvsmørende lejer, belægning på gryder og pander, folie, overfladebelægning af kemisk apparatur, paktape, kabelbelægning.

Eksempler på handelsnavne på fluorplast

PTFE: Halon (Ausimont), Teflon (DuPont), Fluon og Tetraloy (ICI), Hostafion (Hoechst), Polyflon (Daikin), Algoflon (Montedison) FEP og PFA: Teflon (DuPont), Neoflon (Daikin)

PCTFE: Kel-F (3M), Daiflon (Daikin), Plaskon (Allied) Voltalef (Arkema)

ECTFE: Halar (Ausimont)

ETFE: Tefzel (DuPont), Halon ET (Ausimont), Neoflon (Daikin), Hostafion ET (Hoechst)

PVDF: Kynar (Arkema), Florafion (ATO), Solef (Solvay & Cie), Neoflon (Daikin), Dyflon (DN)

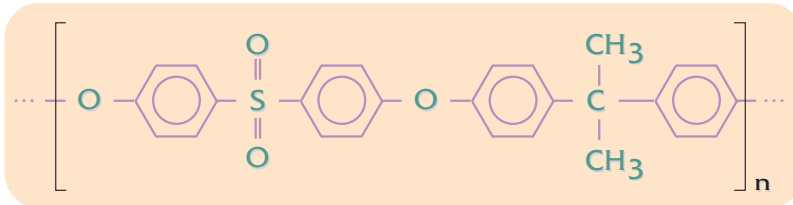
PVF: Tedlar (DuPont).



Svovlholdige plast

Polysulfon (PSU)

Termoplasten polysulfon er en transparent, varmebestandig, højtydende konstruktionsplast. Den er amorf. Brændbarheden er ringe, og røgudviklingen lille under en brand. Den har fine elektriske egenskaber, som bevares op til nær glasovergangstemperaturen, der er ca. 190 °C.



Polysulfons kemiske sammensætning

Egenskaber

Den højeste anvendelsestemperatur for PSU er 150-175 °C i mekanisk belastet tilstand. PSU er hydrolysebestandig, men selv en svag fugtabsorption bevirker en mærkbar blødgøring af materialet. Derfor er den højeste vedvarende anvendelsestemperatur i damp kun 140 °C. Den termiske ældning er meget beskednen. Efter to år ved 150 °C er trækstyrken og HDT uforandret.

PSU er et sejt materiale med en brudtøjning på over 50 % og en slagsejhed på omkring 900 kJ/m², men som mange andre termoplast er den kærvfølsom. Hvis kærvanvisere undgås ved den konstruktive udformning, bevares den høje slagsejhed ned til -100 °C. PSU udviser ringe tendens til krybning.

PSU er bestandig mod syrer, baser og saltopløsninger samt mod vaske-midler og mineralske olier selv ved forhøjet temperatur og moderat mekanisk belastning. I kontakt med polære, organiske opløsningsmidler som ketoner, chlorerede og aromatiske hydrocarboner vil PSU derimod kvædes eller opløses, eller der dannes spændingsrevner.

PSU er følsom over for UV-lys, men kan stabiliseres. Fx har PSU fyldt med kønrøg været tilfredsstillende anvendt som absorbere i solfangere.

Forarbejdningsmetoder

PSU forarbejdes let - på trods af den gode varmebestandighed - ved sprøjtstøbning, ekstrudering, blæsestøbning, trykstøbning og ved termoformning. Andre processer er mulige, men kræver særlige forholdsregler.

Anvendelseksemples

Steriliserbarheden gør PSU egnet til instrumenter og instrumentholdere i hospitalssektoren. PSU påvirker ikke fødevarer, hvorfor materialet finder udbredt anvendelse i fødevarereproduktionen fx til rørføringer, skraber, malkemaskinegribere, skåle til mikrobølgeovne, kaffemaskiner og fustager.

Ligeledes inden for den elektriske og elektroniske sektor anvendes PSU til mange slags komponenter. I kemisk procesindustri forekommer anvendelser som korrosionsbestandige rør - både transparente og glasfiberforstærkede - pumper, filterenheder og membraner.

Eksempler på handelsnavne på PSU

Udel og Mindel (Amoco).

Polyethersulfon (PES)

Polyethersulfon er en transparent, højtydende termoplast med glasovergangstemperatur 230 °C. Egenfarven er kraftigt gullig.

Egenskaber

Ved stuetemperatur er PES et sejt, stærkt og stift materiale, og disse egenskaber bevares ved kontinuerlig belastning op til omkring 180 °C i luft og i vand. Kortvarigt kan PES anvendes op til 205 °C. PES er meget dimensionsstabil og har fremragende krybemodstand.

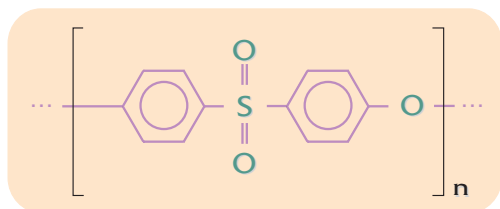
Udsat for slagpåvirkning ligner PES meget polyamid; begge materialer er seje, men kærvfølsomme.

De elektriske og mekaniske egenskaber er stort set uafhængige af temperaturen i området 0-180 °C.

PES har indbyggede selvslukkende egenskaber. Oxygenindekset er 38-42 %, og der kommer kun en meget svag røgudvikling fra det brændende materiale.

PES er bestandig over for de fleste uorganiske stoffer, olier, fedt, alifatiske hydrocarboner og benzin - både ved stuetemperatur og ved forhøjet temperatur. De fleste opløsningsmidler angriber ikke PES, dog opløses materialet af estere, ketoner, methylenchlorid og polære, aromatiske forbindelser.

Kemisk opbygning af polyethersulfon



Forarbejdningsmetoder

PES markedsføres i transparente og ugenomsigtige farver i sprøjttestøbe- og ekstruderingskvaliteter. På trods af varmemestabiliteten forarbejdes materialet let ved sprøjttestøbning, ekstrudering, blæsestøbning, trykstøbning og termoformning.

Anvendelseksemples

Både ufyldte og glasfiberfyldte kvaliteter anvendes til elektriske og elektroniske komponenter, der skal fungere ved høje temperaturer.

De mekaniske egenskaber udnyttes fx i radomer, pumpehuse, dele til hårtørrere, krøllejern og gitre til projektører.

Ved mange anvendelser i hospitalssektoren udnyttes materialets steriliserbarhed.

PES er egnet til en række komponenter i flyindustrien.

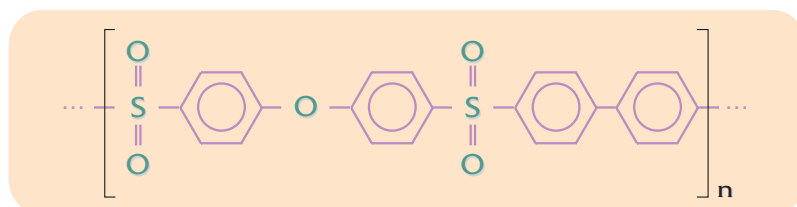
Glasfiberfyldte kvaliteter anvendes til vandmålere og pumper til supervarmt vand op til 150 °C.

Eksempler på handelsnavne på PES

Ultrason E (BASF).

Polyarylsulfon (PAS)

Polyarylsulfon er en amorf og transparent termoplast. Med kombinationen af gode egenskaber: stor varmebestandighed, transparens, god sejhed, enestående hydrolysebestandighed, modstand mod krybning og modstand mod spændingsrevnedannelse hører PAS til de højtydende konstruktionsplaster.

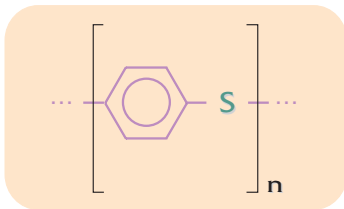


Polyarylsulfons kemiske opbygning



Eksempler på handelsnavne på PAS

PAS fremstilles kun af Amoco under navnet Radel.



Kemisk sammensætning af polyphenylsulfid

Egenskaber

Glasovergangstemperaturen af PAS er 220 °C, og blødgøringstemperaturen, bestemt som HDT, er 204 °C. Med en bøjemodul på 2.750 MPa, en trækbrudstyrke på 80 MPa og en høj trækslagsejhed tilbyder PAS en egenskabskombination til det krævende high-tech-marked. Den gode strækkelighed og sejhed bevares over et temperaturområde fra -100 til +200 °C.

De elektriske egenskaber er ligeledes næsten konstante over et stort temperaturinterval og ved frekvenser mellem 60 Hz og 10⁶ Hz.

Modstanden mod spændingsrevnedannelse er bedre end hos de fleste amorfe termoplast. Mest aggressive er estere, ketoner og hydrocarboner, mens alkoholer og aromater er uskadelige. PAS er hydrolysebestandig og modstår almindelige syrer og baser.

Brandbestandigheden er god uden brandhæmmende additiver. PAS er godkendt af FDA (Food and Drug Administration, USA) til at komme i kontakt med fødevarer.

Polyarylsulfon kan forstærkes med glasfibre, ligesom andre fyldstoffer som mineraler og glaskugler kan iblandes.

Forarbejdningsmetoder

I modsætning til de fleste andre højtemperaturbestandige termoplast forarbejdes polyarylsulfon udmærket ved konventionel sprøjtstøbning og ekstrudering. Dog skal materialet tørres forinden.

Termoformning og celleplastmetoderne er ligeledes velegnede forarbejdningsmetoder, mens trykstøbning kun udføres med besvær.

Anvendelseseksempler

Elektriske og elektroniske komponenter samt plader til trykte kredsløb, lyskontakter og lampehuse.

Kritiske anvendelser i transportindustrien.

Som erstatning for metaller og keramiske materialer i procesindustrien, dampautoklavering, højtemperatur-brændselsceller og motordele.

Polyphenylsulfid (PPS)

PPS er en delkrySTALLINSK termoplast med egenskaber, der opfylder kravene til et højtydende konstruktionsmateriale samtidig med en rimelig pris. PPS i ren form har en lav blødgøringstemperatur: HDT er 137 °C, men med glasfiberforstærkning eller mineralske fyldstoffer øges varmebestandigheden betydeligt. Med 40 % glasfibre er HDT 218 °C. Af denne grund anvendes PPS næsten altid i forstærket eller mineralfyldt tilstand.

PPS er meget hård og stiv; faktisk er PPS den hårdeste af samtlige termoplast.

Egenskaber

PPS kan anvendes kontinuerligt ved temperaturer op til 200 °C. Det krySTALLINSKE smeltepunkt er 285 °C, og det er et brandbestandigt materiale.

I glasfiberforstærket tilstand overstiger elasticitetsmodulen af visse handelskvaliteter 17 GPa. Der forekommer andre kvaliteter med trækstyrke så høj som 200 MPa. Brudtøjningen er kun 0,5-2,0 %, hvilket resulterer i en kærvtlagsejhed på 30-80 J/m efter Izod.

PPS er en af de mest kemikaliebestandige polymerer, der kendes. Den modstår alle gængse opløsningsmidler, svage syrer og stærke baser. Kun af stærke, oxiderende syrer, halogener og aminer angribes PPS langsomt.

Visse kvaliteter er godkendt til at komme i kontakt med fødevarer.

Materialet har - især i glasfiberforstærket tilstand - meget lille tendens til krybning, lav friktion og stor slidbestandighed. Støbesvindet er ligeledes lavt.

De elektriske isolationsegenskaber er særdeles gode også ved høj fugtighed og ved høj temperatur. Der findes specialkvaliteter til særlige anvendelser i forbindelse med højspænding og stærke strømme.

Forarbejdningsmetoder

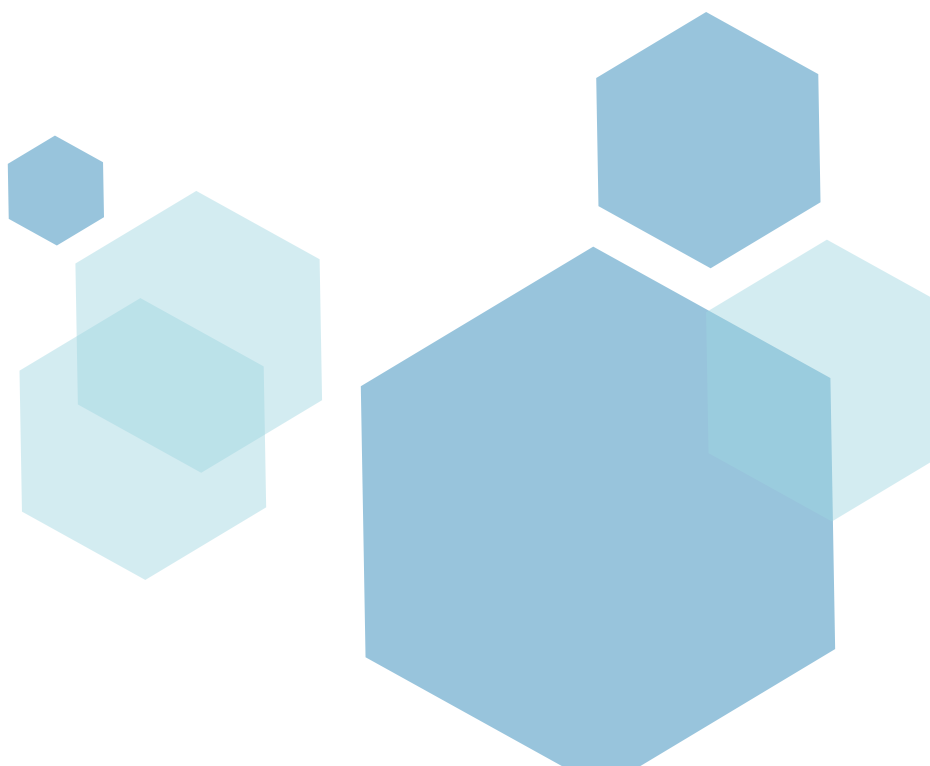
PPS egner sig fortrinligt til sprøjtstøbning; dog kræves høj temperatur, og materialet skal fortørres på grund af fyldstoffernes fugtabsorption.

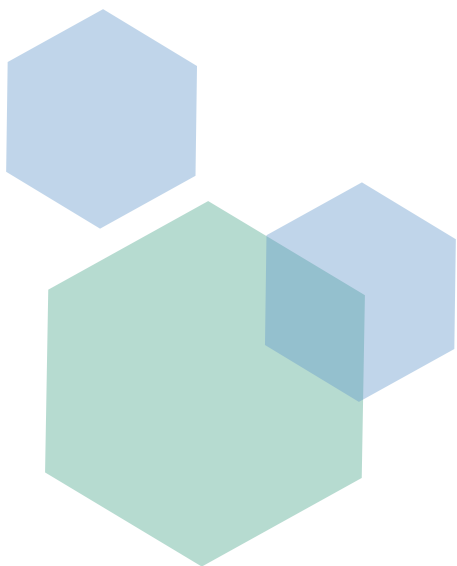
Anvendelseseksempler

Korrosionsbestandige pumpedele, haner, rør og pakninger. Elektriske kontakter, brændselsceller, bilkomponenter, der skal være kemikalieresistente ved høj temperatur, ventildele.

Eksempler på handelsnavne på PPS

Tedur (Bayer), Supec (General Electric), Fortron (Hoechst), Ryton (Phillips), RTP 1300 (Fiberite).





TERMO- PLASTISKE ELASTOMER (TPE)



Eksempler på anvendelse af termoplastisk elastomer

Eksempler på anvendelse af termoplastisk elastomer (Gummiwerke Kraiburg GmbH & Co.)



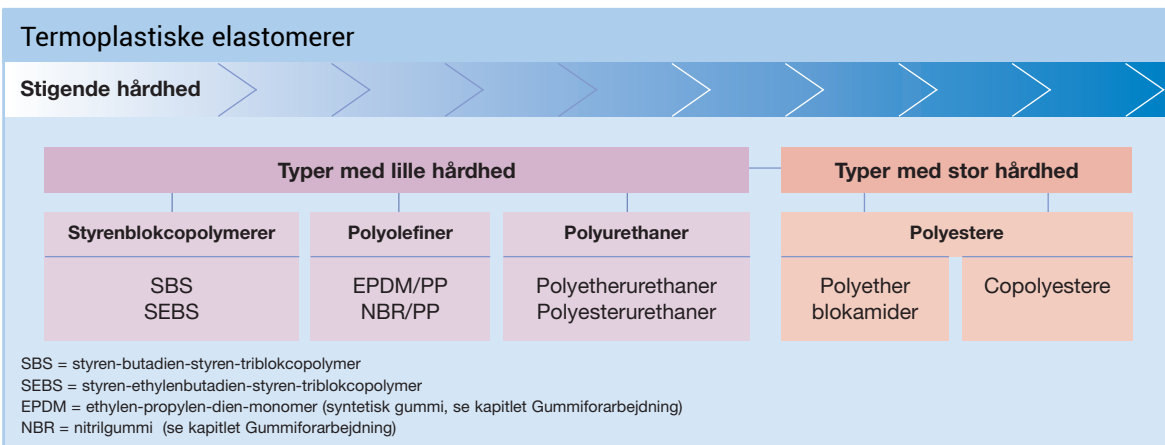
Termoplastiske elastomerer er en gruppe materialer, hvis anvendelsestekniske egenskaber på væsentlige områder er gummiagtige, mens de kan forarbejdes som almindelige termoplast. Gummi kan også betragtes som hærdende elastomerer, idet der ved vulkaniseringen opstår primære, kemiske bindinger mellem kædemolekylerne; men det tredimensionale netværk er betydeligt mere grovmasket end hos hærdeplastene.

TPE's fordele i sammenligning med vulkaniseret gummi er, at de i almindelighed ikke skal komponderes, at de er betydeligt nemmere at formgive med meget kortere procestider og lavere energiforbrug, at spild og affald kan recirkuleres, og at produkternes kvalitet kan kontrolleres bedre og mere økonomisk; desuden har de lavere massefylde.

Der er imidlertid også en række ulemper forbundet med TPE i forhold til gummi. De kræver en forarbejdningsteknologi, der er ny for gummi-fabrikanter; visse TPE typer kræver forørring forud for formgivning; der findes endnu kun et meget begrænset antal TPE typer med lav hårdhed; de smelter ved forhøjet temperatur, hvilket reducerer deres anvendelsesområder; desuden opløses TPE i opløsningsmidler, mens gummi blot kvælder.

Efter den kemiske sammensætning findes der fem grupper af termoplastiske elastomerer. Ordnet efter stigende pris og ydeevne er de:

- Styrenbaserede TPE
- Olefinbaserede TPE
- Urethanbaserede TPE
- Esterbaserede TPE
- Amidbaserede TPE



Egenskaber og anvendelse

Styrenbaserede TPE

Styrenbaserede TPE er blokcopolymerer af styren og en elastomer, sædvanligvis butadien-, butyl- eller ethylenpropylengummi. Karakteristisk for gruppen er god fleksibilitet i kulde, lave hårdheder, men begrænset kemikaliebestandighed og varmebestandighed ($\approx 65^{\circ}\text{C}$).

Styrenbaserede TPE udgør ca. 60 % af det totale TPE-forbrug.



Skematisk fremstilling af domænestrukturen i styren-butadien-styren-triblokcopolymer (SBS)

Molekylerne består af meget lange, fleksible mellemstykker af polybutadien (butadiengummi – BR) med ganske korte endestykker af stift polystyren. Endestykkerne "klumper" sig sammen til domæner, som ved temperatur under glasovergangstemperaturen (for PS ca. 100°C) giver en indre sammenhængskraft på højde med primære, kemiske bindingers (se kapitlet Generelt om plast).

Olefinbaserede TPE

Olefinbaserede TPE er i modsætning til de øvrige TPE'er blandinger af polyethylen eller polypropylen med elastomerer, hovedsageligt EPDM-gummi. De har god mekanisk styrke, stor ozonbestandighed og tåler udendørs anvendelse. De elektriske egenskaber er gode; temperaturområdet er -40 til $+100^{\circ}\text{C}$. Det er ofte en fordel, at olefinbaserede TPE kan lakeres ved passende forbehandling. Ca. 25 % af TPE-markedet udgøres af olefinbaserede materialer.

Urethanbaserede TPE

Urethanbaserede TPE, undertiden betegnet TPU for Termoplastisk PolyUrethan, er blokcopolymerer af højmolekylære dioler og diisocyanater. Der forekommer to kategorier, afhængigt af om diolen er en ester eller en ether. De etherbaserede typer er mere hydrolyse- og kemikaliebestandige end estertyperne. Generelt har TPU bedre egenskaber end de øvrige termoplastiske elastomerer, men de er også dyrere. Karakteristiske egenskaber er styrke og fleksibilitet inden for et bredt hårdhedsområde, stor slidstyrke, høj bestandighed over for ozon, UV-lys, olier og mange

Eksempler på handelsnavne

Styrenbaserede TPE

Kraton (Shell), Thermolast K (Kraiburg/Shell), Isorene (General Electric Plastics).

Olefinbaserede TPE

Alcryn (DuPont), Hercuprene (J-Von), Santoprene (Advanced Elastomer Systems), Vestopren (Degussa-Hüls), Vistaflex (Monsanto), Vyram (Monsanto).

Urethanbaserede TPE

Desmopan (Bayer), Estane TPU (Akzo), Pellethan (Akzo), Selecthane (Xenox).

Esterbaserede TPE

Arnitel (DSM), Bexloy (DuPont), Hytrel (DuPont), Riteflex (Hoechst Celanese), RTP (RTP), Texin (Bayer), Thermocomp (LNP).

Amidbaserede TPE

Grilamid (EMS-American Grilon), Grilon (EMS-American Grilon), PEBAX (Arkema).

kemikalier, samt at de er støddabsorberende. Temperaturgrænserne er -55 og $+100$ °C.

Esterbaserede TPE

Esterbaserede TPE er blokcopolymerer af en stiv, krystallinsk polyester og en fleksibel polyester. Hårdheden er relativt høj. Kemikaliebestandigheden er usædvanligt god; esterbaserede TPE tåler benzin, olie, aromatiske opløsningsmidler og hydraulikolie, men ikke koncentrerede syrer og baser og ej heller chlorerede hydrocarboner.

Amidbaserede TPE

Amidbaserede TPE består af polyether og polyamid, hvor man ved at variere på sammensætningen kan få elastomerer med hårdhed inden for et meget bredt interval. Med op til 80 % polyether fås de blødeste typer, mens de hårdeste har op til 80 % polyamid.

De amidbaserede TPE har ualmindeligt gode mekaniske egenskaber, især de stivere typer baseret på PA6, mens PA11 og PA12 indgår i de fleksible varianter. De har god bestandighed mod ozon og mange kemikalier samt lav krybning og lav friktion, og de beholder fleksibiliteten inden for et temperaturinterval fra -40 til $+80$ °C.

Anvendelseksemples

I biler: Airbag-låger, gearstanghåndtag, trykluftslanger, kofangerfæste, luftledere, spoiler, lister.

Sportsudstyr: Slalomstøvler, skibriller, håndtag til skistave og golfkøller, dykkerbriller, svømmefødder, rulleskøjter, polstring i hjelme, skosåler, fodtøj, skoindlæg, skøjter, spænder, bolde.

Industri: Medicinsk udstyr, emballage, klæbestoffer, pakninger, overfladebehandling, membraner, brandslanger, hængsler, støddæmpere, tandhjul, kabelgennemføringer, knivskafter, bælg.

Vejmaterialer: Vejbitumen, additiv til bitumen, overfladebehandling, fugemasser, trafikmarkering.

Forarbejdningsmetoder

Sprøjtstøbning og ekstrudering er de dominerende forarbejdningsmetoder til termoplastiske elastomerer, men blæsestøbning og termoformning kan også bruges.





HÆRDEPLAST

Pressestøbning af hærdeplast fra pulver til færdigt emne (F&H A/S)

Virkemåden i hærdeplast

Som tidligere beskrevet adskiller hærdeplast sig fra termoplast på det væsentlige punkt, at der ved forarbejdning af hærdeplast indgår kemiske processer, mens der ved termoplast kun sker en ændring af materialets form. Hærdeprocessen er således af afgørende betydning for det færdige emnes egenskaber. Hærdeplastene eksisterer så at sige ikke som materiale, før de er formgivet, og hærdningen er fuldendt. Hærdeprocessens forløb afhænger af en lang række faktorer, som det er nødvendigt at have fuld kontrol over. Hærdeprocessen i sig selv foregår normalt mellem to stoffer. De parametre, der er af størst betydning for hærdeprocessens forløb, er det forhold, hvori stofferne sammenblandes, sammenblandningens effektivitet og temperaturforløbet under processen. De mekanismer, der er forbundet med de enkelte materialer, kan være meget forskellige og er beskrevet i det følgende under hvert enkelt materiale.

Hærdeplastene vil for de flestes vedkommende i uforstærket tilstand være ret sprøde og derfor kun sjældent egnet som konstruktionsmateriale. Derimod anvendes de fx til overfladebehandling (fx polyurethan og epoxyplast), som klæbestof (fx phenolplast, polyurethan og epoxyplast) og som polstermateriale (polyurethan).

Hvis hærdeplast skal anvendes som konstruktionsmateriale, skal de forstærkes. Normalt bruges tynde fibre af glas eller andre udvalgte materialer til forstærkning af hærdeplast. Carbonfibre (kulfibre) og aramidfibre (fx Kevlar) anvendes også i stor udstrækning til forstærkning af plast. Til særligt avancerede konstruktioner anvendes desuden metalfibre af fx stål eller bor, men også fibre af polyethylen, cellulose, siliciumcarbid og aluminiumoxid er ved at vinde indpas. I øvrigt er det ikke kun i hærdeplast, at man blander forstærkningsfibre. I de senere år er der også sket en voldsom udvikling i udnyttelsen af fiberforstærket termoplast. For tiden forskes der meget i at anvende plantefibre til forstærkning af plast, men problemer med at sikre veldefinerede og ensartede produkter forhindrer indtil videre, at de kan anvendes i belastede konstruktionselementer.

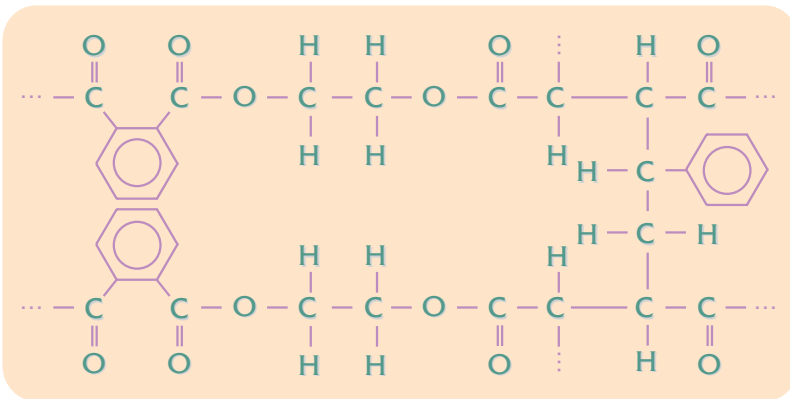


Umættet polyester (UP)

Ordet *polyester* er i denne forbindelse det almindeligt anvendte udtryk for en opløsning af umættet polyesterharpiks i en reaktiv monomer - oftest styren. En sådan opløsning har den særlige egenskab, at den kan bringes til at hærde, dvs. at tilstandsformen ændres fra flydende til fast.

Umættede polyesterharpikser fremstilles ved en kemisk reaktion mellem organiske, dibasiske syrer og glykoler (også kaldet dioler). Syredelen består af mindst to forskellige dibasiske syrer, hvoraf mindst én er umættet, og mindst én er mættet. Typiske eksempler på udgangsstoffer er maleinsyreanhydrid (umættet syre), phthalsyreanhydrid (mættet syre) og ethylenglykol.

Principiel kemisk sammensætning af hærdet umættet polyester



Umættede polyesterharpikser er højviskose, klæbrige væsker, der ligner harpiks, eller faste stoffer, der ligner rav. For at gøre dem tilstrækkeligt tyndflydende til, at de kan anvendes til at imprægnere glasfiberprodukter med ved stuetemperatur, opløses de i et opløsningsmiddel. I de fleste tilfælde vælges et opløsningsmiddel, som samtidigt fungerer som reaktionskomponent (eller tværbindingsmiddel) i hærdeprocessen. Styren er særdeles

velegnet og absolut det mest anvendte reaktive opløsningsmiddel til umættede polyesterharpikser.

Det reaktive opløsningsmiddel har - foruden den opgave at gøre polyesteren tyndflydende - den meget vigtige egenskab, at det under hærden reagerer kemisk med polyesterens via dobbeltbindinger i begge stoffer. Derved dannes der tværbindinger mellem polyester-molekylerne. Opløsningsmidlet - styren - er altså ikke alene et opløsningsmiddel i sædvanlig forstand, men en uundværlig komponent i polyesterens og deltager aktivt i selve hærdeprocessen. Derfor kaldes det undertiden et monomert opløsningsmiddel. Ved at variere på forholdet mellem de indgående komponenter kan den færdige polyesters egenskaber ændres. Forskellige hovedtyper af polyestere kan fremstilles ved valg af specielle komponenter. Desuden kan de forskellige typer tilpasses forskellige anvendelsesområder ved tilsætning af forskellige hjælpe-stoffer. De vil blive omtalt i det følgende.

Under hærden, som foregår uden fraspaltning af biprodukter og således er en polyadditionsproces, omdannes den flydende polyester til en fast masse, som på grund af molekylernes tætte netværkstruktur bliver en hærdeplast med gode all round-egenskaber.

Glasfiberforstærket polyester =

Glasfiber
+ Hærdet umættet polyesterharpiks

Umættet polyesterharpiks =

Umættet polyester
+ Styren
+ Additiver

Umættet polyester =

Umættet, dibasisk syre
+ Mættet, dibasisk syre
+ Glykol

Polyestertyper

Almindeligvis inddeles polyestere i disse hovedtyper:

- Orthophthalsyre-polyestere
- Isophthalsyre-polyestere
- Isophthalsyre/neopentylglykol-polyestere
- Bisphenol-polyestere
- Vinylestere

Orthophthalsyre-polyester er baseret på phthalsyreanhydrid, maleinsyreanhydrid og enten ethylenglykol eller propylenglykol. Denne type regnes for at have de ringeste egenskaber, men egenskaberne er absolut interessante. Typen kaldes også for standardpolyester og anvendes fx til fremstilling af både.

Isophthalsyre-polyester er, som navnet antyder, baseret på isophthalsyre. Den type har i almindelighed noget bedre egenskaber end orthophthalsyre-polyester. Når isophthalsyre kombineres med neopentylglykol i stedet for med standardglykol, fås en polyester med særligt god bestandighed mod dannelse af osmoseblærer i glasfiberforstærkede konstruktioner, der er i kontakt med vand.

Bisphenol-polyester er baseret på stoffet bisphenol A, der er en glykol. Denne polyestertype har først og fremmest større varme- og kemikaliebestandighed end de førnævnte typer.

Vinylestere er, som navnet antyder, ikke egentlige polyestere, men kun diestere, idet der i polymermolekylerne kun sidder estergrupper i enderne, mens der i de øvrige typer også sidder estergrupper i repetitionsenhederne. Vinylestere er de fremmeste, hvad angår varme- og kemikaliebestandighed, især er bestandigheden over for stærke syrer stor.

Ud over de her nævnte typer forekommer der en række specialtyper, hvoraf kun HET-syrepolyester skal nævnes her. HET-syre er *Hexachlor-EndomethylenTetrahydrophthalsyre*, som er speciel ved at indeholde seks chloratomer i molekylet. Som følge af det store chlorindhold er brandbarheden meget lav.



Hærdeprocessen

For at polyester ikke skal begynde at hærde, før man ønsker det, er der fra fabrikkens side tilsat et hjælpestof, kaldet en *inhibitor*. Den kan betragtes som en slags bremse, der forhindrer hærdeprocessen i at gå i gang. Når man har forarbejdet et emne, ønsker man normalt, at polyesterens skal hærde hurtigst muligt - ”bremsen skal løsnes”. Inhibitoren neutraliseres, ved at operatøren tilsætter endnu et hjælpestof, en initiator. Der forbruges hertil omkring 0,75 % initiator. Herefter går hærningen imidlertid kun meget trægt i gang, men ved at forøge mængden af initiator til 1-2 % aktiveres dobbeltbindingerne i polyester- og styrenmolekylerne, bindingerne åbnes, og der kan dannes tværbindinger - hærningen kan begynde.

Ved stuetemperatur foregår hærningen dog alt for langsomt. Hærdeprocessens hastighed kan forøges ved opvarmning eller ved tilsætning af en *accelerator*. Jo højere temperaturen er, jo mindre mængde accelerator er nødvendig for at opnå en bestemt reaktionshastighed. Man kan altså regulere den hastighed, hvormed hærningen sker, ved at regulere tilsætningen af accelerator. Der er dog en grænse for, hvor lav en temperatur de enkelte polyestere kan hærde ved. Til konstruktive formål stilles der normalt krav om, at temperaturen ikke må være under 18 °C. Det gælder fx i DS 456 Dansk Ingeniørforenings norm for konstruktioner af glasfiberarmet umættet polyester.

Initiatorer og accelerators kaldes tilsammen for *hærdemidler*. Ved et *hærdesystem* forstås en bestemt kombination af hærdemidler.

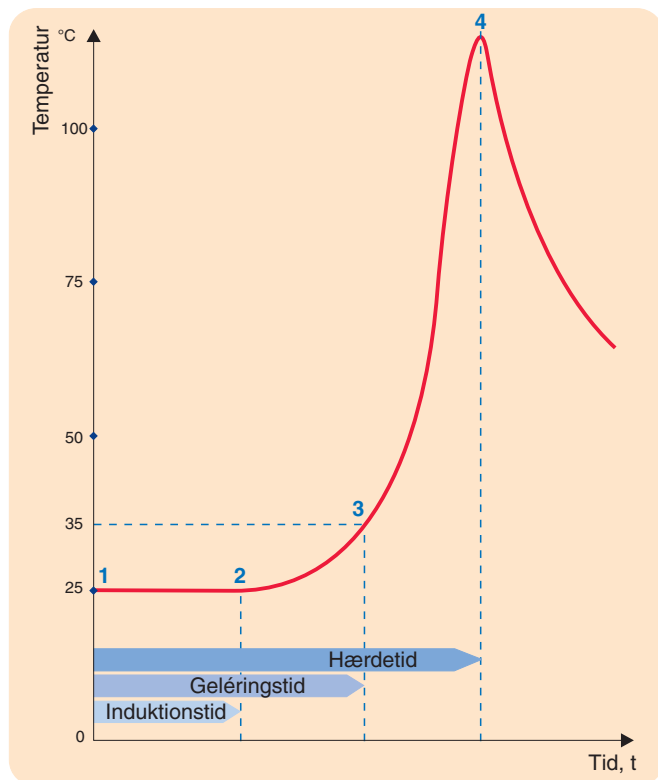
Hærdeprocessen er eksoterm, dvs. at der udvikles varme. Og varme virker accelererende på processen. Der sker altså en markant temperaturstigning. Den højeste temperatur, der forekommer i en veldefineret portion polyester, kaldes *eksotermtemperaturen* eller *peak exotherm*. Almindeligvis bruges den engelske betegnelse. Efterhånden som hærdeprocessen

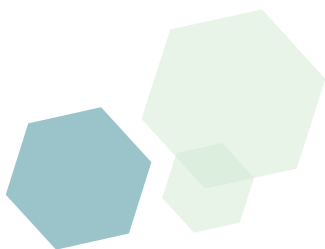
skrider frem, aftager temperaturstigningen, og der indtræder et øjeblik ligevægt mellem den varmemængde, der frigøres, og afkølingen i form af afgivelse af varme til omgivelserne. Derefter aftager temperaturen, indtil der indtræder ligevægt med omgivelserne.

Samtidigt med at temperaturen stiger, stiger viskositeten af polyesterblandingen, der først omdannes til en gel (en geléagtig masse) og dernæst til fast tilstand med stigende stivhed.

Den tid der går, fra det sidste hærdemiddel blandes i en portion polyester, til den bliver geléagtig, kaldes *geléringstiden* eller *gel-tiden*. Man siger, at polyesteren geléerer. Den tid, der er gået, når den højeste temperatur indtræder, kaldes *hærdetiden*. Når emnet er blevet koldt og stift nok til, at det er formstabil, kan det afformes. Tiden dertil kaldes *afformningstiden*.

Temperaturforløbet i en umættet polyesterharpiks ved koldhærdning





Som begreberne er forklaret her, er de naturligvis afhængige af forhold som udgangstemperaturen af materialerne, omgivelsernes temperatur og lagtykkelsen. Til sammenligning mellem forskellige polyestere bør værdierne derfor bestemmes under standardiserede betingelser fx ved SPI-geltime-testen (SPI = Society of Plastics Industries, USA).

Alle disse forhold ved hærdeforløbet kan reguleres inden for ret vide grænser ved passende valg og dosering af inhibitorer og stabilisatorer samt initiator- og acceleratorsystem. Således er fx geléringstiden i Plastic Padding få minutter ved stuetemperatur, mens den kan være en time eller mere fx ved vakuuminjektion af store emner.

Peak exotherm kan desuden reguleres ved valg af polyester. *Højreaktive* typer er til fremstilling af relativt tynde laminaer fx under 5 mm tykke. *Middelreaktive typer* er egnet til fremstilling af tykkere laminaer. *Lavreaktive typer* er til fremstilling af vilkårligt tykke laminaer ”vådt i vådt”. De er således indstillet, at temperaturen ikke bliver for høj ved almindelig brug selv i meget tykke lag.

Udhærtningsgrad

Mange væsentlige egenskaber hos glasfiberforstærket polyester afhænger af polyesterens udhærtningsgrad. Derfor er det ofte af stor vigtighed at kunne vurdere eller - helst - at kunne bestemme udhærtningsgraden. Den bedste metode i praksis er at bestemme indholdet af fri, ureageret styren. Denne såkaldte reststyren-bestemmelse skal foretages snarest muligt efter hærningen. Med tiden vil fri styren nemlig diffundere ud af polyesterens og fordampe og dermed unddrage sig analyse. Metoden kræver rådighed over udstyr til kemisk analyse; desuden er den destruktiv.

Som kontrol undervejs i produktionen bruges ofte at bestemme overfladehårdheden som indtrykningsmodstanden ved hjælp af en såkaldt Barcol-impresor. Metoden er enkel og billig, men indebærer ret stor usikkerhed. I henhold til den standard, der knytter sig til metoden, må den kun bruges på et homogent materiale i mindst 1 mm's tykkelse. Derfor er den ikke egnet til glasfiberforstærkede laminaer, der jo ikke er homogene; ej heller til gelcoat-overflader, fordi gelcoatlag ikke bør være over ca. 0,7 mm tykke. Desuden er sammenhængen mellem udhærtningsgraden bestemt ved reststyren-indholdet og Barcol-hårdheden ikke entydig.

Hjælpstoffer

Hærdemidler (initiatorer og acceleratorer)

Som hærdesystem ved hånd- og sprøjteoplægning anvendes i de fleste tilfælde methylethylketonperoxid (MEKP) eller cyclohexanonperoxid (CHP) som initiator i forbindelse med cobolt-naphthenat eller cobolt-octoat som accelerator. Et andet system, som også kan fungere ved stuetemperatur, er benzoylperoxid (BPO) og dimethylanilin (DMA). Derudover er et stort antal hærdesystemer til rådighed til specielle anvendelser. Peroxider er meget reaktive stoffer, så for at undgå antændelse forhandles de altid i fortyndet tilstand. Normalt anvendes 50 % opløsninger (i fx di(2-ethylhexyl)-phthalat, DEHP). Sådanne brandbarhedsnedsættende midler kaldes *flegmatiseringsmidler*. Acceleratorerne forhandles også fortyndet - ikke af sikkerhedsmæssige grunde, men fordi de skal tilsættes i meget små koncentrationer. Derved bliver det muligt at dosere præcis. Almindeligt forekommende fortyndinger er 1 %, 6 % og 10 % cobolt i fx styren.

Hvis initiator og cobolt-accelerator kommer i kontakt med hinanden, opstår der en eksplosiv blanding. Man kan undgå, at det sker, ved at und-

lade at håndtere accelerators, idet man kan købe polyester, hvori accelerator allerede er blandet. Man taler da om *foraccelereret polyester*. Ulemper er, at det så bliver besværligt at regulere acceleratorconcentrationen efter temperaturen. Når både initiator og cobolt-accelerator håndteres i en virksomhed, skal de af sikkerhedsmæssige grunde opbevares strengt adskilt fra hinanden.

Ved varmpresning eller i andre situationer, hvor hærdeningen foregår under opvarmning, undværes accelerators helt, og der tales om *varmhærdning* i modsætning til *koldhærdning*, som foregår ved omgivelsernes temperatur efter tilsætning af accelerator. Ved varmhærdning bruges specielle initiators, der først spaltes ved højere temperaturer.

Fra fabrikkens side kan der være tilsat forskellige hjælpemidler for at sikre specielle, forarbejdningstekniske eller anvendelsestekniske egenskaber.

Stabilisatorer

Stabilisatorer tilsættes for at sikre en passende lang opbevaringstid af polyester. Almindeligvis garanterer polyesterfabrikanterne en opbevaringstid på 6 måneder, hvis polyester opbevares i ubrudt emballage ved stuetemperatur og i mørke. Hvis polyester er tilsat accelerator fra fabrikken, kan den garanterede opbevaringstid være reduceret til 4 måneder. I dag kan en del fabrikker imidlertid ved hjælp af særlige stabilisatorer - på trods af acceleratorindholdet - bibeholde 6 måneders garanteret opbevaringstid.

Inhibitorer

Inhibitorer er tilsætningsstoffer, hvormed en polyesters geléringstid kan indstilles på en vis værdi.

I praksis er det ofte vanskeligt at skelne mellem stabilisatorer og inhibitorer, idet begge typer af hjælpemidler påvirker både opbevaringsstabiliteten og geléringstiden.

Tiksotroperingsmidler

Polyesterfabrikanterne tilsætter ofte tiksotroperingsmidler til polyester for at forhindre den i at løbe ud af armeringsmaterialet på skrå og lodrette flader. Tiksotroperingsmidlet er ofte en speciel form af siliciumdioxid, som ved intensiv blanding af nogle få procent i polyesterer gør dem tiksotrope. Mange polyesterkvaliteter fås både i tiksotroperet og i utiksotroperet tilstand.

Brandhæmmende egenskaber

Ved særlige anvendelser - fx til redningsbåde og visse bygningskomponenter - kræves brandhæmmende egenskaber. Polyesters brandbarhed kan mindskes på to måder, dels ved indbygning af særlige stoffer i polyesteremolekylerne, hvilket ifølge sagens natur kun kan gøres på fabrikken, og dels ved iblanding af brandhæmmende tilsætningsstoffer fx chlorholdige forbindelser, antimonhvidt (antimontrioxid) eller aluminiumhydroxid. Den sidste metode har dog visse ulemper i sammenligning med den første. Polyesterne bliver ugenemsigtige, hjælpemidlerne bindes ikke kemisk i den hærkede polyester, og virkningen er ikke helt stabil, idet stofferne under særlige omstændigheder kan migrere (vandre) ud af polyester. Dette anses dog kun for at være et problem i ganske særlige tilfælde.

Tiksotropi

En polyester siges at være tiksotrop, når den har den egenskab, at dens viskositet er stor, dvs. at den er tungtflydende, når den er i ro, men lille, dvs. at den er letflydende, når den er i bevægelse fx ved omrøring. Dermed forhindres den i at løbe ned ad skrå og lodrette flader.

Klæbefri overflade

Når polyestere hærder med fri overflade som ved hånd- og sprøjteoplægning, forbliver det yderste lag næsten altid klæbrigt på grund af indvirkning af luftens ilt (inhibering). For at sikre en klæbefri overflade kan man tilsætte nogle få procent af en opløsning af paraffin til det sidste lag, som kaldes *topcoat*.

Farve

Gelcoat og topcoat, som uden glasfiberforstærkning påføres i tynde lag henholdsvis før og efter opbygning af det bærende laminat, er ofte tilsat farvepigmenter for at give emnets overflade et pænt og dekorativt udseende. Normalt anvendes der ikke farvepigmenter i lamineringspolyester.

Fyldstoffer

I gelcoat og topcoat anvendes undertiden en mindre mængde fyldstof, hvilket giver materialet en mere glat og slidbestandig overflade. I lamineringspolyester til hånd- og sprøjteoplægning bruges sjældent fyldstoffer. Fyldstoffer anvendes især ved pressemetoderne, idet flydeegenskaberne forbedres. Kridt er det mest anvendte fyldstof. Desuden anvendes forskellige lersorter fx kaolin samt kvartspulver, karbonumpulver, korund og grafit som fyldstoffer i umættet polyester.

Eksempler på handelsnavne på polyestere

Alpolit (Hoechst), Civic (Neste), Crystic (Scott Bader), Derakane (Dow), Leguval (Bayer), Norpol (Reichhold), Oldopal (BÜFA), Palatal (BASF/DSM), Synolite (BASF/DSM), Vestopal (Degussa-Hüls).

Styrenfordampningshæmmende additiver

For at holde fordampningen af styren på det mindst mulige, tilsættes voksagtige additiver, som "svæder" ud på polyesterens overflade, mens den endnu er flydende. Herved kan fordampningen af styren reduceres til langt under halvdelen. Ved at bruge sådanne såkaldte LSE-polyestere (LSE = Low Styrene Emission) forbedres arbejdsmiljøet, og man undgår unødigt tab af materiale.



Epoxyplast (EP)

Epoxyplast er hærdeplast. I endnu ikke hærdet tilstand er de enten honningfarvede, højviskose væsker eller sprøde, ravagtige faste stoffer, som smelter ved opvarmning.

Udhærdet epoxyplast er karakteriseret ved god mekanisk styrke, gode dielektriske egenskaber, god dimensionsstabilitet samt god varmebestandighed og kemikaliebestandighed. Den mest karakteristiske egenskab er imidlertid evnen til at klæbe til en bred vifte af materialer.

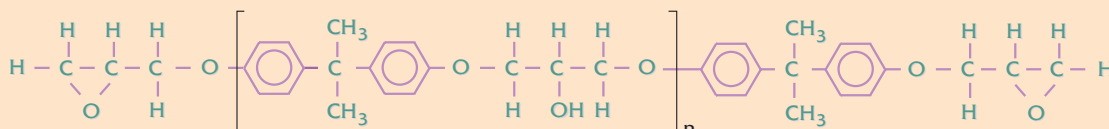
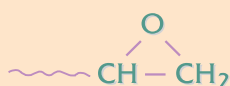
Epoxyharpikser forekommer i et væld af former: som plastkomponent, som støbemasse, som klæbestof, som spartelmasse, i form af laminaer, celleplast, viklede kompositmaterialer, forimprægneret fiberforstærkning og som belægning.

Den kemiske konfiguration, som muliggør disse harpiksers evne til at reagere med andre stoffer, og som har lagt navn til gruppen, er epoxygruppen.

Epoxygruppen kan reagere med et stort antal forskellige hærder. Reaktionsmekanismen er beskrevet i afsnittet Epoxygruppens reaktivitet nedenfor.

Stoffer, der indeholder epoxygrupper, kaldes epoxider. For at et epoxid kan hærde (reagere til et tredimensionalt netværksmolekyle), skal det indeholde mindst to epoxygrupper. Sådanne stoffer kaldes diepoxider. Det hyppigst forekommende diepoxid er DGEBA (DiGlycidylether af Epichlorhydrin og Bisphenol A), men der forekommer også novolaktyper og cycloalifatiske epoxyharpikser samt flere andre.

Epoxygruppens kemiske konfiguration



Kemisk sammensætning af epoxyharpiks på basis af epichlorhydrin og bisphenol A forud for hærkning

Polymerisationsgraden n i formlen er oftest ganske lille. I tokomponent-klæbere forekommer fx $n = 1$. Flydende diepoxider er lavpolymerer. Ved $n = 25$ er diepoxiderne faste stoffer, som ved anvendelse må opvarmes, så de bliver flydende, før de kan forarbejdes.

For at danne tværbindinger mellem de trådformede epoxymolekyler skal epoxyharpikser reagere med en hærder. Valget af hærder bestemmer for en stor del de forarbejdningstekniske egenskaber af blandingen og de anvendelsestekniske egenskaber af det udhærdede materiale. Molekylmassen af epoxyen har dog også betydning.

Hærkning

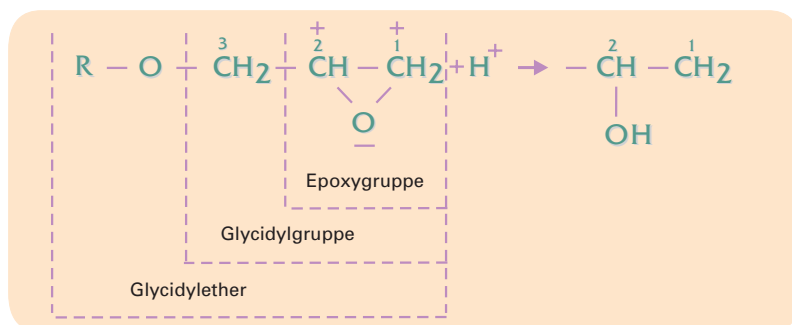
Tværbindingen under hærdeprocessen sker ved polyaddition, og der dannes derfor ikke flygtige reaktionsprodukter, hvilket der gør ved polykondensation. Det er således muligt at støbe porefri emner i åbne forme (luftbobler, som kan opstå ved blanding af harpiks og hærder, fjernes ved hjælp af vakuum). Skrumplingen under hærdeforløbet er mindre end ved polyesterharpikser.

Epoxygruppens reaktivitet

Epoxyharpiksers reaktionsevne beror på den meget reaktive epoxygruppe. Epoxygruppen er en cyklisk ether med to carbonatomer og et oxygenatom. Gruppen kaldes også oxiran. De tre atomer danner en trekantet konfiguration med indbyggede, mekaniske spændinger som følge af den lille vinkel (ca. 60°) mellem valensretningerne. Disse spændinger udløses, ved at ringen åbner sig.

Epoxygruppen forekommer sædvanligvis bundet som glycidylether. Epoxygruppen reagerer med stoffer, som har et mere eller mindre ”aktivt” hydrogenatom. Det positivt ladede hydrogenatom forbinder sig med epoxygruppens oxygenatom, og den dannede hydroxylgruppe bindes som følge af epoxygruppens polære natur til carbonatom nr. 2.

Epoxyhærdning



Hærdere

Der er et meget stort antal hærdere til rådighed. De grupperer sig i følgende grupper:

- Alifatiske polyaminer
- Aromatiske polyaminer
- Syreanhydrider
- Polyamider
- Katalytiske hærdere

Ved stuetemperatur reagerer aminer hurtigt med epoxygrupper, og aminer er de almindeligste hærdere i lavtemperatursystemer. En primær amin danner med epoxygrupper en sekundær amin, mens en sekundær amin giver en tertiær amin. (Aminer klassificeres som primære, sekundære og tertiære, alt efter om et, to eller tre hydrogenatomer i ammoniakmolekylet (NH₃) er erstattet med alkyl- eller arylgrupper).

Selv carboxylsyrer reagerer med epoxygrupper på grund af hydroxylgruppens polaritet. Derimod er polariteten hos alkoholors hydroxylgruppe lav, og der sker først reaktion ved temperatur mellem 100 og 200 °C. Alkoholer anvendes derfor ikke som hærdere alene.

Ligesom ved de beskrevne additionsreaktioner kan epoxyforbindelser copolymeriseres ved at reagere med hinanden. Polymerisationen forstærkes under katalytisk virkning af tertiære aminer eller komplekser af bortrifluorid.

De sekundære hydroxylgrupper, som dannes i de beskrevne reaktioner, spiller en vigtig rolle ved hærdning med syreanhydrider. Syreanhydrider reagerer ikke med epoxygrupper, men danner med epoxygrupper både estergrupper og carboxylgrupper. Anhydridhærdning sker ved højere temperatur.

Inddeling af epoxyharpikser

Epoxyharpikser med tilhørende hærdere udgør et meget stort og kompliceret emneområde med utallige kombinationsmuligheder, og der findes ingen vedtaget inddeling af materialerne. Sædvanligvis behandles epoxyharpikser kronologisk i den orden, de er blevet lanceret i. De ældste og mest brugte epoxyharpikser er baseret på polyphenoler. De alifatiske og de cykloalifatiske kom til senere. De er vigtige i mange anvendelser, men har i lighed med nitrogenholdige epoxyforbindelser endnu ikke nået standardharpiksernes fremstillingsvolumen.

Teknisk set kan epoxyharpikserne inddeles efter det temperaturområde, som de hærdet i:

- Ved stuetemperatur
- I varme < 100 °C
- I varme > 100 °C

Den optimale hærdningstemperatur for epoxysystemer afhænger mere af, hvilke hærdere og accelerators der anvendes, og mindre af epoxyharpikserens opbygning.

I koldhærdende systemer anvendes i almindelighed amin- eller amidhærdere med tertiære aminer som accelerator. I systemer, som hærdet ved højere temperatur, anvendes phthalsyreanhydrid, aromatiske aminer og HET-syreanhydrid til sværtantændelige laminaer (HET-syre = Hexa-chlorEndomethylenTetrahydrophthalsyre). Over 100 °C sker hærdning med phenolformaldehyd.

Yderligere inddeling kan være i énkomponent- og tokomponentharpikser. Hærdning ved stuetemperatur sker sædvanligvis efter blanding af hærdere og harpiks, som således før hærdningen holdes adskilt fra hinanden og udgør et tokomponentsystem, sædvanligvis kaldet tokomponentharpiks.

Hærdning ved højere temperatur kan ske med énkomponentharpikser, som er blandinger af hærdere og harpiks. Blandingen er stabil ved stuetemperatur og hærdet først ved højere temperatur. Blandingen kan være et delvist hærdet system indeholdende en hærdere, som først virker ved højere temperatur. Derfor kan den delvist hærdede blanding tåle at blive lagret i en vis tid ved stuetemperatur. Sådanne systemer anvendes ved fremstilling af pressemåtter (SMC), forimprægnerede fibermaterialer (prepregs), pressemasser og støbeharpikser. SMC, prepregs og pressemasser forarbejdes og hærdet i presser mellem varme formværktøjer, og støbeharpikser hældes i en opvarmet form. Tonnagemæssigt er anvendelsen af énkomponentharpikser lille i sammenligning med tokomponentharpikser.

Efter epoxyharpiksernes kemi og egenskaber kan de inddeles således

- Bisphenol A-diglycidyltypen (DGEBA)
- Aromatiske glycidylethere med novolak- og bisphenol F-baserede typer
- Alifatiske diglycidylethere og fortyndere
- Aromatiske diglycidylaminer (nitrogenholdige epoxyharpikser)
- Cykloalifatiske epoxyharpikser

Egenskaber

Epoxyplast uden fyldstoftilsætning er transparente og har normalt fremragende vedhæftning til en lang række materialer, meget gode mekaniske egenskaber og elektriske isolationsegenskaber og høj kemikaliebestandighed. Epoxyplast baseret på flerfunktionelle harpikser har almindeligvis højere glasovergangstemperatur og derfor bedre varmebestandighed og kemikaliebestandighed end dem, der er baseret på bisphenol A.

Som følge af det store udvalg af hærde, epoxymolekylernes størrelse og sammensætning samt de mange former, hvori de kan optræde, er egenskabsgrænserne meget vide.

DGEBA er standard-typer med god mekanisk styrke, hårdhed, sejhed og stivhed. Desuden har de meget fine elektriske isolationsegenskaber og fremragende kemikaliebestandighed især over for baser. Sædvanligvis kan de anvendes ved temperaturer op til 150 °C.

DGEBA-epoxyer udviser stor alsidighed med hensyn til forarbejdningmuligheder, og da udvalget af hærde samtidigt er meget stort, betyder det, at mange specifikke egenskabskombinationer er mulige.

Der forekommer koldhærdende systemer med geléringstider fra under et minut til over et døgn. Varmhærdende systemer, som er baseret på faste epoxyharpikser eller opløsninger deraf, kræver varmetilførsel for at kunne udhærdes optimalt.

I epoxy-novolakker er de molekylære tværbindinger tættere, hvilket giver sig udslag i bedre varmebestandighed og kemikaliebestandighed især over for organiske opløsningsmidler. Som ventet er klæbeevnen og sejheden reduceret, ligesom forarbejdeligheden er noget forringet. Ved forarbejdning reduceres viskositeten ved iblanding af standard-epoxid (DGEBA) eller passende fortyndingsmidler eller ved opvarmning til et halvt hundred grader.

De cycloalifatiske epoxyer udmærker sig i forhold til standard-epoxider ved lettere forarbejdelighed, større varmebestandighed, bedre elektriske og dielektriske egenskaber og fremragende vejrbestandighed. Ligesom ved novolakkerne skyldes de forbedrede egenskaber en tættere molekylstruktur. Cycloalifatiske epoxider kan variere fra lavviskose væsker til halvfaste og faste stoffer, som kan hærdes ved stuetemperatur eller - hvad der er mest normalt - ved forhøjet temperatur.

Forarbejdningsmetoder

Epoxyharpikser forarbejdes på mangfoldige måder svarende til de mange former, de forekommer i. Konstruktive komponenter med fiberforstærkning fremstilles mest ved laminering, dvs. lagvis opbygning af todimensionale fiberprodukter, som imprægneres med epoxyblandingen forud for eller samtidigt med formgivningen. Sortimentet omfatter de samme metoder, som anvendes ved fiberforstærket umættet polyester. Store vindmøllevinger fremstilles i dag mange steder ud fra prepregs.

Anvendelseksemples

Uden forstærkningsmaterialer anvendes epoxyharpikser som klæbestof i belastede konstruktioner, som støbemasse, som spartelmasse og som slid- og korrosionsbeskyttende overfladebelægning især på stål og beton.

Epoxyplastlaminater med forstærkning af glas-, aramid- eller carbonfibre anvendes til dele til biler og fly, såsom kontrol- og samlingsfiksturer, borelærer, svejsefiksturer, radomer, brændstoftanke, gulve, mellemvæge samt dele til flyvinger og -kroppe. Farve og lak udgør et meget stort anvendelsesområde. Andre vigtige anvendelsesområder er reparationsmaterialer og pressemasser.

Eksempler på handelsnavne på EP

Araldite (Ciba-Geigy), Bakelit (Union Carbide), Beckopox (Hoechst), DEN og DER (Dow), Epikote og Epon (Shell), Epoxin (BASF), Eurepox (Shering), Hostapox (Hoechst), Lekutherm og Levepox (Bayer), Plaskon (Allied).

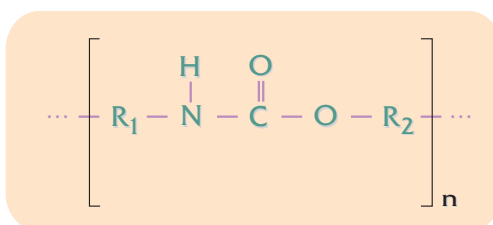
I plastindustrien ses epoxyplast anvendt til støbeforme til lavtrykspresning og termoformning. I bådindustrien til alle typer af både og beklædning af træbådeskrog. Andre typiske anvendelsesområder er som isolationsmateriale i elektrisk industri, til rør og til plader til trykte kredsløb.

Polyurethan (PUR)

Polyurethan er en fællesbetegnelse for en gruppe af materialer, der er karakteristisk ved at indeholde urethanbindinger eller deraf afledede bindinger.

Polyurethaner forekommer som massive termoplast, som celleplast, der kan være stive, halvstive eller fleksible, som termoplastiske elastomerer, som klæbestof, som fugemasse, som overfladebelægning og som elastiske fibre.

Urethanbindingens kemi



En urethanbinding dannes ved reaktion mellem en isocyanat og en alkohol. Normalt anvendes til polyurethanfremstilling en diisocyanat og en polyol. Der er et stort udvalg af muligheder til rådighed, hvilket muliggør varia-

tion af en lang række egenskaber. Således kan man fx kontrollere fleksibilitet, massefylde, tæthed i celleplast, cellestruktur (åbne eller lukkede celler), forarbejdningstekniske og anvendelsestekniske egenskaber, samt om resultatet bliver en hærdeplast eller en termoplast.

Læs mere om PUR's egenskaber, forarbejdningsmetoder og anvendelses-eksempler i kapitlet Polyurethanstøbning.

Termoplastiske elastomerer af PUR er omtalt i kapitlet Termoplastiske elastomerer.



Phenolplast og aminoplast

Phenolplast (PF)

Phenolplast er polykondensationsprodukter af phenol og formaldehyd. De er hærdeplast - hårde og stive samt sprøde eller kærnfølsomme. Som støbemasse anvendes phenolplast derfor altid sammen med fyldstoffer eller forstærkningsfibre.

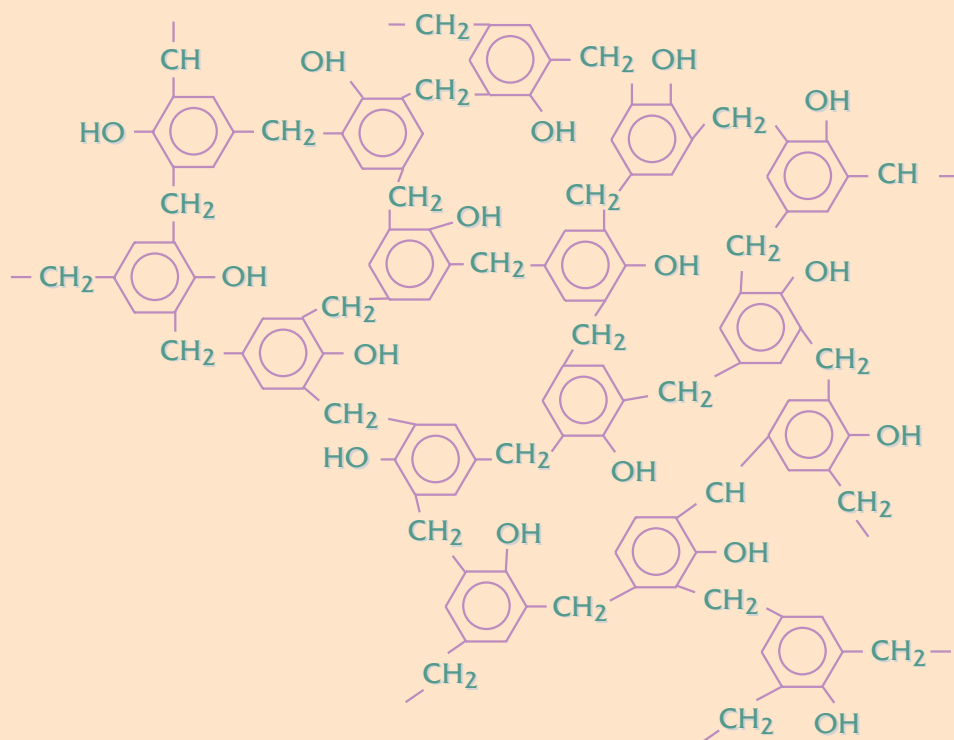
Phenolplast er den næstældste plast og den ældste hærdeplast og hel-syntetiske plast. Phenolplast blev første gang udviklet i 1909 af belgieren Leo Baekeland, men blev produceret i USA af Union Carbide og for-handlet under navnet Bakelit®.

Der er to typer af phenolpolymerer: resol, som fremstilles ved en ét-trinsproces, og novolak, der fremstilles i to trin.

Resol dannes ved overskud af formaldehyd i reaktionsblandingen. Reak-tionen afbrydes, før der er sket væsentlig tværbinding, så formgivning senere kan foregå under samtidig dannelse af de resterende tværbindinger.

Ved reaktion mellem phenol og underskud af formaldehyd dannes et fast mellemprodukt, kaldet resitol, som senere kan færdigreagere (hærde) ved tilsætning af den manglende mængde formaldehyd. Resitol forhand-les med hexamethylentetramin iblandet. Ved opvarmning spaltes dette stof til formaldehyd og ammoniak. Herved leveres den manglende mængde formaldehyd, og ammoniakken virker som katalysator.

Principiel opbygning af den tredimensionale netværks-struktur i phenolplast



Egenskaber

Egenskaberne af en phenolplast-komponent er i udpræget grad afhængig af typen og mængden af fyldstoffer eller forstærkningsmaterialer.

Standard-phenolplast fyldt med glimmer, kaolin, træmel, cellulose, stenmel, mineralfibre eller hakkede klude er den mest udbredte form for phenolplastkomponent.

Konstruktions-phenolplast, der omfatter mange specialkvaliteter, anvendes primært forstærket med glasfibre eller organiske fibre. Indholdet af forstærkningsfibre, som kan være over 70 %, betinger materialernes store evne til at modstå krybning under belastning ved forhøjet temperatur.

Ved tilsætning af elastomerer, grafit eller polytetrafluorethylen (teflon) kan sejheden forøges, og der kan tilføres selvsmørende egenskaber.

Som følge af den tredimensionale netværksstruktur er hærdede phenolplast stive med deraf følgende fremragende dimensionsstabilitet, stor modstand mod krybning og evne til at kunne støbes med små tolerancer. Kærvelagsejheden er stærkt fyldstofafhængig.

I phenolplast bevares de mekaniske egenskaber ved forhøjet temperatur bedre med uorganiske fyldstoffer end med organiske. Med organisk fyldstof er den højeste anvendelsestemperatur 125-130 °C, mens de kan tåle helt op til 250 °C med fyld af asbest, som dog ikke må anvendes mere i mange lande, bl.a. Danmark.

Phenolplast virker i sig selv brandhæmmende, og røgdudviklingen er normalt meget lille.

Phenolplast er gode elektriske isolatorer; men krybe-strømsikkerheden er lille.

På grund af den kraftige mørkfarvning (rød eller brun) fra blot ganske små urenheder i phenolråvaren kan phenolplast ikke fremstilles i lyse farver.

Vandoptagelsen er forholdsvis stor - størst for kvaliteter med organiske fyldstoffer.

Phenolplast tåler svage syrer og visse svage baser, men ikke stærke. De angribes ikke af almindelige opløsningsmidler.

Phenolplast kan afgive lugt og smag og kan ikke betegnes som giftfri, idet begge de indgående monomerer, phenol og formaldehyd, er farlige stoffer.

Forarbejdningsmetoder

Traditionelt forarbejdes phenolplast ved varmpresning i en lang række varianter. I dag er sprøjtstøbning imidlertid almindelig, ligesom fremstilling af laminaer ud fra phenolplastimprægneret papir, lærred eller finer er meget udbredt.

For nogle år siden er der udviklet phenolplasttyper, som kan forarbejdes i flydende tilstand fx til imprægnering af glasfiberprodukter på lignende måde som fx ved håndoplægning af umættet polyester.

Anvendelseseksempler

Over halvdelen af al phenolplast bruges som klæbestof til fremstilling af krydsfiner. Som bindemiddel i mineraluld, kopipapir, bremsebakker, slibe-skiver og ved papirbehandling finder phenolplast også stor udbredelse.

Standard-phenolplast anvendes meget til elektriske artikler, der skal fungere ved forhøjet temperatur, fx i ovne, brødristerer, elektriske isolatorer, afbrydere og remskiver samt håndtag til gryder og pander og til laminatplader under det dekorative yderlag af melaminplast.

Konstruktions-phenolplast erstatter metaller i mange tilfælde, i bilmotorer fx til vandpumper, indsugningsmanifold, højtryksanlæg, bremseklodser, motorblokke og topstykker; elektriske og elektroniske komponenter, der skal fungere ved forhøjet temperatur, til plader til trykte kredsløb og til indvendig beklædning i tog og fly.

Derudover anvendes phenolplast forstærket med glasfiber fx i pultruderede profiler til offshorebranchen.

Eksempler på handelsnavne på PF

Aerophenal (Ciba-Geigy), Alnovol, Alresen, Durophen, Phenodur og Vulkaresen (Hoechst), Bakelit (Bakelit /Union Carbide), Fiberite (Fiberite Corp.), Imprenal, Nopinol og Resinol (Raschig), Supraplast (Süd-West-Chemie).

Aminoplast

De vigtigste materialer i gruppen af aminoplast er carbamidplast og melaminplast.

Som polymerer er både carbamidpolymerer og melaminpolymerer ældre end phenolpolymerer, men de er begge langt senere blevet videreudviklet til støbekompounder for at afhjælpe nogle af manglerne ved phenolplast.

Begge aminoplast forekommer i lyse, venlige farver, og begge er giftfrie. Krybe-strømssikkerheden er god.

Carbamidplast har imidlertid ringere vejr- og varmebestandighed end phenolplast; den kan således ikke tåle kogende vand.

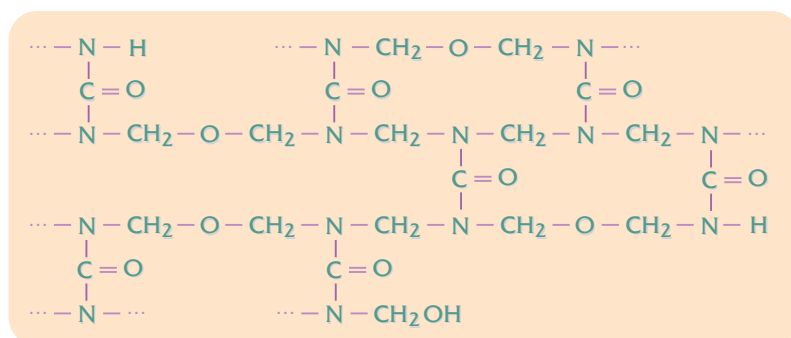
I melaminplast forenes de gode egenskaber fra phenolplast og carbamidplast.

Carbamidplast (UF)

Carbamidplast er en hærdeplast, et kondensationsprodukt af carbamid (urinstof) og formaldehyd. På engelsk hedder carbamid urea; deraf forkortelsen UF for urea-formaldehyd-polymer.

Ligesom phenolplast er ren carbamidplast hård, stiv og sprød, hvorfor den altid anvendes med fyldstoffer.

Principiel kemisk sammensætning af carbamidplast



Egenskaber

Carbamidplast har noget lavere varmebestandighed end phenolplast, hvilket især tilskrives de organiske fyldstoffer. 80-90 °C angives som maksimal anvendelsestemperatur. HDT er 130 °C.

De mekaniske egenskaber er ligeledes ringere af samme årsag. Aminoplast er de hårdeste af alle plast og har meget stor elasticitetsmodul. Selv om de er sprøde materialer, bliver de ikke væsentligt sprødere ved lave temperaturer. Kærvelslagsejheden er relativt lille.

I ren form er aminoplastene transparente, men med den nødvendige tilsætning af fyldstoffer bliver de ugenomsigtige. Indfarvningsmulighederne er meget gode.

Carbamidplast virker ikke brandspredende.

Vandoptagelsen er forholdsvis stor, og bestandigheden over for varmt vand er ringe.

Vejrbestandigheden er dårlig. UF angribes af syrer og stærke baser, men tåler visse svage baser. De fleste almindelige opløsningsmidler angriber ikke UF.

Carbamidplast er gode elektriske isolatorer med god krybe-strømssikkerhed. De oplades ikke let elektrostatisk.

Eksempler på handelsnavne på UF

Beetle (BIP), Kaurit og Urecol (BASF), Plaskon (Allied), Resamin (Hoechst), Skanopal (Perstorp).

Principiel kemisk sammensætning af melaminplast

Forarbejdningsmetoder

Carbamidplast forarbejdes næsten udelukkende ved varmpresning, men specialblandinger kan sprøjttestøbes.

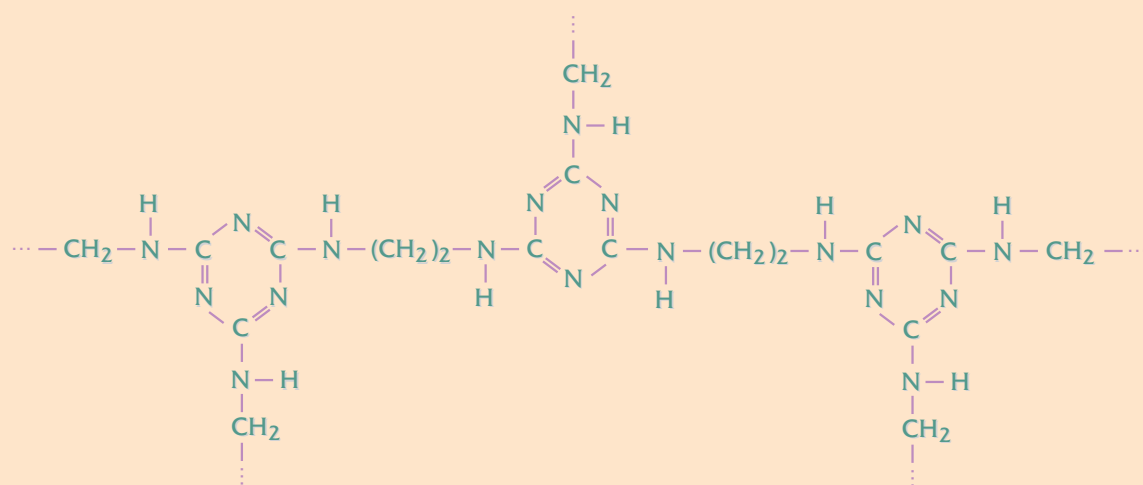
Anvendelseseksempler

Se under melaminplast.

Melaminplast (MF)

Melaminplast er hærdeplast, fremstillet ved polykondensation mellem melamin og formaldehyd; deraf forkortelsen MF.

Ligesom PF og UF er MF hård, stiv og sprød og anvendes altid med fyldstoffer eller fiberforstærkning.



Egenskaber

Med organiske fyldstoffer er den højeste anvendelsestemperatur 120-130 °C, med uorganiske fyldstoffer noget højere. HDT er 180 °C.

MF er kærvelsømsom, men med glasfiberforstærkning kan kærvelslagsejheden overstige 1.000 J/m.

Som UF er MF i ren tilstand transparent, men tilstedeværelse af fyldstoffer gør MF-kompounder ugennemsigtige. Indfarvningsmulighederne er uendelige.

Melaminplast virker ikke brandspredende.

Vejrbestandigheden er god, vandoptagelsen er lille, og MF afgiver hverken lugt eller smag, den er giftfri.

MF tåler opløsningsmidler og svage, men ikke stærke syrer og baser.

Ligesom UF er MF en god isolator med god krybe-strømssikkerhed.

Forarbejdningsmetoder

Varmpresning er den mest anvendte formgivningsmetode til melaminplast. Specialkvaliteter kan sprøjttestøbes.

Eksempler på handelsnavne på MF

Isomin (Perstorp), Madurit (Hoechst), Melan (Henkel), Melbrite (Montedison), Melmex (BIP), Melolam (Ciba-Geigy).

Anvendelseksemples for carbamidplast og melaminplast

Carbamidplast og melaminplast har på mange områder sammenlignelige egenskaber. MF, som er lidt dyrere, har dog lidt bedre mekaniske egenskaber, lidt hårdere overflade og større kemikaliebestandighed.

Til en række formål er carbamidplast tilstrækkelig. Den anvendes således i en række tilfælde, hvor phenolplast kommer til kort, fx med hensyn til krybe-strømssikkerhed.

Melaminplast har vist sig at fungere tilfredsstillende til letvægtsvaske til badeværelser, husholdningsservice, grydeskeer, bestikskafter, skåle, serveringsbakker og det dekorative lag på laminater til køkkenbordsbeklædning.

Både UF og MF anvendes som klæbestoffer.

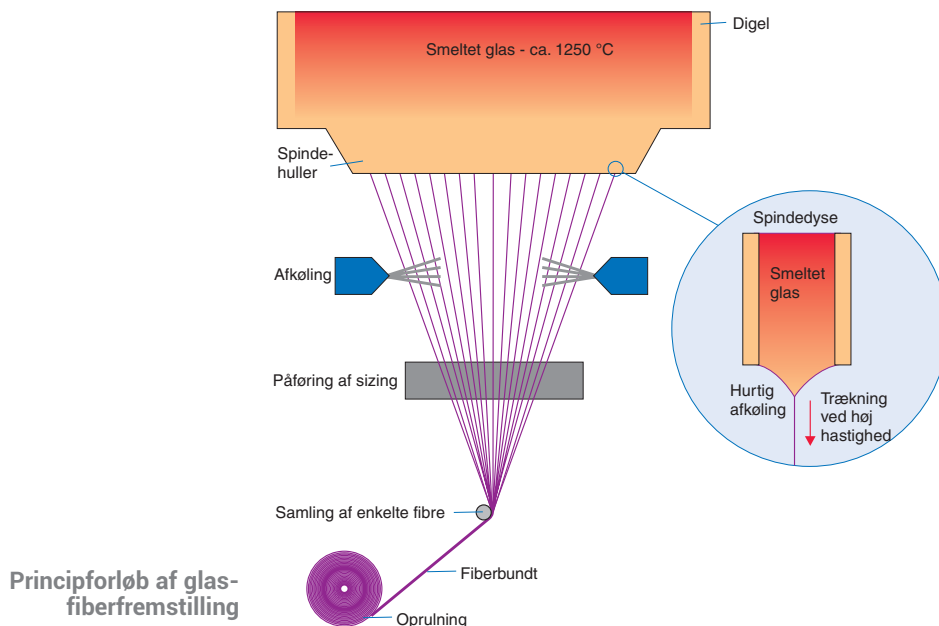




FORSTÆRKNINGS- FIBRE

Glasfiber

Der kendes i dag et stort antal sammensætninger af specialglas, der anvendes til fremstilling af fibre. Af dem har kun tre typer interesse ved forstærkning af umættet polyester, nemlig A-glas, C-glas og E-glas. Betegnelserne refererer til særlige forhold ved de enkelte glastyper. I A-glas er indholdet af alkalimetaller særligt højt, C-glas er særligt kemikaliebestandigt, og E-glas er særligt egnet til elektrisk isolering. En modificeret udgave af E-glas med forbedret bestandighed mod syrer betegnes E-CR-glas. Oprindeligt er ECR glass[®] Owens Corning's registrerede handelsnavn for en glaskvalitet, som de selv har udviklet. E-CR-glas overholder specifikationerne for E-glas, men er frit for bor (B_2O_3) og fluorider.



Glasfibre, der i denne sammenhæng har en diameter på mellem 7 og 13 μm , forarbejdes til flere forskellige produkter, fx:

- Glasfibergarn
- Glasfiberroving
- Glasfibermåtte
- Vævede produkter

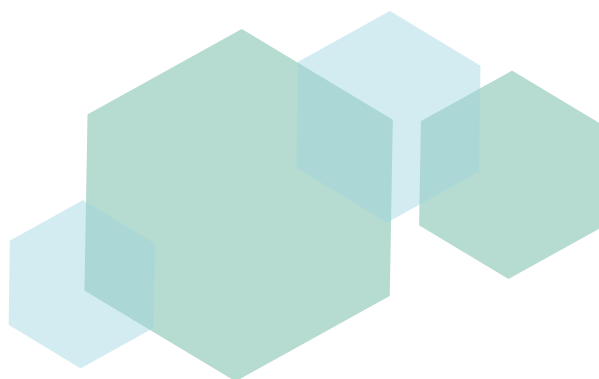
Glasfibergarn består af tvundne fibre. Dette produkt forekommer i en mængde forskellige udgaver. Såvel fiberdiameter som antal sammen-tvundne fiberbundter samt tvindetal kan varieres. Glasfibergarn anvendes direkte ved vikling af emner af glasfiberforstærket polyester eller til vævede glasfiberprodukter.

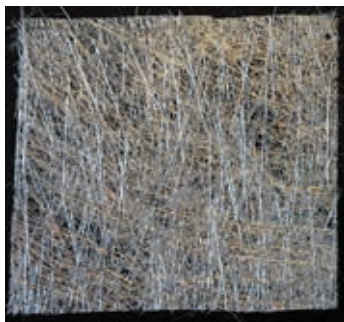
Glasfiberroving er "uendeligt" lange, parallelle fibre. Fiberdiameter og antal af fibre i de enkelte bundter varieres inden for vide grænser. Rovings karakteriseres bl.a. ved tex-værdien, som er vægten i gram af 1.000 m roving; 600, 1.200 og 2.400 tex rovings er standardtyper. Når fibrenes diameter er fastlagt, er tex-værdien altså et udtryk for antallet af (elementar-) fibre i det enkelte bundt. Roving anvendes direkte ved vikling og profil-trækning (pultrudering). Ved sprøjteoplægning hugges rovings i passende længder. Hugne fibre er endvidere mellemprodukt ved fremstilling af glas-fibermåtte, og parallelle rovings kan forarbejdes til vævede produkter.

Glasfibermåtte af hugne fibre fremstilles ved hugning af rovings over et løbende transportbånd. Fiberlængden er oftest 25-50 mm. Fordelingen sker så jævnt som muligt, og der tilsættes et bindemiddel i form af pulver eller emulsion. Ved efterfølgende opvarmning bindes fibrene ved hjælp af bindemidlet til hinanden med tilstrækkeligt stor styrke til, at måtten kan håndteres.

Kemisk sammensætning af A-, C- og E-glas

	A-glas Vægtprocent	C-glas Vægtprocent	E-glas Vægtprocent
SiO_2	72,5	65,0	54,0
Al_2O_3	1,5	4,0	15,0
B_2O_3	0	5,0	8,0
CaO	9,0	14,0	18,0
MgO	3,5	2,0	4,0
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	13,0	8,0	0,6





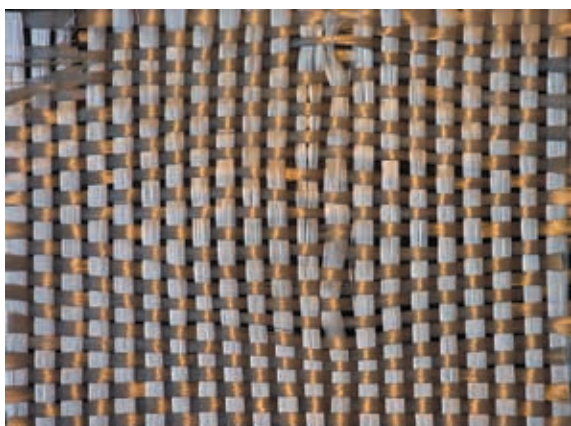
Glasfibernåtte

Til forstærkning af umættet polyester inddeles glasfibernåtter i tre grupper efter arten af det anvendte bindemiddel:

- **Emulsionsbundet nåtte**
Bindemidlet er en emulsion, fx af polyvinylacetat, som er opløselig i polyesteren. Emulsionsbundne nåtter anvendes ved håndoplægning, er velegnede til emner med kompliceret form, men uegnede til produkter, hvor der ønskes stor lysgennemgang.
- **Pulverbundet nåtte**
Bindemidlet er et polyesterpulver, som er opløseligt i styren og dermed i polyesterblandingen. Pulverbundet nåtte anvendes især ved håndoplægning og til fremstilling af korrugerede plader ved kontinuerlig laminering.
- **Pressemåtte**
Bindemidlet er tungt opløseligt eller uopløseligt i polyester. Pressemåtter anvendes ved varm- og koldpresning, men er uanvendelige ved håndoplægning.

Måtter kan også være holdt sammen ved syning med en ganske tynd tråd sædvanligvis af termoplastisk polyester (PET). Mange kombinationsprodukter er ligeledes syet sammen.

Vævet roving



Vævede fiberprodukter

Fibre egner sig på grund af deres geometri til mere sammensatte konfigurationer som væv og nåtter, der kan fremstilles ved traditionelle tekstilteknikker.

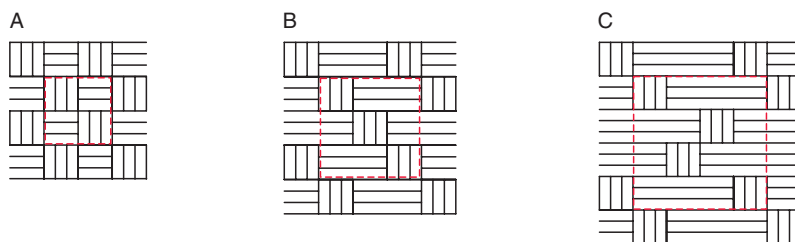
Ved dannelse af væv og nåtter opnås en to-dimensional fiberkonfiguration i modsætning til fiberbundternes éndimensionale natur. Til mange praktiske kompositmaterialer er et todimensionalt fiberarrangement nyttigt og nødvendigt, fordi belastninger på konstruktioner ofte forekommer i flere retninger. Derimod er der sjældnere brug for fiberarrangementer i tre dimensioner, fordi belastninger på komponenter sjældent er betydningsfulde i alle tre dimensioner. Vævede produkter af glasfiberroving benævnes vævet roving eller rovingvæv. Vævede produkter af glasfibergarn som eneste forstærkningsmateriale kaldes glasfiberlærred.

Mønstre

Det vil næsten udelukkende være fiberbundter, som danner grundlag for væv og nåtter. Vævemønstre er mangfoldige ligesom ved tekstilvævning og bestemmer blandt andet vævets evne til at følge (dobbel)krumme flader. En systematisk betegnelse for vævemønstret angiver, hvor mange tråde en given tråd går over og under i vævningen; jo oftere tråden går over og under de andre tråde, desto mere "stabil" bliver vævet; til gengæld bliver det mindre egnet til at følge krumme flader; det siges at have mindre drapérbarhed. Det stabile væv sikrer placering og orientering af vævets fiberbundter. Det drapérbare væv tillader placering på krumme flader.

Eksempler på væv med forskellige bindinger (vævemønstre)

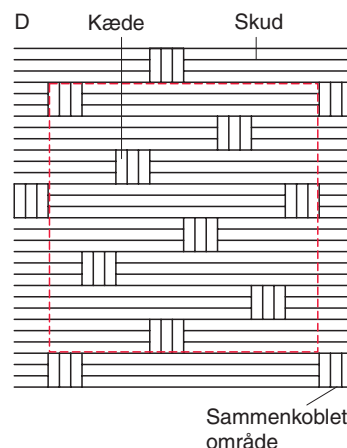
- A Simpelt væv
- B Kiper-væv
- C Specialvæv
- D 8-satinvæv, flytningstal = 3



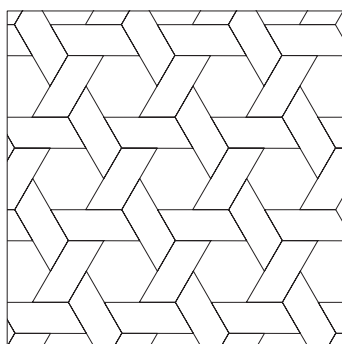
En særlig type todimensionale fiberarrangementer er måtter med fibre, der er placeret i alle mulige retninger (tilfældig orientering) og ikke er vævet sammen. Denne type måtte af glasfibre er meget brugt og fremstilles dels af korte fibre og kaldes da på engelsk "chopped strand mats" (CSM), dels af kontinuerte fibre. I CSM-måtter er de korte fibre lige. I kontinuerte måtter er de meget lange fibre ofte krumme i måttens plan.

De fleste væv har to hovedretninger, som oftest er vinkelrette på hinanden: orientering $0^\circ/90^\circ$. Retningerne kaldes kæde og skud svarende til tekstilterminologien. I en række væv findes dog flere fiberretninger, typisk tre, med orienteringer $0^\circ/60^\circ/120^\circ$. Disse benævnes triaksialt væv.

Nogle væv har yderligere fibre i den tredje dimension, dvs. vinkelret på vævets plan. Disse fibre tjener til at holde vævet sammen og til at give styrke til kompositmaterialet vinkelret på fx en plades plan. En skematisk oversigt over fiberarrangementer er vist i tabellen på næste side.



Triaksialt væv



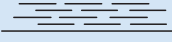

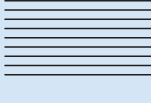
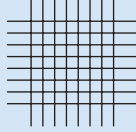
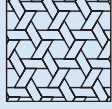
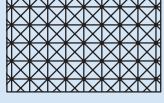
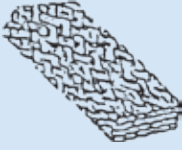
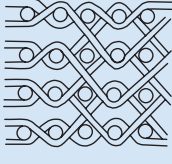
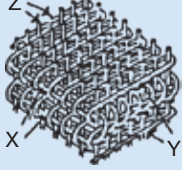
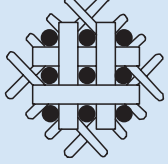
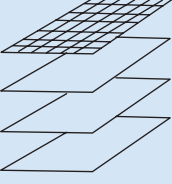
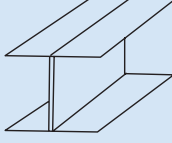
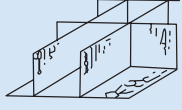
Mængder og retninger

De enkelte fiberbundter, som placeres i en given retning, vil normalt have samme størrelse (målt som N (antal fibre i et bundt) eller texværdi (massen i gram af 1000 m fiberbundt)). Men i de to, evt. flere, forskellige retninger i vævet kan bundtstørrelsen være forskellig. Hvis bundterne i forskellige retninger er ens, kaldes vævet balanceret. De fleste praktiske væv er af denne type. Hvis der er forskel i bundtstørrelse, kaldes vævet ubalanceret. Af disse findes der en del, ofte til specialanvendelser. Væv med fibre i to retninger kaldes biaksiale, i tre retninger triaksiale, i fire retninger quadroaksiale og så fremdeles.

Et eksempel er væv i form af uendeligt lange bånd af typisk 20 cm's bredde, hvor ca. 90 % af fibre er placeret på tværs af båndet, mens de resterende 10 % af fibre er placeret på langs og udgør en slags bæretårde for båndet. Det anvendes typisk til vikledede komponenter, hvor båndet efter vikling på en cylindrisk eller konisk dorn giver fibre, som for de 90 %'s vedkommende er placeret på langs af komponenten og dermed giver den stivhed og styrke på langs. Et praktisk eksempel er vinger til vindmøller, som har lange, svagt koniske, bærende bjælker eller rør inden i den aerodynamiske skal.

Beskrivelse af de enkelte retninger i væv kan ske ved angivelse af vægtmængde pr. breddeenhed fx:

Retning 1: w_1 g/cm
Retning 2: w_2 g/cm

Fiberarrangement og -mønstre						
Retning	0	1	2	3	4 ~	
Dimension	Tilfældig	En retning	To retninger	Tre retninger	Mange retninger	
Endimensional						
		Garn-bundt				
Todimensional						
	CSM-måtte	Prepreg	Væv	Triaksialt væv	Multiaksialt væv Strikket væv	
	Tredimensional	Lineært element				
			Tredimensionalt fletværk	Flerlagsvæv	Triaksialt og tre-dimensionalt væv	Multiaksialt og tredimensionalt væv
			Plant element			
Laminat				Bjælke	Bicelle-elementer	

Tillige kan brudlasten af en vis bredde benyttes:

Retning 1: P1 N/cm

Retning 2: P2 N/cm

Kombinationer

Ud over de "rene" væv med givet mønster og given retningsfordeling og -mængde forekommer der kombinationer af væv.

Den ene type opstår ved sammenlægning af to (eller flere) væv til så-kaldte kombinationsvæv eller kombinationsmætter. Det kan fx være et balanceret væv, som lægges sammen med en måtte med tilfældigt orienterede fibre. Kombinationen kan yderligere være syet sammen med fibre i den tredje retning, vinkelret på vævets plan.

Den anden type kombination opstår ved brug af to eller flere typer fibre i samme væv. Sådanne systemer af flere typer fibre kaldes ofte hybridsystemer. Interessen for disse skyldes dels de mange mulige egen-

skabskombinationer, dels de aktuelle prisforhold. Hybridvæv er især tilgængelige med glas-, carbon- og aramidfibre. De parametre, som påvirker kombinationerne, er vist skematisk i tabellen herunder.

Egenskaber af fibervæv med flere fibertyper			
	Glas	Carbon	Aramid
Stivhed	Lav	Høj	Middel
Styrke	Høj	Høj	Høj/Lav*
Brudsejhed	Middel	Lav	Høj
Slagsejhed	Middel	Lav	Meget høj
Pris	Lav	Høj	Middel

* Trækstyrke høj, men trykstyrke lav

Disse kvalitative niveauer er en første vejledning til fibrenes betydning for de resulterende egenskaber af kompositmaterialer; for aramidfibre er trækstyrken høj, men trykstyrken lav.

Kombinationen i hybridvæv kan være blanding af fibrene på flere niveauer:

- Fiber/fiber-blanding i de enkelte bundter
- Bundt/bundt-blanding i de enkelte lag
- Lag/lag-blanding i de enkelte kombinationsvæv

Af disse er bundt/bundt-blandingen den mest almindelige, fordi de enkelte fibre allerede foreligger som bundter, der således let kan placeres side om side ved fremstilling af væv.

Orientering

Ved brugen af væv i kompositmaterialer kan egenskaberne styres dels gennem valg af vævstype, dels gennem placering og orientering af vævet i forhold til de ydre belastningsretninger. Følgende muligheder foreligger:

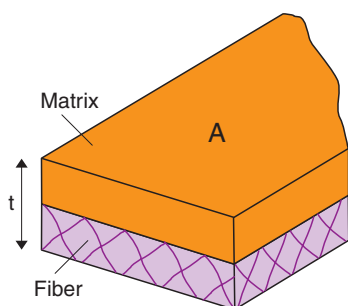
- En (hoved-)fiberretning parallel med belastningsretningerne
- Fiberretninger i en vinkel til belastningsretningerne
- Placering på krumme flader, hvor fiberorienteringen ændres jævnt fra sted til sted

Parametre

Beskrivelse af væv og måtter sker ved en række geometriske parametre. Bredden af væv og måtter er normalt bestemt af fabriktionsforløbet og er typisk fra nogle få centimeter til nogle meter. Længden er i praksis principielt uendelig.

En vigtig parameter er vægten pr. arealenhed, som ofte er angivet i g/m^2 . Relationen mellem arealvægten og det færdige kompositmateriale er vist i skitsen på figuren til venstre.

Her er t tykkelsen af det enkelte lag komposit, som hører til et lag væv. Idet v_f er volumen af fibrene, og v_{total} volumen af det færdige lag, er V_f volumenandelen af fibre i det færdige lag og i kompositmaterialet. Sammenhængen mellem parametrene fremgår af følgende formel:



Skitse af matrix og fibre til brug ved beregning af sammenhæng mellem arealvægt af fibre, lagtykkelse og volumenandel af fibre.



$$V_f = \frac{v_f}{v_{\text{total}}} = \frac{w_f/\rho_f}{A \times t} = \frac{w_f}{A} \times \frac{1}{t \times \rho_f}$$

Her er w_f/A arealvægten (i fx g/m^2) af fibervævet, t er tykkelsen af det resulterende lag, og ρ_f er massefylden af fibre.

Lagtykkelsen, t , beregnes derfor af udtrykket:

$$t = \frac{w_f}{A} \times \frac{1}{V_f \times \rho_f}$$

$$t = \frac{\text{arealvægt (g/m}^2\text{)}}{V_f \times \rho_f \text{ (g/cm}^3\text{)} \times 1.000} \text{ mm}$$

Som eksempel giver en måtte af glasfibre med arealvægt 450 g/m^2 og volumenandel 30 % en lagtykkelse på:

$$t = \frac{450}{0,3 \times 2,5 \times 1.000} = 0,60 \text{ mm}$$

Den samlede tykkelse af et laminat bliver:

$$T = \text{sum af } t = n \times t$$

hvis der er n ens lag i kompositlaminatet.

Fibre som preform

Ud over de mange typer væv og kombinationer af væv og måtter fremstilles der såkaldte preforms (forforme). De er fiberarrangementer, som normalt ikke er vævet, men hvor en anden geometri og/eller et bindemiddel holder de (tørre) fibre i position i preformen, inden matrixen tilføjes ved den egentlige fremstilling af kompositmaterialet.

Eksempler på preforms er specialfaconer med korte fibre, som er tilfældigt orienteret. Faconen kan fx være en ring til lokal kantforstærkning af en cirkulær plade. Preforms med lange fibre kan fremstilles ved vikling og vil typisk indeholde lange, ensrettede fibre. Viklingen kan ske over en plade eller et rør.

Endnu er preforms med skræddersyet facon relativt nye, og derfor er de kun lidt undersøgt med henblik på fremstillingsteknologi. Forskellige muligheder for at fremstille forformede fiberemner ved strikning er også til stede.

Halvfabrikata

De enkelte fibre i særdeleshed og bundter af fibre i en vis udstrækning er ofte vanskelige at håndtere i deres foreliggende form. Specielt er etablering af den nødvendige (mekaniske) binding til matrixmaterialet en svær opgave, der ofte vil kræve speciel, kemisk indsigt.

For at lette på disse forhold findes der en hel industri af mellemfremstillere, som håndterer de ”rå” fibre og leverer et egnet halvfabrikat til den egentlige fremstiller af enten kompositmaterialet eller den færdige komponent.

Mellemfremstillernes hovedopgave er at arrangere fibre (fiberbundter) i et ønsket og egnet arrangement og at tilføre den nødvendige polymermatrixmængde samt om muligt at sikre god binding mellem fibre og matrix.

De forhold, som bestemmer art og udseende af halvfabrikata, er omtalt i det følgende. Selve fibertypen anses for at være udgangspunktet; og valg af denne baserer sig – som tidligere omtalt – blandt andet på fibrenes natur og egenskaber.

Fibergeometri

Fibrene kan være korte eller lange ifølge den beskrivelse, som baserer sig på deres absolutte længde. Korte fibre er 1-10 mm, mens lange fibre ofte er principielt uendeligt lange eller kontinuerte. Der er en udvikling i gang mod at anvende korte fibre af større længde, 10-100 mm, for at øge det færdige kompositmateriales mekaniske egenskaber.

Fiberarrangement

De mulige fiberarrangementer afhænger af fiberlængden. Med korte fibre vil arrangementet ofte være tilfældig orientering i to eller tre dimensioner. Det er muligt at fremstille halvfabrikata med orienterede, ensrettede, korte fibre, men det gøres ikke i praksis.

Med lange fibre er det muligt at fremstille arrangementer med ensrettede fibre og arrangementer med flere orienteringer. De ensrettede arrangementer er meget udbredte og er vigtige, fordi de danner gode ”bygge-sten” til komplekse laminaer opbygget af flere lag – hvert med deres individuelle fiberorientering. Disse halvfabrikata er også udbredt, fordi de direkte ved slutfremstillingen giver et kompositmateriale med flere fiberretninger.

Den almindelige betegnelse for halvfabrikata med lange, ensrettede fibre er *prepreg*. Ordet kommer af det engelske ”pre-impregnated” og dækker over, at fibrene er forimprægneret med den (nødvendige) mængde matrixmateriale.

Matrixmængde

Den anden del af halvfabrikata udgøres af matrixpolymeren. Den tilføres normalt i en mængde svarende til den ønskede mængde i kompositmaterialet, dvs. den bestemmes af den ønskede fibervolumenandel. Mængden af matrix er normalt angivet som vægtandel, fordi vejning er en velegnet og nøjagtig kontrolmetode. I kompositmaterialer er egenskaber bestemt af volumenandel.



Fiber/matrix-binding

Ud over at mængden af matrix skal tilføres, skal også om muligt bindingen mellem matrix og fiber etableres. Der er således relativt klare ønsker til bindingen, men de kan være vanskelige at realisere. Uanset hvornår i det samlede procesforløb bindingen skabes, er den kompleks og ofte baseret på specialistviden, som i de fleste tilfælde ligger hos fabrikanten af fibre eller halvfabrikata.

For matrixpolymerer af hærdeplasttypen, fx epoxyplast, er bindingen mellem fibre og matrix etableret ved fremstillingen af prepreg-baner. Polymeren er i delvis hærdet tilstand og færdighærdes under den afsluttende fremstilling af kompositmaterialet.

For matrixpolymerer af termoplasttypen, fx PEEK (polyetheretherketon), er bindingen også etableret i prepreg- eller tape-banerne, og ved fremstilling af kompositmaterialet smelter og (gen)størkner polymeren.

For termoplastmatrix i halvfabrikata af typen "filmix" er fibertråde og matrixtråde "blandet" i selve bundtet og er typisk uden kemisk kontakt. Først ved fremstillingen, hvor matrixpolymertrådene smeltes, etableres kontakten og dermed bindingen mellem fibre og matrix.

Oversigt

Med de foran nævnte muligheder er der et meget stort antal halvfabrikata, og der findes på markedet mange kombinationer af fibre, arrangementer og matrixer.

En oversigt er givet i tabellen herunder, hvor karakteristiske typer er anført.

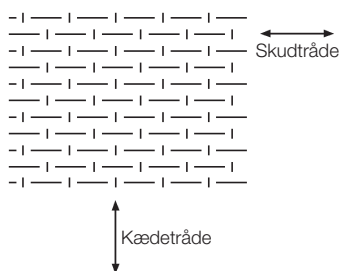
Halvfabrikata af fibre og matrix					
Halvfabrikat	Fibertype	Fiberlængde	Fiberarrangement	Matrix	Binding +/-
Granulat	Glas	Kort	Tilfældig	Termoplast	+
Premix	Glas	Kort	Tilfældig	Termoplast	+
Prepreg	Glas Carbon Aramid	Lang	Ensrettet	Hærdeplast	+
Prepreg (tape)	Carbon Aramid	Lang	Ensrettet	Termoplast	+
Prepreg (væv)	Glas Carbon Aramid	Lang	Væv	Hærdeplast	+
Prepreg	Carbon Aramid	Lang	Væv	Termoplast	+
Filmix	Carbon	Kort/Lang	Ensrettet	Termoplast	-
Blandet	Carbon	Lang	Ensrettet	Termoplast	-
Væv	Carbon	Lang	Væv	Termoplast	-

Tekstilteknologi

De mange væv og måtter opbygget af fiberbundter er udformet efter de samme principper, som anvendes til tekstiler. En kort omtale af nogle aspekter fra tekstilteknologien hjælper til forståelse af udformning af og muligheder for fibervæv og fibermåtter.

Det simple grundprincip for planvævning er to sæt tråde (fibre eller fiberbundter), som kobles sammen ved skiftevis at passere over og under

Simpelt væv med fiberbundter, som har passage "over én og under én"



hinanden, normalt i to retninger vinkelret på hinanden. Det resulterende væv eller tekstil har normalt en længderetning og en vis bredde. Trådene i længderetningen kaldes *kædetråde*, og de tværgående tråde kaldes *skudtråde*.

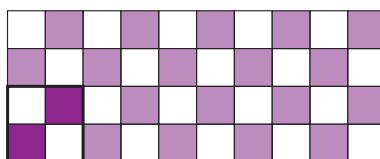
Tekstilparametre

Symbol	Dansk	Engelsk
n_k	Kædetråde Den enkelte kædetråd	Warp End
n_s	Skudtråde Den enkelte skudtråd	Weft Pick
n_v	Vævetal	Weave number
n_f	Flytningstal	Move number, step number
■ (■)	Kæde over skud	End over pick = warp up
□	Skud over kæde	Pick over end = weft up

Simpelt væv (plain weave)

Det simpleste væv dannes, ved at kæde- og skudtråde går "over én og under én". Til skematisk og simpel optegnelse af vævemønstre benyttes kvadreret papir og symbolerne i ovenstående tabel for "kæde over skud" og "skud over kæde".

Vævetallet er $n_v = 2$, $n_k = 1$ og $n_s = 1$. Flytningstallet er $n_f = 1$. Disse betegnelser er omtalt i ovenstående tabel og har ikke særlig nytte for simpelt væv; men for de følgende mere komplicerede mønstre er de nyttige



Simpelt væv med væveparametre:

$n_k/n_s = 1/1$; $n_f = 1$

De mørkelilla felter indgår i repetitionsenheden for mønsteret, mens de lyse felter viser mønsteret i dets udstrækning og gentagelse.

ved beskrivelse og sammenligning af væv.

Kiper-væv (twill weave)

Ved at ændre på vævelængden og væverækkefølgen kan der dannes andre og mere komplicerede mønstre. Vævetallet $n_v = 3$ og 4 fører til såkaldte kiper-væv, som alle har flytningstallet $n_f = 1$. Kædetallet og skudtallet kan være 1, 2 og 3.

De mulige mønstre er vist i efterfølgende figurer, og de relevante parametre er anført i tabellen herunder. Det karakteristiske for kiper-væv er de diagonale linjer, som dannes af de farvede og hvide felter, og som skyldes, at kædetråden går over skudtråden.

For kiper-væv er mængden af kædetråde, som er synlige på oversiden af vævet, i forhold til mængden af skudtråde, som ses, angivet ved parameteren "dækning"(tabellens sidste søjle).

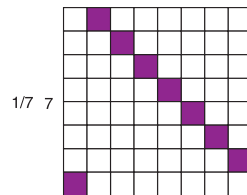
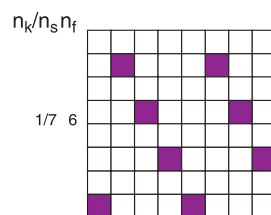
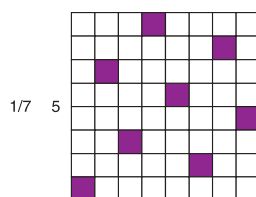
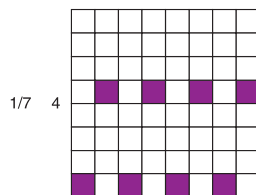
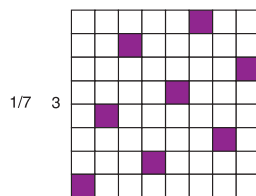
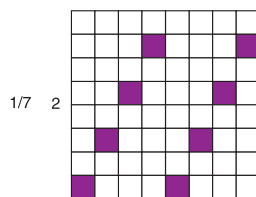
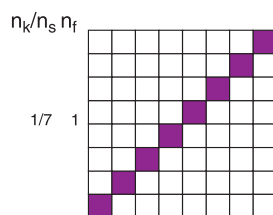
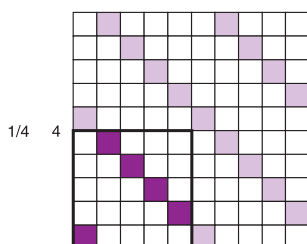
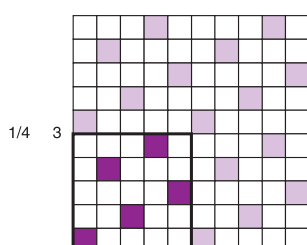
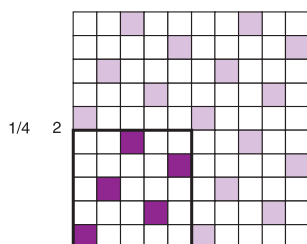
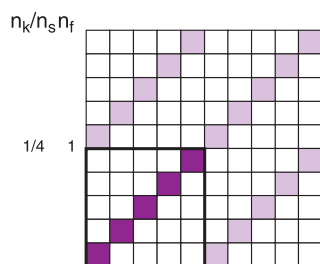
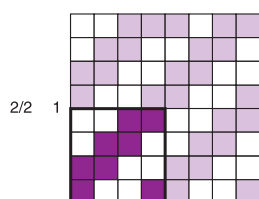
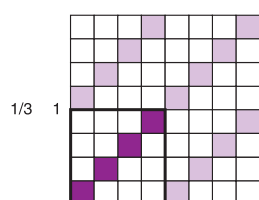
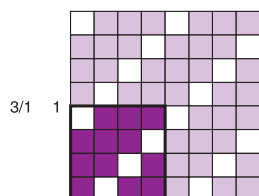
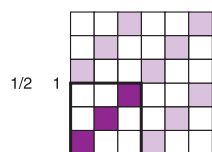
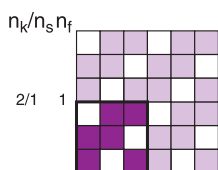
Vævemønstre og deres parametre							
Dansk	Navn	Vævetal	Enhedsareal	Kædetal	Skudtal	Flytningstal	Dækning
	Engelsk	n_v	n_v^2	n_k	n_s	n_f	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
Simpelt væv	Plain weave	2	4	1	1	1	1/1
Kipervæv	Twill weave	3	9	2	1	1	6/3
		3	9	1	2	1	3/6
		4	16	3	1	1	12/4
		4	16	1	3	1	4/12
		4	16	2	2	1	8/8
5-satin	5-sateen weave	5	25	1	4	2	5/20
(atlask)		5	25	1	4	3	5/20
8-satin	8-sateen weave	8	64	1	7	3	8/56
(atlask)		8	64	1	7	5	8/56

Satin-væv (atlask) (sateen weave)

Med denne væv-type tilstræbes en glat overflade og så lidt kiper-effekt som muligt. Vævelængden og væverækkefølgen varieres som ved kiper-vævning, men udføres med andre værdier af væveparametrene. Specielt er flytningstallet 1 udelukket, da det giver kiper-mønster.

Der er principielt mange muligheder for at lave satin-væv, men en stor del kan ikke bruges eller bliver ikke brugt af følgende årsager: Nogle mønstre fører til en moderat kiper-effekt, nogle mønstre efterlader et antal tråde uden støtte i form af sammenkobling med de krydsende tråde. Som eksempel på satin-væv af praktisk interesse anføres 5-satin-væv og 8-satin-væv. De brugbare typer er anført i ovenstående tabel.





Kipervæv (twill weave) med væveparametre og skitser af mulige vævmønstre

5-satin-væv (atlas) med væveparametre og skitser af mulige vævmønstre

De fire mulige 5-satin-væv med de tilhørende flytningstal. For $n_f = 1$ og 4 fås kiper-væv, som er hinandens spejlbilleder. For $n_f = 2$ og 3 fås egentlige 5-satin-væv, som også er hinandens spejlbilleder

8-satin-væv (atlas) med væveparametre og skitser af mulige vævmønstre

De syv mulige 8-satin-væv med de tilhørende flytningstal. For $n_f = 1$ og 7 fås kiper-væv, som er hinandens spejlbilleder. For $n_f = 2$ og 6 fås væv med nogen kiper-effekt og samtidigt med hver anden skudtråd uden krydsningskobling til kæde tråde. For $n_f = 4$ fås et ubrugeligt væv, idet tre ud af fire skudtråde er uden krydsningskobling til kæde tråde. For $n_f = 3$ og 5 fås de to eneste egentlige og brugbare 8-satin-væv, som tillige er hinandens spejlbilleder

Vævet roving finder udstrakt anvendelse til forøgelse af trækstyrken i kombination med glasfibernåtte. Glasfibernåtte og vævet roving forhandles efter arealvægt, normalt i ruller af standardbredde. Typiske arealvægte for glasfibernåtte er 225, 300, 450, 600, 900 og 1.200 g/m² og for balancerede rovingvæv 600 og 800 g/m².

Foruden de her omtalte glasfiberprodukter findes en række specialprodukter fx løse fibre (glasfiberflock) til fremstilling af spartelmasse, og kombinationsmåtter, hvori et væv og en nåtte er bundet sammen. Der findes også tredimensionale væv og produkter, som holdes sammen ved syning i stedet for med et bindemiddel.

Overfladebehandling af glasfiber

For at forbedre vedhæftningen mellem glasfiber og plastharpiks i kompositmaterialet behandles glasfibre termisk eller kemisk på overfladen. Til anvendelse i glasfiberforstærket polyester er kemisk behandling med silanforbindelser almindelig. Silaner er stoffer, der populært sagt er uorganiske i den ene ende af molekylet og organiske i den anden. Den uorganiske ende er bygget op meget lig glas og vil derfor have god vedhæftning til glasfibres overflade. På lignende måde hæfter den organiske ende sig godt til plast.

Man anvender ofte udtryk som *size*, *sizing* og *finish* for den kemiske overfladebehandling af glasfibre. Foruden vedhæftningsforbedrende stoffer indeholder overfladebehandlingen stoffer, der beskytter fibrene mod mekanisk overlast ved forarbejdningen af de nytrukne fibre til produkter (måtter, væv osv.).

Carbonfiber

Kemisk set består carbonfibre af amorft kul i en krystallinsk grafitstruktur. Graden af grafitisering vokser med den endelige procestemperatur under fiberens fremstilling. Graden af grafitisering er bestemmende for fibrenes styrke- og stivhedsegenskaber.

Carbonfibre kan fremstilles ud fra et spektrum af udgangsmaterialer, hvoraf tre har dominerende betydning. Fælles for dem er, at de har et stort indhold af carbonatomer, og at alle andre atomer fjernes ved varmebehandling ved høje temperaturer.

Rayon-processen

Under trinvis opvarmning af rayonfibre (kunstsilke) i inert atmosfære til temperaturer omkring 2.750 °C strækkes enkeltfibrene, så de ellers uordentligt arrangerede grafitlag ensrettes i samme retning som fibrenes akse. Herved skabes fibrenes høje elasticitetsmodul og deres høje brudstyrke.

PAN-processen

Ud fra polyacrylnitril, som er en syntetisk polymer, dannes carbonfibre gennem en flertrinsproces, hvorunder andre atomer oxideres (brændes) væk ved temperaturer op til omkring 3.000 °C.

Beg-processen

Den nyeste proces involverer spinding og termisk nedbrydning af en flydende mellemfase af kultjærebeg. Der er også her tale om en flertrinsproces, der ender med carbonisering ved op til 3.000 °C.

I tabellen herunder vises typiske egenskaber af de repræsentative klasser af carbonfibre.



Sammenlignelige egenskaber af carbonfibre			
Egenskab (Enhed)	Rayon	PAN	Beg
Trækbrudstyrke (MPa)	2.400	3.000	1.550
Elasticitetsmodul ved træk (MPa)	500	300	380
Forskydningsstyrke (MPa)			
- ubehandlet	28	50	42
- behandlet	55	90	69
Massefylde (kg/m ³)	1.700	1.800	2.000
Brudtøjning (%)	-	0,6-1,2	1
Fiberdiameter (µm)	6,5	7,5	-

Prepregs

Carbonfibre anvendes til forstærkning af især epoxyplast. I form af vævede produkter imprægneres carbonfibre i stor udstrækning i samme proces, som slutproduktet fremstilles ved. Som mellemprodukt forimprægneres parallelle carbonfibre med forpolymeriseret epoxyharpiks - de såkaldte prepregs - som ved emnefremstillingen, især af plane og svagt kurvede emner, hærdes under varme og tryk, især ved autoklavering.

Fiberdiameter

Enkeltfibrene har typisk en diameter mellem 6 og 10 µm. De er - ligesom glasfibre - vanskelige at håndtere uden beskadigelse. Fibrene samles til bundter med mellem 1.000 og 320.000 enkeltfibre med tilsvarende egenskabsvariationer.

Hybrider

Carbonfibre forekommer ofte i kombinationsprodukter sammen med glasfibre og/eller aramidfibre til hybrider. Derved kombineres de forskellige fibermaterialers egenskaber, så man i høj grad kan skabe slutprodukter med "skræddersyede" egenskabsprofiler.

Aramidfiber

Aramidfibre fremstilles ud fra en særlig syntetisk polymer (poly-p-phenylenterephthalamid) ved en spindeproces i koncentreret svovlsyre. Ved hurtig afkøling opstår en krystallinsk kerne omgivet af en amorf skal. Efter rensning og tørring strækkes fibrene ved kort tids opvarmning til ca. 550 °C. Derved opnås stærkt ensrettede molekyllæder resulterende i en stiv fiber.

Aramidfibre er udviklet af den amerikanske kemikaliekoncern DuPont de Nemours International og blev kommersielt tilgængelige i begyndelsen af 1970'erne. Aramidfibre udmærker sig ved særligt lav massefylde og deraf følgende fremragende specifikke styrke- og stivhedsegenskaber.

Ligesom glas- og carbonfibre er aramidfibre tilgængelige i form af bundter, rovings og væv. Aramidfibre er let genkendelige på den karakteristiske gule farve.

Aramidfibre er utroligt seje og kan derfor kun skæres og klippes over med specialværktøj.

Typiske egenskaber af aramidfibre

(Kevlar 49)

Trækbrudstyrke (MPa)	3.620
Elasticitetsmodul ved træk (MPa)	124.000
Massefylde (kg/m ³)	1.440
Fiberdiameter (µm)	11,9
Længdeudv.koefficient (× 10 ⁻⁶ /°C)	
- i fiberretningen	-2,0
- på tværs af fiberretningen	59

Egenskaber af glas-, carbon- og aramidfibre

I tabellen herunder vises karakteristiske forhold ved fremstilling af de forskellige fibre og den deraf følgende indflydelse på omkostningerne.

Karakteristiske fremstillingsforhold ved forskellige fibermaterialer					
Fiberart	Udgangsmateriale	Trækproces	Temperatur (°C)	Træk-hastighed	Omkostnings-niveau
E-glas	Kvartssand og flusmiddel	Smelte	1.400	Høj	Lavt Indeks = 1
Carbon	a) PAN-fiber b) Beg	Oxidation Carbonisering Grafitisering	200-300 800-1.500 2.000-3.000	Meget lav	Meget højt Indeks: HM 80-130 * HT 25-50 * IM 50-80 *
Aramid	Polymer i opløsning	Opløsning	–	Middel	Højt Indeks = 20

* HM = high modulus; HT = high tensile strength; IM = intermediate type

Når fibermaterialernes egenskaber skal vurderes, må deres kemiske opbygning og struktur tages i betragtning.

Glas er et keramisk materiale. Glasfibrestrukturen er amorf og isotrop, hvilket vil sige, at de ikke har krystallstruktur, og at egenskaberne er ens i alle retninger.

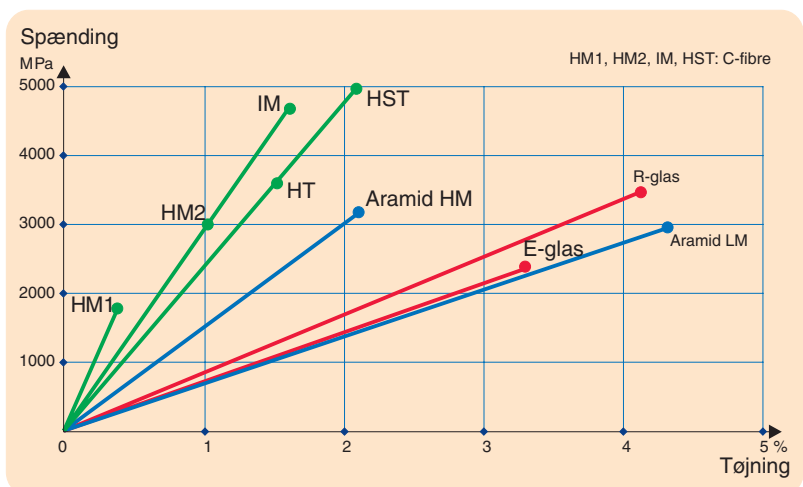
Carbonfibre kan, som tidligere nævnt, betragtes som bestående af amorft kul i en krystallinsk grafitstruktur, som i en eller anden grad er orienteret i fibreens retning.

Aramidfibre er stærkt orienteret. Aramid er en syntetisk, organisk polymer.

De mekaniske egenskaber af fibre afspejler deres opbygning og de variationsmuligheder, der er praktisk opnåelige.

Bemærk i tabellen, at længdeudvidelseskoefficienten af carbon- og aramidfibre er forskellig i fiberretningen og på tværs af den; den er oven i købet negativ i længderetningen. Dette forårsages naturligvis af disse fibres stærkt orienterede struktur. Til sammenligning er glasfibrestrukturen udvidelseskoefficient ens i alle retninger, fordi de er amorfe.

Arbejdslinjer for forskellige fibermaterialer (spændings-tøjningsdiagrammer)



Fiberegenskaber									
Fysiske egenskaber af glas-, carbon- og aramidfibre									
Fibertype	Massefylde	Trækbrudstyrke	Elasticitetsmodul ved træk	Brudtøjning	Længdeudvidelseskoefficient	Varmeledningssevne	Dielektricitetskonstant	Specifik modstand	Fugtoptagelse ved 20 °C og 65 % rf
	kg/m ³	MPa	10 ³ MPa	%	10 ⁻⁶ /°C	W/m x °C	ε	Ωcm	%
E-glas	2.540	2.400	73	3,8	5	1	6,1-6,7	10 ¹⁴ -10 ¹⁵	≤ 0,1
Carbon HM1	1.960	1.750	500	0,35	-1,5	-	Ledende	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	≤ 0,1
Carbon HM2	1.800	3.000	300	1,0	-0,2	115	Ledende	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	≤ 0,1
Carbon HT	1.780	3.600	240	1,5	-0,5	17	Ledende	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	≤ 0,1
Carbon HST	1.750	5.000	240	2,1	-0,1	17	Ledende	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	≤ 0,1
Carbon IM	1.770	4.700	295	1,6	-	-	Ledende	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	≤ 0,1
Aramid HM	1.450	3.000	130	2,1	-2	0,04-0,05	2,5-4,1	10 ¹⁵	~ 3,5
Aramid LM	1.440	2.800	65	4,3	-	-	-	10 ¹⁵	~ 7,0

rf relativ fugtighed

I fiberretningen
J På tværs af fiberretningenIM Intermediate type
LM Low modulusHM High modulus
HT High tensile strength
HST High strain

Elektrisk og termisk ledningsevne

Carbonfibre skiller sig ud fra de øvrige ved at være elektrisk ledende og ved at lede varme betydeligt bedre.

På grund af deres organiske karakter kan aramidfibre ikke bevare deres styrke og stivhed ved nær så høje temperaturer, som glasfibre og carbonfibre kan.

Fugtoptagelse

En ulempe ved aramidfibre er deres høje fugtoptagelse, som blandt andet betyder, at de i visse forarbejdningsprocesser må for tørres. Bestandigheden mod nedbrydning af solens ultraviolette stråler er også ringere for aramidfibre end for glas- og carbonfibre.

Kemisk bestandighed

Den kemiske bestandighed er generelt god for alle tre materialer, dog nedbrydes aramidfibre af stærke syrer og af stærke baser. Det samme gælder for E-glas, mens specialglasser, R-glas, C-glas og E-CR-glas, har betydeligt bedre bestandighed især over for syrer.

Carbonfibre har god bestandighed over for syrer og opløsningsmidler, men er mindre bestandige over for baser.

Korrosion

Da carbonfibre er elektrisk ledende, vil der kunne opstå galvanisk korrosion, hvor carbonfibre kommer i berøring med metaller.

Således vil aluminium, aluminiumlegeringer og magnesiumlegeringer korrodere, og derfor skal disse metaller altid elektrisk isoleres fra carbonfiberkompositter.

Plettering med cadmium, zink og aluminium vil ligeledes hurtigt nedbrydes.

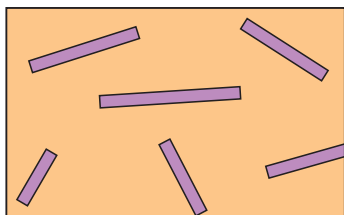
Plettering med sølv, chrom og nikkel er i sig selv korrosionsbestandig i kontakt med carbonfibre, men er ikke tilstrækkeligt til at beskytte stål mod korrosion.

Visse stållegeringer som CRES-legeringer og andre austenitiske og halvaustenitiske legeringer samt kobber/nikkel-legeringer (monel) udgør grænsetilfælde. I stærkt korrosive miljøer vil de næppe kunne anbefales uisolere fra carbon. Der må tages særskilt stilling i hvert enkelt tilfælde.

De fleste cobolt-, nikkel- og titanlegeringer korroderer derimod ikke i kontakt med carbonfibre.

PLASTBASEREDE KOMPOSIT- MATERIALER

Kompositmaterialer består af fibre indlejret i en matrix



At fremstille konstruktionsmaterialer ved at binde stærke og stive materialer sammen med et bindemiddel er slet ikke nyt i menneskets historie. Tænk bare på lerklinede hytter; byggematerialet er strå sammenholdt af tørret ler - et kompositmateriale. Jernbeton består af jernstænger sammenholdt af beton. I naturen forekommer også kompositmaterialer. Træ er et kompositmateriale, idet det overordnet set kan betragtes som cellulosefibre sammenholdt af limstoffet lignin.

Kompositmaterialer i den normalt anvendte betydning - eller afgrænsning - er opbygget af fibre indlejret i en grundmasse, traditionelt kaldet *matrix*.

Kompositmaterialerne udgør en selvstændig gruppe af materialer på linje med metaller og metallegeringer, keramiske materialer og plast. Da kompositterne er sammensatte materialer, trækkes der på de øvrige materialegrupper, når fibre og matrix skal vælges. Det færdige kompositmateriale har karakteristika, som er bestemt af de enkelte dele (fibre og matrix), og de har tillige egenskaber, som er specielle for det sammensatte materiale.

Fibrene er de lastbærende elementer i kompositmaterialet, mens matrixen holder fibrene sammen og tjener til at overføre belastningerne mellem fibrene.

De sammensatte materialer er karakteriseret ved, at fibrene udgør en betydningsfuld del af materialet og ikke kun tjener som fyldstof. Mængden af fibre og af matrix er normalt af samme størrelsesorden, således at volumenandelen af fibre er fra 20 til 60 %.

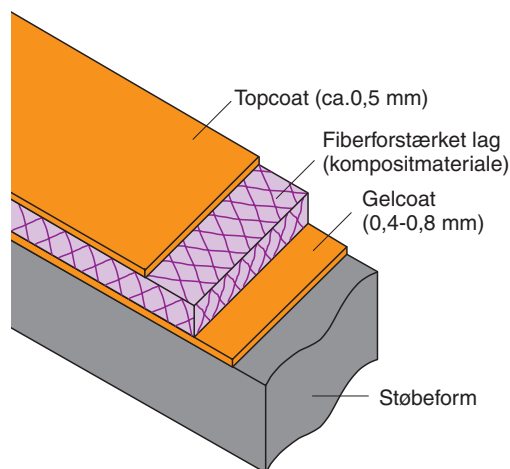
En særlig udbredt form af fiberforstærkede hærdeplastkompositter er laminater. Laminater er principielt todimensionale. Navnet hentyder til, at konstruktionen bygges op lag for lag. Den oprindelige betydning af laminat er et materiale, der består af flere tynde, sammenpressede lag, sådan som det fx forekommer ved laminatplader af phenolplast. At laminere betyder oprindeligt at spalte i tynde lag og at beklæde med et tyndt lag. I moderne kompositterminologi betyder det at fremstille laminater ved opbygning lag på lag.

Glasfiberforstærket umættet polyester (GUP)

Materialegruppen glasfiberforstærket (umættet) polyester består, som navnet antyder, af to hovedkomponenter: glasfibre, der som forstærkningsmateriale leverer materialets styrke- og stivhedsegenskaber, og umættet polyester, der som matrix eller bindemiddel holder sammen på forstærkningen og leverer materialets termiske og kemiske bestandighed.

Desuden indgår der en række hjælpestoffer, hvoraf nogle skal sikre omdannelse af polyestern fra flydende til fast tilstand (hærdning), mens andre giver materialet særlige egenskaber (fx tiksotropi, nedsat brandbarhed og UV-stabilitet).





Principskitse af laminat af fiberforstærket umættet polyester eller epoxyplast

For at beskytte den bærende del af laminater af glas-fiberforstærket polyester mod overlast, eller for at give konstruktionen et dekorativt ydre, forsynes GUP-konstruktioner ofte med særlige overfladelag eventuelt på begge sider. Den glatte side eller forsiden er normalt den side, som har vendt mod støbeformen. Det første uforstærkede lag, der føres på støbeformen, kaldes gelcoat. Når den ønskede tykkelse er opnået, og gelcoaten er stivnet, opbygges den egentlige konstruktion af forstærkningsfibre og plastmatrix. Det sidste beskyttelseslag benævnes topcoat.

Til GUP-konstruktioner anvendes oftest gelcoat og topcoat af umættet polyester eventuelt med tilsætning af specielle fyldstoffer og eventuelt pigment. Figuren viser den principielle opbygning af laminat af fiberforstærket umættet polyester eller epoxyplast forsynet med gelcoat og topcoat.

Egenskaber

Som følge af de mange variationsmuligheder for fiberforstærkning og hjælpestoffer i øvrigt er egenskabspektret meget bredt.

Umættet polyester (UP) i hærde tilstand tåler normalt højere temperatur end de fleste almindelige termoplast. Normalt angives en maksimal anvendelsestemperatur på lidt over 100 °C. Særligt varmestabiliserede typer kan dog tåle op til omkring 170 °C.

På grund af esterbindingerne er polyestere principielt følsomme over for nedbrydning fra varmt vand (hydrolytisk nedbrydning). Denne effekt forstærkes af tilstedeværende syre eller base. Derfor er den højeste anvendelsestemperatur i vand, syrer og baser normalt under 100 °C.

Vandoptagelsen i korrekt fremstillede laminater med veludhærde polyester er forholdsvis lav.

UP kan fremstilles giftfri og uden lugt og smag.

Vejrbestandigheden er ganske god. UP er bestandig over for en lang række kemikalier. Den tåler således mange syrer og svage baser. En række specialtyper er mere kemikaliebestandige end standardtyperne. UP angribes af en række opløsningsmidler.

Egenskaber ved epoxyplastlaminater med 50 volumen-% ensrettede fibre

Egenskab		Enhed	EP/E-glas	EP/R-glas	EP/carbon (HT)	EP/aramid
Massefylde		kg/m ³	1.900	1.870	1.490	1.325
Bøjningsegenskaber i længderetningen	Bøjestykke	MPa	1.110	1.310	1.240	580
	Elasticitetsmodul	GPa	30,3	40,4	95,0	42,6
I tværretningen	Bøjestykke	MPa	71,0	106,3	93,5	32,5
	Elasticitetsmodul	GPa	9,45	11,8	70,0	4,3
Interlaminar forskydningsstyrke		MPa	80,0	86	85,1	42,8
Slagsejhed efter Charpy		J/m ³ x 10 ⁶	9,8	10,6	2,2	9,1
Trykstyrke		MPa	960	1.110	930	191



Stangspringerstang

Under hærdningen sker der en vis volumenformindskelse, dels fordi der forsvinder lidt styren ved fordampning - især ved de åbne processer - og dels som følge af egentlig skrumpning, idet molekylerne må rykke tættere sammen, for at tværbindingerne kan dannes. "Hærdesvindet" er op til 9 %, men i glasfiberforstærkede laminater forsvinder det næsten helt. Dels optages en del af volumen af glasfibrene, dels holder fibrene igen på sammentrækningen. Glasfiberforstærket umættet polyester (GUP) har udmærket formbestandighed.

GUP kan fremstilles med meget stor styrke. Mens trækbrudstyrken af uforstærket UP er 50-60 MPa, er den for GUP med almindelig glasfiber-måtte omkring det dobbelte, men op til det tidobbelte, hvis alle glasfibrene er orienteret i belastningsretningen.



Eyecatcher-bygningen med bærende konstruktion i glasfiberforstærket plast (Fiberline Composites A/S)

Eksempler på anvendelse af glasfiberforstærket polyester

Transportsektoren: Marinefartøjer, erhvervsfartøjer, lystfartøjer, bilkarosserier, fly og flykomponenter, dele af buskarosserier, tankvogne, campingvogne, komponenter til tog, beholdere af enhver art, transportkasser, containere, lastepaller.

Byggeriet: Støbeforme til beton, hele baderum og baderumskomponenter, facadebeklædning, plader og kupler til ovenlys, ventilationskanaler, staldventilation.

Energisektoren: Møllevinger, generatorhuse.

Inventar: Stolesæder, bænke, badekar.

Kemisk industri: Procesanlæg, syrekar, tanke, røggaskanaler til afsvovlingsanlæg, skorstene, belægninger på stål- og betonoverflader.

Elektroindustri: Udendørs lysarmaturer, dele til højspændingsafbrydere, plader til trykte kredsløb.

Sportsartikler: Fiskestænger, springstænger, overliggere, ski, styrthjelme, skafter til golfkøller.

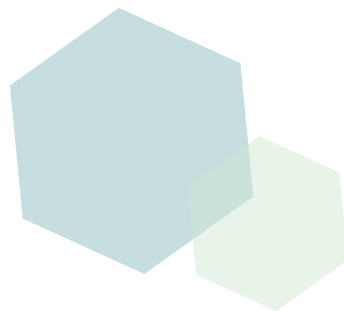
Umættet polyester anvendes desuden blandt andet til kunstmarmor (polyesterbeton) og spartelmasser med forskellige, mineralske fyldstoffer.

Vindmøllevinger (LM Glasfiber A/S)





GENANVENDELSE OG BORTSKAFFELSE



Genanvendelse af materialer og produkter har til formål dels at reducere mængden af affald, der forbrændes eller deponeres, og dels at spare ressourcer.

I de senere år har der fra politisk hold både nationalt og internationalt været stigende fokus på disse aspekter.

Genanvendelse har således været en del af den officielle danske politik, siden miljøbeskyttelsesloven blev vedtaget i 1973. Det er nu i Danmark en erklæret politik, at mest muligt skal genanvendes og mindst muligt forbrændes og deponeres.

I henhold til miljøbeskyttelsesloven og EU's emballagedirektiv er genanvendelse den overordnede fællesbetegnelse for følgende begreber:

- **Genbrug = genbrug af et materiale eller et produkt til dets oprindelige formål og i helt eller tilnærmelsesvis den oprindelige form fx en renoveret bilmotor eller øl- og sodavandsflasker, der efter indsamling renses og fyldes på ny**
- **Genvinding = mekanisk eller kemisk oparbejdning af materialeaffald til nye råmaterialer**

Genvinding kan opdeles i primær, sekundær og tertiær genvinding med følgende betydninger eksemplificeret med plast:

- Primær genvinding af plast er genvinding af plastaffald tæt på kilden, fx recirkulation af produktionsspild på de enkelte plastforarbejdende virksomheder
- Sekundær genvinding af plast er mekanisk genvinding af indsamlet plastaffald fra forskellige kilder fx husholdninger og erhvervsvirksomheder. Plastaffaldet er udtjente og kasserede emner og produkter, som sorteres, renses, regranuleres og eventuelt regenereres, hvorefter det - eventuelt sammenblandet med nyt (jomfrueligt) råmateriale - anvendes til forarbejdning af nye emner
- Tertiær genvinding er kemisk genvinding, dvs. kemisk nedbrydning af plast til lavmolekylære stoffer - eventuelt helt til monomerer eller til gas og olie. Disse stoffer kan så anvendes til fremstilling af nye plastpolymerer eller andre petrokemiske produkter

I nogle sammenhænge regnes forbrænding af plastaffald med udnyttelse af energien fx til opvarmning også med til genvinding - i andre ikke. Ved forbrænding udnyttes affaldets "restværdi" (brændværdien).

Ved tertiær genvinding og ved forbrænding skaffer man sig af med materialerne som sådan, idet de omdannes til andre stoffer og - ved forbrænding - til energi.

Den sidste måde at "bortskaffe" materialer og produkter på er at deponere dem. Dermed forsvinder de naturligvis ikke, men bliver blot "gemt væk" - eventuelt til senere genanvendelse på anden måde.



Ifølge dansk lovgivning må affald, der er egnet til forbrænding, ikke deponeres. I medfør af affaldsbekendtgørelsen (nr. 299, 1997) skal genanvendelig transportemballage af plast fra erhvervsvirksomheder anvises til genanvendelse. (En ny affaldsbekendtgørelse forventes i foråret 2000). Plast - med undtagelse af PVC - er egnet til forbrænding.

Spørgsmålet om genanvendelse af materialer og produkter har engageret hele den industrialiserede verden i de seneste to årtier. Der er hovedsageligt fire årsager til denne interesse:

- Mængden af affald, der deponeres, begynder at blive u håndterligt stor især i lande, som er tæt befolket, og hvori affald forbrændes i meget mindre omfang end i Danmark
- Affaldet repræsenterer en stor mængde ikke-fornyelige råvarer som stof og energi. Vi må lære at udnytte disse ressourcer bedre
- Materialerne repræsenterer en værdi, som det er virksomhedsøkonomisk lønsomt at bevare
- Miljøaspektet er blevet en fast del af de hensyn, en virksomhed skal tage i forbindelse med sin produktion. På nogle områder er det blevet en decideret konkurrenceparameter at kunne fremvise et godt miljøimage

Genbrug

Genbrug af plastprodukter vil sige, at de samme produkter efter rengøring anvendes til samme formål igen. Det finder sted især inden for drikkevareindustrien, hvor sodavandsplastflasker og flaskekasser af plast til øl og sodavand bliver brugt igen mange gange, ligesom det er tilfældet med øl- og sodavandsflasker af glas. PET-flasker på 0,5 og 1,5 liter kan bruges ca. 15 gange. Det er flaskematerialets modtagelighed for ridser og det, at dets klarhed forringes lidt ved hver rengøring, der er årsag til, at flaskerne tages ud af omløb på dette tidspunkt. Ud fra et materialeteknisk synspunkt kan de nemlig tåle at blive brugt omkring dobbelt så mange gange. Når PET-flaskerne er taget ud af omløb, bliver materialet bl.a. genvundet som PET-fibre, hvoraf der fx laves det nye tekstilstof fleece.

Genbrug kræver et omfattende indsamlingssystem for at sikre, at den rette genbrugsemballage returneres til den rette producent. For at det kan fungere tilfredsstillende, vil der kræves standardisering af en lang række produkter. Returtagning af genbrugsemballage vil desuden kræve ekstra plads i butikkerne eller opstilling af containere.

Genvinding

Primær genvinding

Primær genvinding udmærker sig ved, at man har at gøre med meget rene affaldsfraktioner, og plasten kan derfor normalt indgå direkte i forarbejdningssproessen igen. Plasttypen er kendt, og det er let at sortere affaldet, så man får veldefinerede affaldsstrømme. Der er højst sket en beskedent reduktion af egenskaberne ved den påvirkning, materialet har gennemgået under første forarbejdning.

Man regner med, at der ved de vigtigste forarbejdnings- og bearbejdningsprocesser: sprøjttestøbning, ekstrudering, presning, stansning og termoformning forekommer et produktionsspild på omkring 10 % inklusive fejlproducerede emner. Af de forskellige genvindingsformer er intern





genvinding af produktionsspild (recirkulation) den mest miljøvenlige, idet det blot kræves, at den overskydende plast granuleres og føres tilbage til produktionsanlægget.

Den form for genanvendelse er relativt ukompliceret og har fundet sted i mange år på almindelige markedsbetingelser.

Sekundær genvinding

Ved mekanisk genvinding forstås recirkulering ved omsmelting - ligesom ved metallerne. Plastaffaldet skæres i mindre stykker, hvorefter det renses for urenheder og fremmede plasttyper. Til sidst omsmeltes materialet og omformes sædvanligvis til granulat.

Følgende typer af plastaffald er egnet til mekanisk genvinding:

- Udtjente produkter af én og samme plasttype eller af flere typer af kendt sammensætning. Den slags plastaffald kan sorteres. Udtjente plastprodukter adskiller sig dog på ét væsentligt punkt fra industriaffaldet. De brugte plastprodukter har været udsat for miljøpåvirkning i deres funktionstid, hvilket har medført, at polymermolekylerne kan være blevet nedbrudt, additiver i form af stabilisatorer kan være blevet helt eller delvis forbrugt, pigmenter kan have ændret kulør, og produkterne kan være tilsmudset. De nedbrydningsprodukter, som blev dannet, første gang plasten blev forarbejdet, findes endnu i materialet og kan have fremmet nedbrydningen under produktets anvendelse. Derfor er denne type af plastaffald af højst ukendt kvalitet
- Blandet, uspecificeret plastaffald, eksempelvis plast fra husholdningsaffald. Usikkerheden om sammensætning, kvalitet osv. er her meget stor, og det er ofte stærkt forurenset

At plastaffaldet kan være en sammenblanding af flere forskellige plasttyper, og at det normalt er snavset, er netop problemet ved sekundær genvinding. Begge disse forhold er medvirkende til, at det genvundne materiales egenskaber normalt forringes. Det kan derfor hovedsageligt kun anvendes til fremstilling af poser, sække og lignende produkter, hvortil der ikke stilles specielt store krav.

Når det gælder termoplast, er princippet for genvinding til materiale enkelt. Termoplast bliver som bekendt flydende ved opvarmning og kan smeltes om i almindeligt plastforarbejdningsudstyr. Efter indsamling og eventuel sortering kværnes plasten til granulatstørrelse, vaskes og - om nødvendigt - tørres, hvorefter materialet er klar til fornyet forarbejdning ved ekstrudering, sprøjtstøbning, rotationsstøbning osv. På denne måde genanvendes produktionsspild.

Det spild, man får ved sprøjtstøbning i form af indløbstappe, kasse-rede emner, ved opstart og materialeskift osv. kværnes (regranuleres) og blandes med ny råvare. Andelen af regranulat kan være nogle procent, og for mange produkters vedkommende har sådan tilsætning af regranulat ingen negativ betydning for produktets egenskaber.

Når det gælder plastaffald fra udtjente produkter, kan det være nødvendigt at opgradere plasten ved kompondering (i en speciel form for ekstruder), hvorunder der tilsættes additiver m.m., så man får et plastmateriale med ønsket egenskabsprofil. Ved visse bildele anvendes denne teknik med stor succes. Kofangere til biler fremstilles ofte af PP modificeret med en elastomer. Efter afmontering fra skrottede biler går de til et recirkulationsanlæg, hvor de kværnes ned, og der støbes nye kofangere af materialet.

Blandinger af plast kan i princippet ikke genanvendes til andet end

meget simple produkter som kunstnerisk arbejde osv. Årsagen hertil er, at forskellige polymerer normalt ikke er indbyrdes blandbare. Man får en blanding med dårlig mekanisk styrke. Tilsætning af såkaldt kompatibiliserende polymerer, som er blok- eller podningscopolymerer, hvis blokke er opløselige i de respektive komponenter i plastblandingen, kan dog gøre, at man trods alt kan få et anvendeligt materiale af to blandede plasttyper. Denne teknik kan anvendes til at opgradere affaldsplast af kendt type i de tilfælde, hvor man får tilstrækkeligt god kvalitet af den omarbejdede plast.

Eksempel

Affald af ABS, hvori elastomerfasen ikke længere fungerer som slagsejhedsmodifikator, kan næppe genanvendes. Ved iblanding af PC sammen med en passende copolymer kan ABS imidlertid opgraderes, så man får en acceptabel slagsejhed, uden at øvrige mekaniske egenskaber forringes.

Hvis antallet af forskellige plasttyper i blandingen stiger, bliver det snart et alt for stort problem at få en brugbar plastblanding frem. Mekanisk genvinding af usorteret plastaffald er derfor sjældent økonomisk forsvarligt. Her er kemisk genvinding eller forbrænding med energigenvinding normalt den bedste løsning.

Selv om man har rene affaldsfraktioner, kan det være svært at opnå høj kvalitet af affaldsplast. Der udestår en stor forskningsindsats for at forstå, dels hvilke additiver som skal tilsættes, for at man kan få anvendelige plastmaterialer, dels hvilke additiver som skal tilsættes nye råvarer for at få en plast, som lettere kan genanvendes, når plastproduktet er udtjent. Plasten har altså typisk en længere levetid end produktet og kan tåle at blive forarbejdet igen og igen uden problemer. Sidst, men ikke mindst må man kunne bestemme kvaliteten af det genvundne plastmateriale, så det kan anvendes af konstruktører og designere.

Tertiær genvinding

Tertiær genvinding eller kemisk genvinding er en forholdsvis ny måde at genvinde plast på. Det er meget energikrævende, men har nogle fordele, som gør det til en interessant mulighed. Kemisk genvinding kan udføres på blandet plastaffald, og urenheder tåles i større omfang end ved mekanisk genvinding. I Danmark findes der ingen anlæg til kemisk genvinding af plast.

I Tyskland, USA og Frankrig er sådanne anlæg i drift i fuld skala. På disse anlæg nedbrydes polyamider, polyurethaner og polyethylenterephthalat bl.a. til monomerer. I Tyskland findes desuden et pyrolyseanlæg, hvori blandet plast - også PVC - omdannes til petrokemiske produkter. Pyrolyseanlæg er kapital- og omkostningsintensive og kræver meget store affaldsmængder for at være lønsomme.

Her beskrives fire forskellige principper for kemisk genvinding:

- Pyrolyse
- Hydrering
- Hydrolyse
- Reduktion af jernmalm

Pyrolyse

Pyrolyse (krakning) er en proces, hvorved lange olefinmolekyler eller polymerer spaltes termokemisk, når de opvarmes til meget høje temperaturer (omkring 700 °C) i iltfri atmosfære. Carbon/carbon-bindinger og

carbon/hydrogen-bindinger brydes under dannelse af hydrogen, carbon og mindre hydrocarbon-molekyler. De fleste plasttyper fremstilles på basis af olie og kan pyrolyseres til petrokemiske råvarer. Pyrolyseprodukterne er gas, væske og koks, som kan anvendes i den petrokemiske industri eller som brændsel. Eftersom plastaffald indeholder mest polyolefiner, bliver slutproduktet rigt på olefiner. Forurenede, blandede og legerede plastmaterialer kan også pyrolyseres; men rene fraktioner fordrer dels mindre energiforbrug og giver dels et bedre slutprodukt.

Pyrolyse af plast og gummi er dog noget kompliceret, da disse materialer er dårlige varmeledere, og nedbrydning af polymermolekylerne kræver en stor mængde energi.

De bedst egnede anlæg til pyrolyse af plast regnes for at være roterende kalkovne og "fluidised bed"-ovne. Selv hærdeplast kan genvindes ved denne proces.

Omkring 70 % af pyrolysegassen anvendes til opvarmning af pyrolyseovnen. Hvis man brænder pyrolysegassen, fås for hvert kilogram plast, der pyrolyseres, et produkt, der indeholder 33 MJ/kg ved PEHD og 19 MJ/kg ved blandet plast. Da brændværdien af polyethylen er ca. 43 MJ/kg, er det lidt omsonst at pyrolysere det, inden det brændes. Hvis pyrolyseprodukterne imidlertid forbrændes med energiudnyttelse, har det den fordel frem for at brænde plasten, at forbrændingsprodukterne er væsentligt mindre miljøbelastende. Der dannes til gengæld aromatiske forbindelser ved processen.

Hydrering

Ved hydrering opvarmes plastaffaldet til 300-500 °C ved tryk på 10-30 MPa i en atmosfære med overskud af hydrogen. Ved hydrering dannes længere carbon/carbon-kæder; men der dannes ikke aromatiske forbindelser som ved pyrolyse. Hydreringsprodukter kan i lighed med pyrolyseprodukter anvendes i den petrokemiske industri; men hydreringsprodukterne er bedre, fordi de to-atomige stoffer som chlor (Cl_2), oxygen (ilt, O_2) og nitrogen (kvælstof, N_2) samt svovl fortrinsvis fraspaltes som hydrogenforbindelser. Usorteret plastaffald - inklusive PVC - kan behandles ved hydrering. Plastaffaldet udnyttes omkring 90 %. Ligesom ved pyrolyseanlæg giver rene plastfraktioner generelt de bedste produkter. Hydreringsproduktet fra plast fra husholdningsaffald har en sammensætning, der minder om sammensætningen af råolie.

Fælles for pyrolyse og hydrering er, at der kræves en del energi dels til at nedbryde plasten, dels til omdannelse af nedbrydningsprodukterne til nye produkter. Det, der gør disse behandlingsmetoder interessante, er, at de er egnede til behandling af blandet plastaffald. I enkelte tilfælde kan endda hærdeplast genvindes; de kan ellers kun anvendes som fyldstof eller forstærkningsmateriale i ny hærdeplast. Dertil kommer, at de gængse problemer vedrørende PVC, som skyldes chlorindholdet, ikke udgør noget problem ved de kemiske genvindingsmetoder, idet chlor i kombination med calciumoxid omdannes til saltsyre (hydrogenchlorid), der kan frasepareres under processen som et produkt, der kan anvendes i anden sammenhæng. Slutproduktet, der er hydrocarboner på væskeform, er dermed praktisk talt frit for chlor.

Hydrolyse

Kondensationspolymerer er som bekendt hydrolysefølsomme stoffer, dvs. at de vil blive spaltet ved påvirkning af syrer eller baser, i hvert fald ved forhøjet temperatur. Hydrolyse er en reaktion med vand, som blot kata-

lyseres af syre eller base. Polyesterne fremstilles af glykoler og dibasiske syrer (fx PET af ethylenglykol og terephthalsyre) og polyamiderne af diaminer og dibasiske syrer (fx PA66 af hexametyldiamin og adipinsyre). Hydrolytisk nedbrydning er ikke blot et problem ved anvendelsen af disse materialer, og når de skal genforarbejdes, men giver en mulighed for at genvinde basisråvarerne. Ved kontrolleret hydrolytisk nedbrydning dannes monomerer og oligomerer, som kan genpolymeriseres til ny kondensationspolymerer af ønsket kvalitet. I anlæg, som kan klare en reversibel reaktion med glykoler (glykolyse) i stedet for med vand, kan der produceres aromatiske polyoler, som kan behandles videre med diisocyanater til fremstilling af polyurethener (PUR) eller med umættede dibasiske syrer til fremstilling af umættede polyestere.

Eksempel

PET-film (røntgenfilm, professionelle fotografiske film) genvindes både for at opsamle sølv, men også PET-materialet ved hydrolyseprocessen. Af reaktionsprodukterne fremstilles ny PET-film.

Reduktion af jernmalm

I Tyskland bruges en del blandet plastaffald som reduktionsmiddel i stålværkerne, og det er sandsynligt, at denne anvendelse vil stige i fremtiden. Processen foregår ved, at usorteret, granuleret plast sprøjtes ind i en 2.000 °C varm højovn. Plasten forgasses øjeblikkeligt, og hydrocarbonerne fra plasten går i forbindelse med oxygenen i jernmalmen, som derved reduceres, dvs. at oxygenen skilles fra.

En tredjedel af den mængde olie, der ellers skulle anvendes til jernproduktionen (100 kg pr. tons jernmalm), kan erstattes af granuleret plastaffald. Plastens udnyttelsesgrad er 80 %; 50 % bruges i reduktionsprocessen, og 30 % til opvarmning.

Forbrænding og genvinding til energi

Forbrænding med udnyttelse af energien til fremstilling af elkraft og fjernvarme til opvarmning er en værdifuld form for genvinding. Desuden anses forbrænding for at være en af de bedste løsninger på affaldsproblemet, når det ikke er økonomisk lønsomt at recirkulere. Foruden energigevinsten sker der ved forbrænding en reduktion af affaldsmængderne, som ellers skulle gå direkte til deponering med 90 %. Energiindholdet (brændværdien) af råaffald er øget i de seneste årtier som følge af, at andelen af papir og plast er øget. Et kilogram råaffald giver ved forbrænding 11 MJ energi, hvilket medfører, at affaldsforbrænding af det producerede, kommunale affald i Storbritannien svarer til mere end 6 millioner tons højværdigt kul. Dog er forbrænding forbundet med høje kapital- og driftsomkostninger, især når begrænsninger i emissioner og udslip bliver mere og mere vigtigt.

Uden at gå i detaljer kan man konstatere, at det energimæssigt er lige så godt at genvinde plasten som materiale som at forbrænde den under udnyttelse af forbrændingsvarmen. Det er altså andre argumenter, der vil være afgørende for valg af genvindingsprincip, bl.a. politiske.



PVC og WUPPI-ordningen

PVC har gennem årene været udsat for særlig opmærksomhed i genanvendelses- og bortskaffelsessammenhænge. Det er uønsket at forbrænde PVC, fordi der derved dannes hydrogenchlorid, som opløst i vand er saltsyre. For at undgå udslip af saltsyre til omgivelserne, skal røggassen fra forbrændingsanlæggene neutraliseres med kalk; men derved dannes der calciumchlorid, som skal deponeres. Problemet er imidlertid, at den mængde calciumchlorid, der dannes, fylder mere end dobbelt så meget som den mængde PVC, der blev forbrændt, og den energimængde (brændværdien af PVC-materialerne), der frigøres ved forbrændingen, end ikke dækker den energimængde, der medgår til neutraliseringen.

På dette grundlag blev der i 1991 indgået en frivillig aftale (PVC-aftalen) mellem miljøministeren og industrien om, at den del af PVC-affaldet, der sendes til affaldsforbrænding, skulle være reduceret til et bestemt niveau senest i 2000. Imidlertid blev de aftalte delmål ikke opnået, og for at fremme udviklingen blev der i 1999 i Folketinget vedtaget en lov om afgifter på PVC til visse produkter. Samtidigt blev der i øvrigt indført en afgift på phthalater, der anvendes som blødgørere i blødgjort PVC, for at tilskynde industrien til at reducere brugen af phthalater, idet de anses for at være sundhedsmæssigt og miljømæssigt betænkelige.

Som en konsekvens af PVC-aftalen har fem danske producenter af byggevarer af PVC i 1999 dannet et selskab, der har til formål at indsamle og genanvende byggeaffald af stiv PVC. Selskabet hedder WUPPI A/S efter forbogstaverne på moderselskaberne (Nordisk Wavin A/S, Uponor A/S, Plastmo A/S, Primo Danmark A/S og Icopal A/S). Produkter, som er fremstillet hos en af de fem virksomheder, er naturligvis af kendt sammensætning og kan derfor indgå direkte i en genvindingsstrøm til fremstilling af nye kvalitetsprodukter, mens de ”fremmede” produkter kan anvendes til ”sekundavarer” eller opgraderes.

Hærdeplast og hærdeplast-baserede kompositmaterialer

Hærdeplast repræsenterer - ligesom gummi - materialegrupper med vanskeligheder ved genanvendelse, men dog også visse muligheder. Fordi disse materialer er kemisk tværbundet, er de mere komplicerede at håndtere i materiale-genvindings-sammenhænge end termoplastene.

Der findes to måder til genvinding af hærdede plast og gummier, dels formaling til pulver (sekundær genvinding), som kan anvendes som fyldstof i nye produkter, dels kemisk genvinding, dvs. kemisk nedbrydning af polymerer: det, som i det foregående er beskrevet som tertiær genvinding.

I Norden er der i de seneste år blevet gennemført en række undersøgelser af, hvor udtjente produkter af glasfiberforstærket umættet polyester (GUP) (læs: lystbåde) må forventes at befinde sig rent geografisk, hvilke muligheder der er i de lokale områder for at indsamle og eventuelt oparbejde GUP-affald og for at forbrænde det. Brancheorganisationerne i de nordiske lande arbejder gennem et europæisk samarbejde meget kraftigt på at finde anvendelser for deres produktionsaffald og for udtjente produkter. Muligvis kan det nedknuste affald anvendes som brændsel i cementindustrien eller som supplerende råvare ved fremstilling af mineraluld.

Når det drejer sig om udvikling af produkter af hærdeplast, er det i særdeleshed nødvendigt at tænke på, at produkterne på et tidspunkt skal

genanvendes eller bortskaffes. Designeren må altså lære at tænke adskillelse, identifikation, sortering, genanvendelse og bortskaffelse af indgående materialer ind i udviklingen på lige fod med tekniske egenskaber og økonomiske forhold.

Et produkt, der er særligt i fokus i den sammenhæng, er vinger til vindmøller, som i disse år er den helt dominerende anvendelse af hærdeplast-baserede kompositmaterialer i Danmark.

Biologisk nedbrydelige polymerer

For produkter, som er stærkt tilsmudsede, eksempelvis fødevareremballage, hygiejniske artikler og bleer, er materiale-genvinding eller -genbrug næsten utænkeligt. Forbrænding med udnyttelse af energien forekommer at være den eneste realistiske måde at bortskaffe dem på under samtidig udnyttelse af "restværdien".

Et interessant alternativ er at fremstille sådanne produkter af komposterbare plastmaterialer.

På markedet findes allerede i dag et lille antal biologisk nedbrydelige polymerer, som har egenskaber som og kan anvendes som termoplast. En af biopolymererne produceres under forgæring af carbonhydrater (kulhydrater) af mikroorganismen *Alcaligenes eutrophus*. Hvis *A. eutrophus* fodres alene med glukose, dannes polymeren polyhydroxybutyrat (PHB), og hvis man desuden tilsætter en organisk syre, dannes en copolymer: hydroxybutyrat/hydroxyvalerat-copolymer (HB/HV). Præcis som ved de almindelige plasttyper bliver produkter lavet af biopolymerer stabile, holdbare og fugtbestandige. De er egnet såvel til mekanisk genvinding og kompostering som til energigenvinding. Ved forbrænding dannes kun carbon-dioxid og vand. Ved kompostering sker den biologiske nedbrydning ved hjælp af mikroorganismer.

Eksempel

Da en prøve af et PHB blev gravet ned i jorden, blev der efter 32 uger konstateret et relativt vægttab på 90 %.

Markedet for den type af materialer forventes at blive stort. Man kan tænke sig sofistikerede anvendelser som implantater i kroppen, som accepteres af vævet, hvorefter polymeren langsomt opløses og forsvinder, samtidigt med at der dannes nyt væv dér, hvor implantatet blev indopereret. Eksempler på andre, mere simple anvendelser er hygiejneartikler (som skylles ud i toiletafløbet), jordbrugsartikler (gødningssække, der graves ned i jorden), plantekrækker (urtepotter) og emballage, specielt laminatemballage af typen plast/papir. Et stort problem er dog høje produktionsomkostninger; men der forskes meget i dette område, og biopolymererne burde snart kunne konkurrere med basisplastene - i det mindste inden for visse nicheproduktioner.

Parallelt med udviklingen af ovennævnte, helt nedbrydelige polymerer udvikles der materialer, som er blandinger af stivelse og polyolefiner, sædvanligvis polyethylen. Det gælder her om at få stivelsesindholdet så højt som muligt og stadig beholde karakteren af termoplast. Ved kompostering nedbrydes stivelsen, og polyolefinen fragmenteres til et fint pulver. Sådanne materialer forekommer allerede som forsøg til en del engangsartikler.

Mærkning af plast

For at kunne sortere plastaffald er en eller anden form for mærkning af plastprodukterne en hensigtsmæssig og ofte nødvendig foranstaltning. Her vises symboler, som er blevet anvendt siden begyndelsen af 1990'erne. Først og fremmest er det plastkomponenter i biler og en del emballage, som er mærket. Man er dog ved at udvikle metoder til automatisk identifikation og sortering af plastemner; men man bør alligevel mærke plastprodukter, for dermed lettes enhver form for sortering.

Symboler til mærkning af plast i henhold til forskellige standarder
Følgende standarder findes:
VDA 260, DIN 6120,
ISO 1043, SAE J1344
og ASTM D400.

Society of Plastics Industries (SPI)



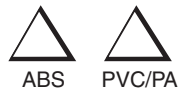
DIN 6120



DIN 54 840



ASTM



SAE



Plast af olie

Plastpolymererne fremstilles i dag af stoffer, der hovedsageligt udvindes af råolie. Disse stoffer kunne dog lige så godt fremstilles af kul eller fornyelige råvarer som planteolier m.m., men det ville - med dagens oliepriser - indebære højere fremstillingsomkostninger.

Til plast medgår kun 4-5 % af råolien, mens 82 % anvendes til diesel-, fyringsolie og benzin og resten til asfalt, smøreolier, vokser osv. Heraf ses, at genanvendelse af plast næppe kan løse verdens problem med begrænsede ressourcer af olie og naturgas. Hver del af samfundet må imidlertid bidrage til bedre at holde hus med ressourcerne.

Lifecycle engineering

Det er imidlertid ikke nok at konstatere, at problemerne med genanvendelse kan løses. Enhver, der er involveret i nyudvikling, må være opmærksom på genanvendelses-problematikken og produkternes miljøpåvirkning både under fremstilling, anvendelse, genanvendelse og bortskaffelse. Der skal foretages en såkaldt livscyklusanalyse. Endog produktdesigneren må forstå, at hans produkter må kunne fremstilles på en miljømæssigt ordentlig måde, og at produkterne må kunne genvindes. Man taler om design til genanvendelse.

Sædvanligvis består et forbrugsprodukt af et stort antal sammensatte dele, og de må kunne adskilles ved genvindingen. Genvinding af plast fra 1970'ernes og 1980'ernes biler er næppe muligt af den simple grund, at det tager for lang tid at demontere de forskellige plastkomponenter og

identificere materialerne. Et eksempel på nytænkning er udviklingen af instrumentpaneler fremstillet af én plast (polypropylen), hvilket letter demonteringen og sorteringen, når bilen skrottes. Man får ét emne af én plasttype i stedet for et stort antal dele af forskellige plasttyper.

Produkternes vægt er ofte et vigtigt miljøaspekt. Produkterne skal transporteres, og brændstofforbruget og emissionen fra udstødningen fx fra biler skal holdes lavt. Der vil blive et stigende behov for lette materialer, hvilket taler for øget anvendelse af plast - ikke mindst plastbaserede kompositter - og letmetaller. Morgendagens konstruktør må kunne vurdere, hvilket materialevalg og dermed hvilken forarbejdningsproces som er bedst egnet, og føre sit budskab videre til salgsorganisationen. Intet produkt vil blive en succes, hvis man ikke kan fremvise en troværdig livscyklusanalyse. Man må forvente, at bankerne vil standse al finansiering af nyinvesteringer osv., hvis ikke virksomheden kan fremvise en livscyklusanalyse for deres produkt.

Konstruktøren må tage sit produktansvar for sine visioner og være opmærksom på miljøbelastningerne. Et miljørigtigt produkt kan være sælgende, og rigtigt udformet kan det blive en god forretning, selv om det på kort sigt viser sig at være billigst at vælge gamle konstruktionsløsninger. Kunden er måske rede til at betale mere for et miljøtilpasset produkt, eller salget kan vokse. Fremtidens købere er dagens ungdom, og den er mere miljøbevidst end den generation, som blev født i 1940'erne, og som i dag er de købestærke forbrugere.

Nu er der hjælpemidler tilgængelige, når det gælder livscyklusanalyser. Industriforbundet i Sverige driver med støtte af 15 førende virksomheder udviklingen af et miljøindekssystem. Det kaldes EPS-systemet og giver konstruktøren mulighed for at beregne produktets miljøpåvirkning. En kortfattet artikel med eksempler er publiceret i *Plastforum Scandinavia* nr. 3, 1995.

Sammenfattende kan det siges, at i det nye århundred vil der blive stillet helt andre krav til kundskaber om miljøaspektet og genanvendelse, end hvad der hidtil har været tilfældet.



SPRØJTE- STØBNING

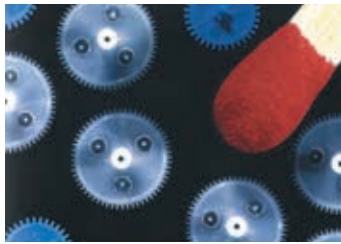


Sortiment af store og mellemstore sprøjtestøbte emner (Husky)



Tandhjul til urindustrien (Battenfeld)

Sprøjtestøbt efter mikrosystem. Vægt 0,0008 gram.



Forskellige mikrosprøjtestøbte tandhjul (Battenfeld)

Sprøjtestøbning er en rationel, fuldautomatisk proces til fremstilling af store og små seriestørrelser af emner hovedsageligt i termoplastiske materialer.

Værktøjsafskrivningen kan være bestemmende for, hvor små seriestørrelser der er rentable i forhold til andre processer eller i forhold til emnets værdi.

Foruden termoplast og termoplastiske elastomerer kan hærdeplast forarbejdes ved sprøjtestøbning. Ved forarbejdning af hærdeplast kræves dog en specialudstyret sprøjtestøbemaskine.

Ved sprøjtestøbning kan der fremstilles komplicerede emner i én arbejdsproces, og emnerne kan ofte anvendes direkte og uden efterbearbejdning.



Sprøjtestøbemaskine (Arburg)

Ved nogle af de mindste emner, der fremstilles ved sprøjtestøbning, måles emnevægten i mikrogram. Sådanne emner anvendes fx i armbåndsøre, høreapparater, i medikoteknik og anden mikroindustri. Den anden yderlighed kan være et bilkarosseri med lukkekraftbehov på 80.000 kN.

Sprøjtestøbning er en periodisk proces, der benævnes som en sprøjtestøbecyklus, hvor en given mængde plastråvare smeltes ved opvarmning via varmebånd og friktion mellem materiale, cylinder og snække og bliver til en plastificeret og homogen masse.

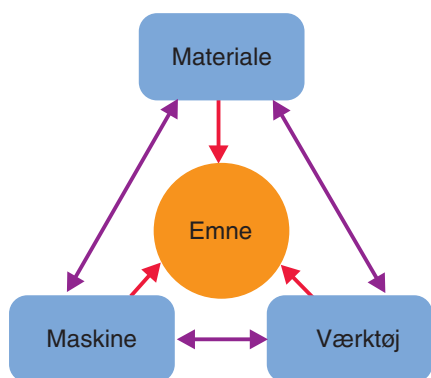
Den plastificerede og nu viskose masse indsprøjtes i et sprøjtestøbeværktøj, som er opspændt i en sprøjtestøbemaskine. Sprøjtestøbeværktøjet, der også kaldes et formværktøj, har én eller flere kaviteter (formhulrum) med samme emnegeometri som de emner, der skal produceres.

For at kunne fremstille et optimalt, sprøjtestøbt plastemne må et samspil mellem flere forskellige faktorer være i orden. Disse faktorer omfatter:

- Emneudformning
- Værktøjskonstruktion
- Materiale
- Sprøjtestøbemaskine
- Forbehandling af plastråvare
- Produktionsbetingelser
- Produktionskontrol
- Procesovervågning
- Operatør

Det er vigtigt, at operatøren, der har det daglige ansvar for opstilling, indkøring og kontrol af produktionen, nøje kender samspillet mellem disse faktorer.

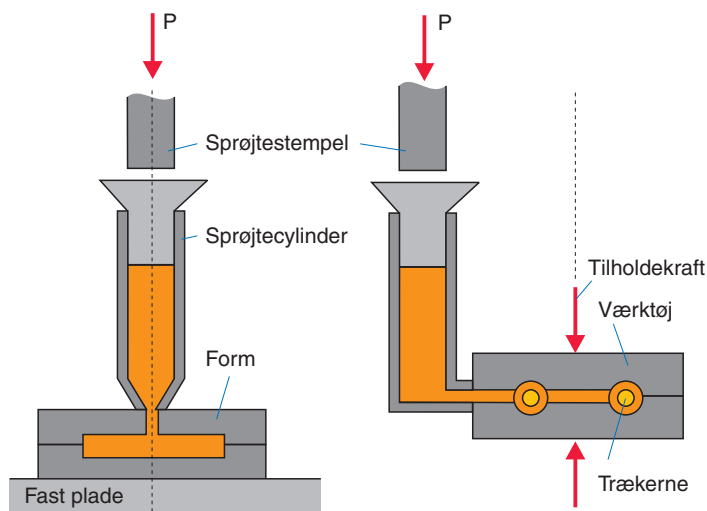
Samspillet mellem materiale, maskine, værktøj og emne



De første sprøjtestøbemaskiner

Når man foretager et historisk tilbageblik med hensyn til sprøjtestøbemaskinen, dukker der et patent op med nummeret US-patent nr. 133229, som er dateret november 1872. Dette patent er udtaget af brødrene John W. og Isaiah Hyatt på en vertikal propmaskine, opbygget med en sprøjteenhed og en lukkeenhed til lukning af værktøjet.

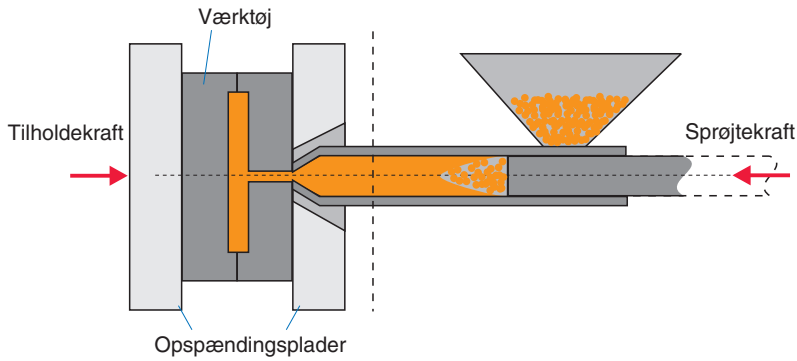
Sprøjtestøbemaskine US-patent nr. 133229



Principskitse af sprøjtestøbemaskine model 1875 med værktøj til sprøjtestøbning af plastbelægning på håndtaget til en barberkost

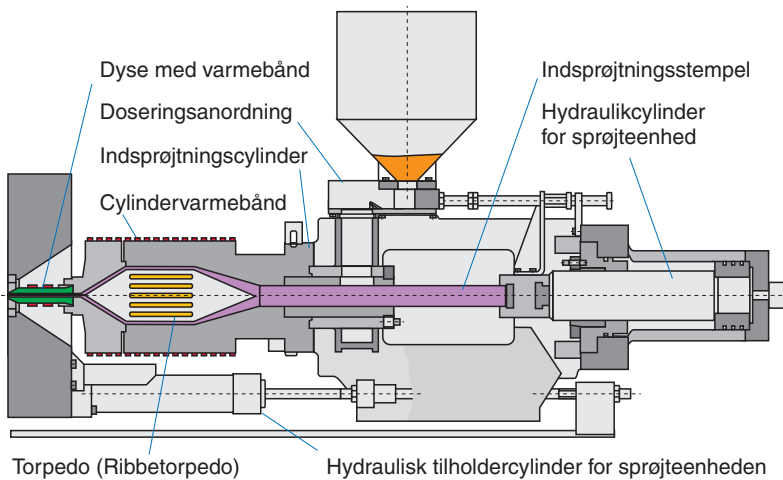
Sprøjtestøbemaskinen er meget simpel, men dens funktion kan sammenlignes med en nutidigs.

Sprøjtestemplet presser med en kraft P det smeltede materiale fra den opvarmede cylinder ind gennem indløbskanalen og ind i sprøjtestøbeværktøjet. Trykket fra sprøjtestemplet, der opgives i MPa, omsættes inde i formen til en åbnekraft, der vil forsøge at åbne sprøjtestøbeværktøjet med kraft \times areal. Derfor skal lukkekraften være mindst lige så stor for at kunne holde værktøjet lukket.



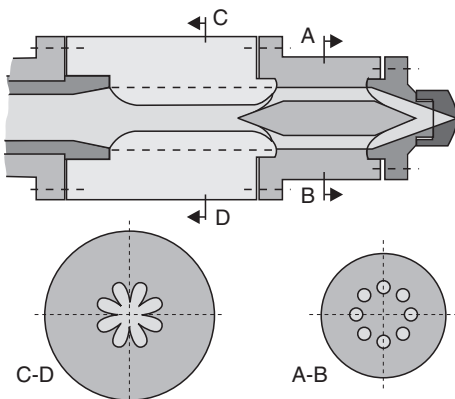
Buchholtz's sprøjtstøbemaskine

Maskinen er en såkaldt håndaktiveret stempelsprøjtstøbemaskine.



Torpedo-sprøjteenheden fra en stempelsprøjtstøbemaskine

Ribbetorpedo-cylindren, hvor plastificeringen foregår samtidigt med indsprøjtning i sprøjtstøbværktøjet.



Få år efter udviklede brødrene Hyatt en sprøjteteknik med udgangspunkt i materialet nitrocellulose. Med den nyudviklede, vertikale sprøjtstøbemaskine omsprøjtede man et trægreb til barberkoste med nitrocellulose.

Nitrocelluloses lette antændelighed stod imidlertid i vejen for en yderligere udbredelse og udvikling af sprøjtstøbemaskinen og sprøjtstøbeteknikken.

Først i årene 1917 til 1919 blev den første virkelige sprøjtstøbemasse udviklet af Eichengrün i Berlin. Sprøjtstøbemassen var den til sammenligning med nitrocellulose ufarlige acetylcellulose.

På basis af Eichengrüns ideer byggede berlineren Buchholtz en sprøjtstøbemaskine, som har dannet baggrund for senere udviklinger af sprøjtstøbemaskiner.

Der gik mange år, inden der for alvor kom gang i produktionen af sprøjtstøbemaskiner. I 1930-40'erne var sprøjtstøbemaskinen endnu relativt primitiv. Datidens maskiner var slet ikke automatiske, idet lukning og åbning af værktøjet foregik med håndkraft via et vægtstangsprincip. Indsprøjtningen var ligeledes manuel via et vægtstangsprincip, dvs. teknikken var relativt simpel, og der blev slet ikke arbejdet med de tryk, som der arbejdes med i dag.

Stempelsprøjtstøbemaskine

I slutningen af 1940'erne blev de første fuldautomatiske, serielt fremstillede sprøjtstøbemaskiner produceret. Maskinerne var de såkaldte "stempelmaskiner".

I de første hydrauliske sprøjtstøbemaskiner kunne formlukningen foregå via indsprøjtningens hydrauliske tryk, der under indsprøjtning via et sindrigt trækstangssystem lukkede værktøjet og opbyggede det nødvendige lukketryk til værktøjet.

Fra slutningen af 1940'erne og op til 1960'erne tog udviklingen af sprøjtstøbemaskinen virkelig fart. Den synlige udvikling kan opdeles i tre punkter:

- Sprøjttestøbeenhed:
 - Indsprøjtning- og plastificeringssystem
 - Stempelindsprøjtning
 - Snekkeindsprøjtning
 - Kombinationen snekke- og stempelindsprøjtning
 - Doseringssystem
- Lukkeenhed:
 - Mekanisk lukkesystem
 - Fuldhdraulisk lukkesystem
 - Knæleds-lukkesystem
 - Kombinationen knæled og hydraulik
- Styring:
 - Mekanisk styring
 - Elektrisk styring
 - Kombinationen mekanisk og elektrisk styring

Et ikke uvæsentligt forhold i sprøjttestøbemaskinernes udvikling er:

- Sikkerheden ved arbejde med sprøjttestøbemaskinerne
- Hydraulikanlægget

Sprøjttestøbeenhedens udvikling

Sprøjttestøbeenheden har gennemgået et væld af opfindsomhed, forsøg og udvikling igennem årene.

Baggrunden for den store udvikling af netop sprøjteenheden er ønsket om at opnå den ideelle plastsmelte, som skal være godt plastificeret og homogen inden indsprøjtning.

Det er naturligvis en meget vanskelig opgave med den simple stempelindsprøjtning, idet det afmålte/afvejede materiale, når det kommer ned i sprøjtecyklindren, skal smeltes inden indsprøjtning.

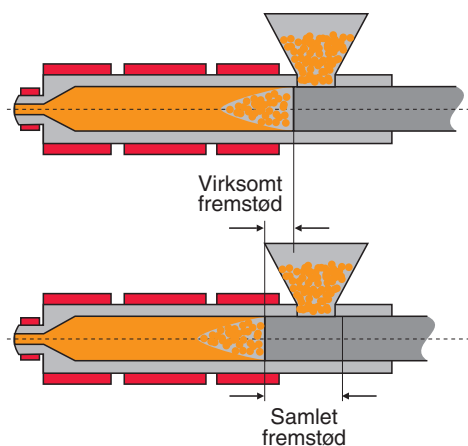
Procesforløbet ved stempelindsprøjtning

Det tager nogen tid at smelte materialet, specielt for den mængde, der ligger i midten af sprøjtecyklindren og dermed længst fra de opvarmede sprøjtecyklindervægge.

Procesforløbet starter med, at en afmålt mængde materiale slippes ind i sprøjtecyklindren foran det tilbagetrukne indsprøjtningstempel.

Hvis cyklindren er helt tom, trykker stemplet den indfyldte mængde materiale frem mod maskindysen, hvor det i første omgang presses hårdt sammen. Dette gentages et antal gange afhængigt af indsprøjtningstvolumenet, som bestemmes af indsprøjtningstemplets fremstød/slagvolumen, også kaldet skudvolumen.

Hvis cykeltiden er 30 sekunder, og cyklindren kan rumme det tidobbelte af skudvolumenet, vil materialets opholdstid i sprøjtecyklindren være $10 \times 30 = 300$ sekunder eller 5 minutter.



Stempelsprøjttestøbemaskinens maksimale skudvolumen = samlede fremstød samt virksomt fremstød = skudvolumen.

Den moderne sprøjttestøbemaskine

Gennem tiderne er der sket en stor udvikling med sprøjttestøbemaskinen til den maskine, vi kender i dag, hvilket kun har været muligt i kraft af den moderne industris forfinede maskin- og styringsteknik.

Mange af de gamle konstruktionsprincipper ser vi også på vor tids maskiner, blot med en forbedret fremstillingsteknik.

Styringsteknikken bliver mere og mere avanceret og har intet til fælles med styringen i de ældre maskiner.

Dog ser vi en vis tilbageholdenhed med hensyn til styringer på sprøjttestøbemaskinerne netop nu, idet der til almindelige, måske simple produktioner er ønsket om en maskine, der blot lige kan klare det aller mest nødvendige, altså billigere maskiner, hvilket flere maskinleverandører har imødekommet og taget på deres maskinprogram.

Den meget avancerede styringsteknik vil nok i de kommende år blive billigere, idet vi allerede nu ser maskinstyringer på billige sprøjttestøbemaskiner med ganske kraftige computere, der arbejder i Windows-programmer. I disse programmer kan indeholdes ganske store instruktionshåndbøger for de enkelte maskinfunktioner, som altid er til rådighed.

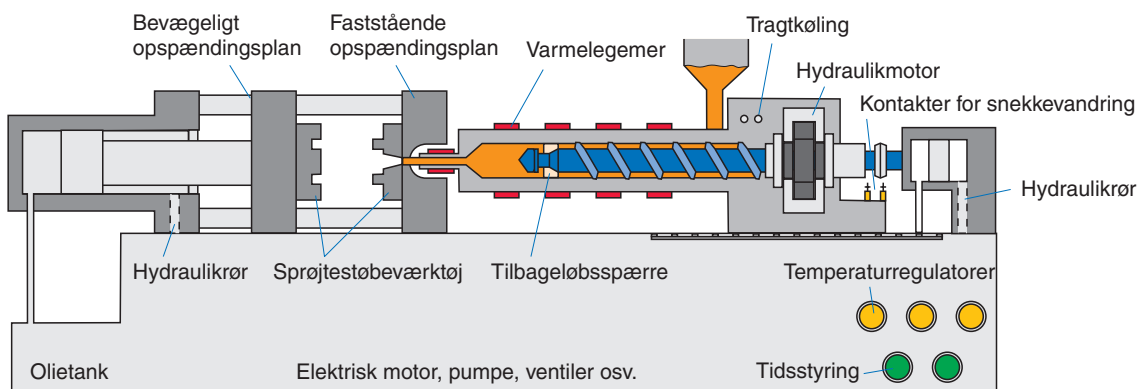
Betjening af en Netstal sprøjttestøbemaskine med touch screen-styring (KraussMaffei)



Den moderne sprøjttestøbemaskine

(KraussMaffei) På de moderne sprøjttestøbemaskiner kan lukkekræften på de største maskiner komme op på 80.000 kN. Det specifikke sprøjtetryk ligger almindeligvis mellem 100 og 400 MPa

Den fuldhidrauliske sprøjttestøbemaskines opbygning

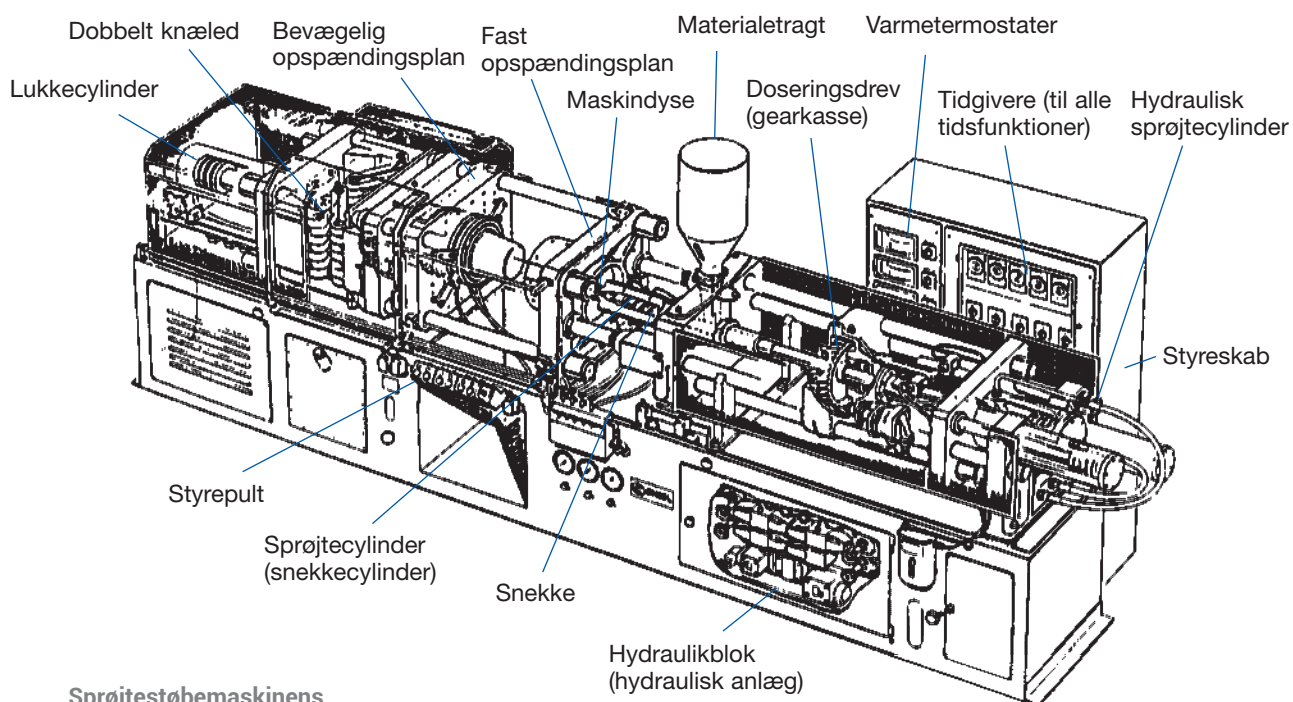


Sprøjttestøbemaskinens hovedelementer

I princippet består sprøjttestøbemaskinen af tre hovedelementer:

- Maskinstativ
- Lukkeenhed
- Sprøjteenhed

De kommende illustrationer af de forskellige maskinelementer, som sprøjttestøbemaskinen består af, er hentet fra forskellige sprøjttestøbemaskinefabrikanter.



Sprøjttestøbemaskinens bestanddele (Engel)

Maskinen er en såkaldt nokkestyret sprøjttestøbemaskine. Maskinen er principielt, som vi kender den i dag.



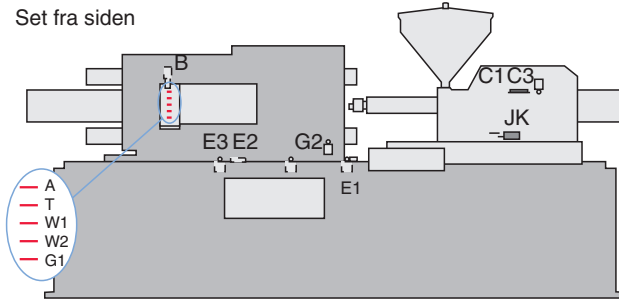
Mikrokontakter og nokker

Sprøjtestøbmaskinens mekaniske bevægelser, dvs. åbning, lukning, udstødning samt sprøjteaggregatets og snekkens forskellige positioner, blev oprindeligt styret af såkaldte ”nokker”.

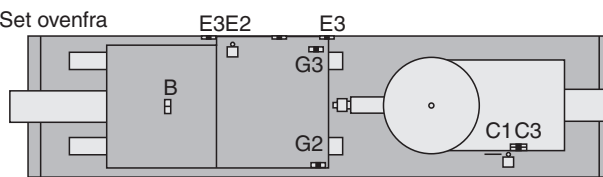
Når en elektrisk kontakt (mikrokontakt) rammer en nokke, giver mikrokontakten impulser til maskinens hydrauliske anlæg om positioneringen for den aktuelle bevægelse.

Disse mikrokontakter blev senere erstattet af berøringsfrie kontakter, som var mindre sårbare, som senere igen blev erstattet af de vejtransducere, vi kender i dag.

Set fra siden



Set ovenfra

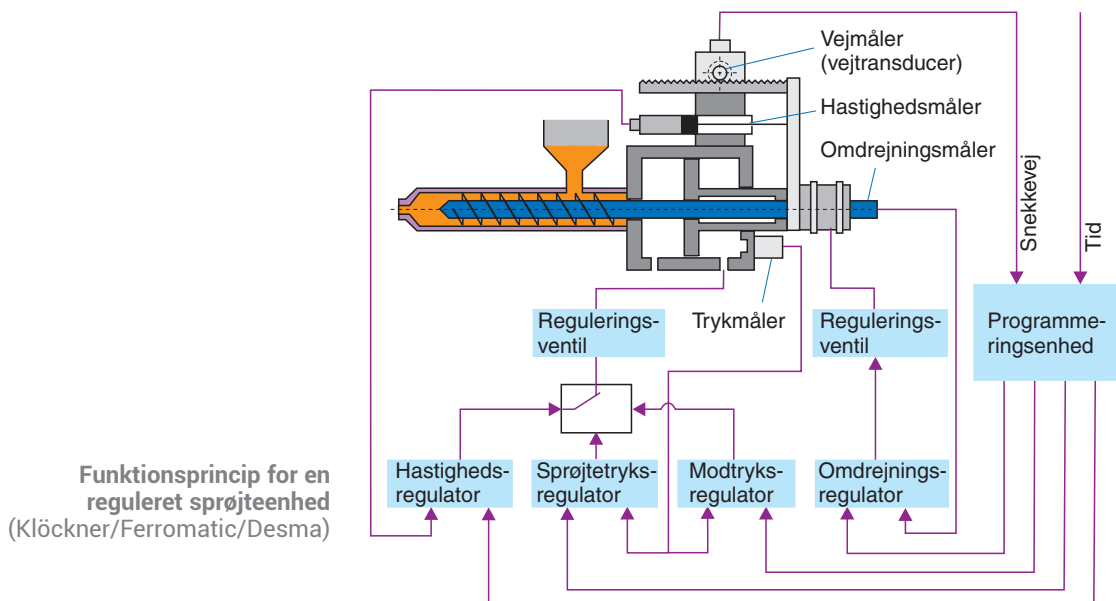


Mikrokontakter og nokkers betydning og placering (Engel)

A Formåbningshøjde	G2 Formsikring slut
B Form lukket	G3 Formsikring slut
C1 Dosering	J Indsprøjtning
C3 Omkobling til eftertryk	K Sprøjteenhed retur
E1 Skærmsikring	T Mellemstop
E2 Skærmsikring	W1 Langsom lukning
E3 Skærmsikring	W2 Langsom åbning
G1 Formsikring start	

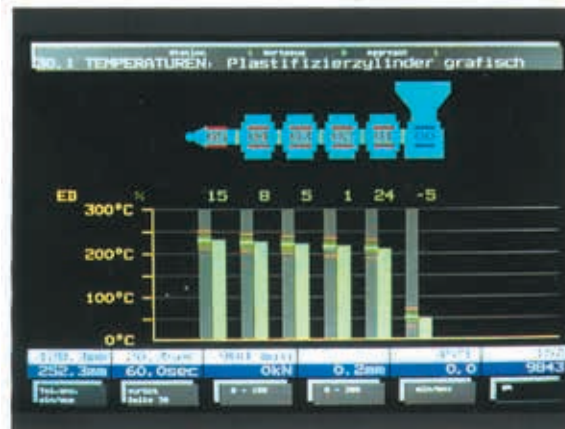
Funktionsprincip for sprøjteenheden på en reguleret maskine

Den nye generation af computerstyrede sprøjtestøbmaskiner anvender målelementer, der både måler veje, hastigheder, omdrejninger og tryk, som via computer og servoventiler omsætter, regulerer og overvåger de indtastede og ønskede værdier.

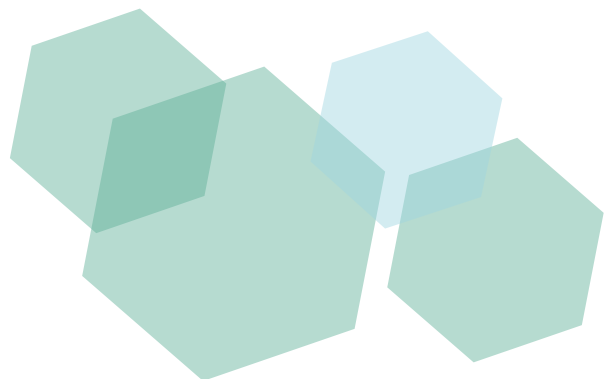


41.0 Spritzeinheit: Einspritzvorgang, Phase 1-3					
1	Anzahl der Spritzstufen	6	DIM	SOLL	IST
2	Plastifizierweg		mm	100,0	100,3
3	Einspritzdruck	p1	bar	175	17
4	Einspritzgeschw.	v1	mm/s	130	
5	Einspritzzeit	t1	sec	5,00	0,22
6	Umschaltzeit	PU1	bar	185	17
7	Umschaltzeitpunkt	s1	mm	75,0	75,0
9	Einspritzdruck	p2	bar	175	19
10	Einspritzgeschw.	v2	mm/s	130	
11	Einspritzzeit	t2	sec	5,00	0,48
12	Umschaltzeit	PU2	bar	185	19
13	Umschaltzeitpunkt	s2	mm	25,0	25,0
15	Einspritzdruck	p3	bar	175	176
16	Einspritzgeschw.	v3	mm/s	130	
17	Einspritzzeit	t3	sec	5,00	0,33
18	Umschaltzeit	PU3	bar	185	176
19	Umschaltzeitpunkt	s3	mm	75,0	0,3

82.0 TOLERANZ- und TREND Darstellung 1							
	TOL+/-	REF	IST	X910	R10	X920	R20
Plastifiz.							
p	0	0	0	0,0	0	0,0	0
t	0,00	0,00	1,00	0,81	0,85	0,88	0,88
s	0,3	0,0	100,3	100,41	0,4	100,52	0,4
Zyklusz.							
t	0,3	0,0	0,0	22,55	20,5	22,78	9,7
EinsPr.1							
p1	3	0	17	52,3	105	85,5	139
t1	0,03	0,00	0,27	0,28	0,04	0,29	0,05
s1	0,3	0,0	75,0	75,00	0,0	75,00	0,0
EinsPr.2							
p2	3	0	19	61,2	138	92,3	149
t2	0,03	0,00	0,40	0,41	0,04	0,48	0,25
s2	0,3	0,0	25,0	25,00	0,0	25,00	0,0
EinsPr.3							
p3	3	0	176	175,7	2	175,8	1
t3	0,30	0,00	5,00	5,00	0,00	5,00	0,00
s3	0,3	0,0	0,3	0,35	0,3	0,33	0,2

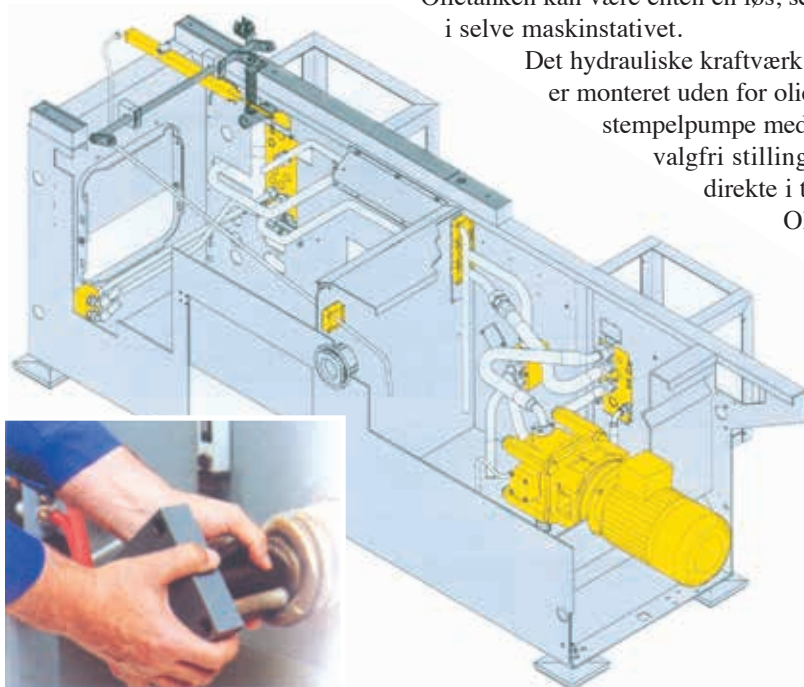


Skærbilleder for den regulerede sprøjtestøbeenhed (Ferromatik Milacron) Skærbillederne viser maskinens indstillinger som en "skal-værdi" (soll) og en "er-værdi" (ist). Princippet er, at den indstillede værdi (soll) forsøges overholdt af maskinens computer og reguleringssystem. Efter endt funktion vises så den opnåede værdi (ist).



Maskinstativ

Maskinstativ til en sprøjtestøbemaskine (Arburg)
Olietanken er integreret i selve maskinstativet.



Oliekøleaggregat (Arburg)

Maskinstativet er normalt opbygget som en kraftig og stabil, helsvejt stålkonstruktion, som skal sørge for, at lukkeenheden og sprøjteenheden står på et stabilt og vridningsfrit underlag.

Olietanken kan være enten en løs, separat tank eller en tank integreret i selve maskinstativet.

Det hydrauliske kraftværk kan bestå af en elmotor, der er monteret uden for olietanken. Hovedpumpe (aksial stempelpumpe med forbrugsorienteret ydelse) og en valgfri stillings- eller holdepumpe er monteret direkte i tanken.

Oliefiltret er monteret på pumpens sugeside og er let at udskifte.

Olietemperaturen er overvåget via sprøjtestøbemaskinens skærm og styres af et kølevandskredsløb.

Alle hydraulikslanger og rør er monteret med henblik på at absorbere eventuelle hydraulikstød fra ventilomsiftningerne.

Lukkeenhed

Lukkeenhedens opgave er at åbne og lukke et sprøjtestøbeværktøj hurtigt, sikkert og

lydløst, dvs. der skal være nedbremsningsmuligheder både ved åbning og lukning.

I de senere år har der været fokuseret meget på sprøjtestøbemaskinernes lukkeenhed som en forslugen energiforbruger, hvorfor der har været udvist stor opfindsomhed netop inden for denne maskinenhed, hvilket har resulteret i mange spændende konstruktioner.

Den fuldhydrauliske lukkeenhed

Den fuldhydrauliske lukkeenhed har som fortrin en stor og trinløs åbnevej med stor frihed for værktøjsindbygningshøjde. Værktøjsindbygningshøjden kan ligeledes betragtes som trinløs inden for formåbningsvejen under hensyntagen til værktøjs- og emnehøjde.

Mange fuldhydrauliske sprøjtestøbemaskiner er konstrueret som en to-trins-lukkeenhed, hvor små transportcylindre sørger for hurtig åbning og lukning af værktøjet. Når transportcylinderen har afsluttet sit arbejde, overtager en stor trykdåse (hydraulikcylinder) med begrænset og kort vandring arbejdet med opbygning af lukkehøjtrykket.

Af andre bemærkelsesværdige konstruktioner kan nævnes en ét-trins-lukkeenhed med faldtank. Faldtanken er placeret oven på den store lukkecylinder, hvor dens funktion i sin enkelthed er, at når lukkecylinderen skal bruge megen olie til lukkebevægelsen, åbner faldtanken for dens store oliebeholdning, så lukkebevægelsen kan foregå hurtigt og uden den store belastning af hydraulikpumpen. Opfyldning af faldtanken kan foregå, når hydraulikpumpen er mindst belastet. Ved åbnebevægelsen går olien frit til tank.

En af ulemperne ved den fuldhydrauliske lukkeenhed er, at der normalt skal flyttes store oliemængder til både åbne- og lukkebevægelsen.

Derudover er ulemperne de tætningsproblemer, der er forårsaget af slid på de højt belastede hydraulikcylindre på grund af lange åbne- og lukkebevægelser med et relativt stort hydrauliktryk.

Knæledslukkeenhed

Der er et minimalt olieforbrug til den relativt lille hydrauliske transportcylinder for bevægelse af knæleddene, hvorfor den nødvendige pumpekapaцитet kan mindskes med mindre strømforbrug til følge.

Knæledslukkeenheden, hvor bevægelsen af knæleddene er tvangsstyret, kan arbejde noget hurtigere end den fuldhydrauliske lukkeenhed.

Tætningsproblemer ved den lille hydraulikcylinder er minimal, da slita-gen er begrænset med den lille vandring, cylinderen udfører.

Indstilling af formhøjde kan uden motorindstilling være besværlig. Knæleddene, der skal være fuldt udstrakt ved formlukning, virker begrænsende for formindbygningshøjden, der ikke kan være trinløs.

Knæledslukkeenheden har mange bevægelige og hårdt belastede led.

Fuldhydraulisk lukkeenhed med integreret transportcylinder

I en lukkeenhed med en centralt virkende, dykket cylinder (plungercylinder) sørger plungercylinderen for hurtig udskiftning af olie til lukkecylinderen direkte fra den umiddelbart underliggende olietank ved åbne- og lukkebevægelserne.

På den komplette to-trins lukkeenhed er den hydrauliske transportcylinder integreret med den hydrauliske lukkecylinder, som er monteret på sprøjttestøbemaskinens bagerste flydende travers. Det bagerste flydende travers er fæstnet til et bevægeligt mellemplan, der er i fast forbindelse med det bevægelige opspændingsplan.

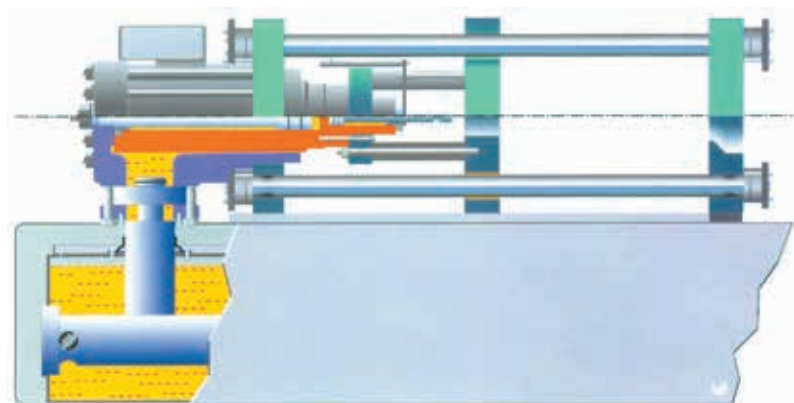
Formindbygningshøjden er frit indstillelig og selvjusterende via maskinens skærmstyring.

Lukkeenheden er opbygget på to kraftige skinner, der er monteret direkte på maskinstativet til at sikre stabilitet og parallelitet af opspændingsplanerne.

De to kraftige skinner danner et vandret, stabilt underlag og understøtning for det bevægelige opspændingsplans to glidesko.

De to bevægelige planer, opspændings- og afstandsplan, er forsynet med selvsmørende lejevøsninger for smørfri vedligeholdelse af maskinens fire søjler.

To-trins fuldhydraulisk lukkeenhed (Battenfeld)



Skematisk to-trins hydraulisk lukkeenhed med en centralt virkende, dykket cylinder (plunger-cylinder) (Battenfeld)

Hydraulisk lukkeenhed med afstandsarm

Formindbygningshøjden indstilles via en hydraulisk klinkelåsning af afstandsarmen, som er justerbar i to notspor.

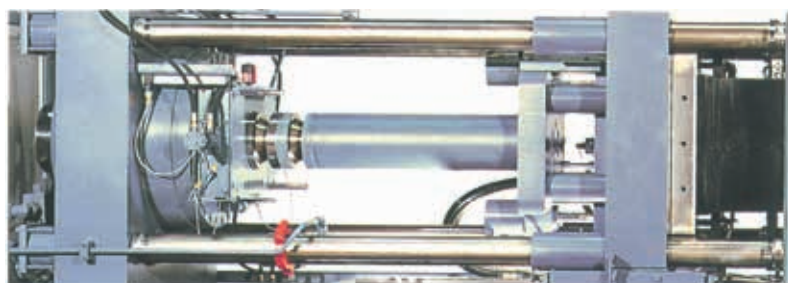
Afstandsarmen, der er fast monteret på det bevægelige afstands- og opspændingsplan, overfører lukkehøjtrykket til det bevægelige opspændingsplan fra trykdåsen, der er monteret på den bagerste travers via klinkelåsen.

Ved formåbning frigøres den hydrauliske klinkelås, hvorefter transportcylindren åbner værktøjet, og afstandsarmen glider ind gennem hullet i trykdåsen.

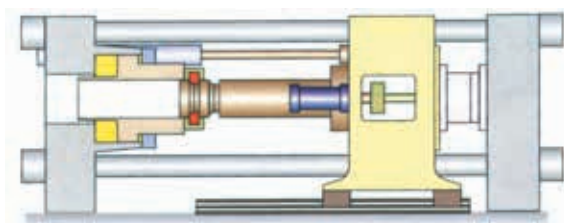
Transportcylindrene kræver kun en mindre oliemængde til det relativt lette arbejde med at åbne og lukke værktøjet. Trykdåsen, der har minimal vandring, kræver ligeledes en mindre oliemængde til lukkehøjtrykket, hvorfor konstruktionen er energibesparende.

Denne maskinkonstruktion minder meget om svingarmsprincippet, men med den fordel, at "armen" blot forsvinder ind gennem trykdåsen, hvorfor maskinen får en mere rolig åbne- og lukkerytme.

Dette konstruktionsprincip er ikke egnet som "hurtigløber", hvilket betyder, at maskinen ikke egner sig til hurtige åbne- og lukkebevægelser.

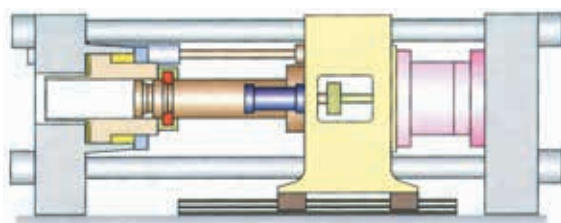


To-trins hydraulisk lukkeenhed med hydrauliske transportcylindre for hurtig åbne- og lukkebevægelse samt en hydraulisk trykdåse til opbygning af lukkehøjtrykket (Battenfeld)



Lukkeenheden i position for minimal formindbygningshøjde

- Trykdåse i forreste position
- Klinkelås i notspor nr. 1
- Minimal indbygningshøjde



Lukkeenheden i position for maksimal formindbygningshøjde

- Trykdåse i bagerste position
- Klinkelås i notspor nr. 2
- Maksimal indbygningshøjde

Etagelukkeenhed

Etagelukkeenheden fungerer, ved at et toetagers værktøj (dobbeltværktøj) indbygges i maskinens lukkeenhed på hver side af et mellempå.

Mellempånet aktiveres via et specielt knæarms-system, der er monteret drejeligt på mellempånet. Når maskinen åbnes, drejes og udrettes knæarms-systemet og holder dermed mellempånet centreret mellem det faste og det bevægelige opspændingsplan.

Indløbssystemet er udført som en gennemgående pneumatisk varme-kanal til begge emner eller værktøjer.

Patenteret Husky sprøjtestøbemaskine monteret med etagelukkeenhed (stack mould carriers) (Husky)



Denne form for opbygning af ”dobbeltværktøjer” kendes fra almindelige etageværktøjer. Princippet betyder dobbelt output med det halve lukkekraftbehov. Dvs. maskinstørrelsen kan lukketryksmæssigt halveres.

Beregning af lukkekraftbehovet udregnes med kun den ene værktøj- etages projicerede emneareal.

Fordelen ved denne type maskine er først og fremmest, at der opnås dobbelt output med en væsentlig mindre lukkekraftkrævende produktion. Samtidigt er værktøjs-dimensioneringen noget anderledes, når der er tale om emner med stort fladeareal.

Endvidere behøver emnerne ikke nødvendigvis at være ens, idet det udmærket kan være to flerstyks-værktøjer med kaviteter til fx låg og tilsvarende bunde til hus-holdningsbokse.

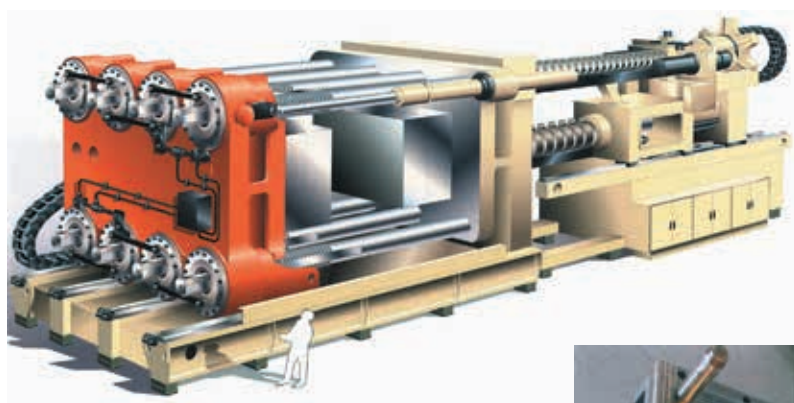
Den her viste maskin- og værktøjstype er meget robust, men desværre også relativt kostbar, hvilket betyder, at pågældende ”anlæg” først kommer på tale til store seriestørrelser.

Otte-søjlers, fuldt hydraulisk lukkeenhed

Til lukkehøjtrykket er maskinen udstyret med otte ”bajonet-lukkeenheder”, der er integreret i det bevægelige opspændingsplan.

I position ’form lukket’ bliver lukkestemplerne drejet 45° for at gå i indgreb med søjletandstængernes bajonetdel, inden det hydrauliske højtryk kan aktiveres for lukketryk.

Ved åbning drejes lukkestemplerne igen 45° for at frigøre søjletandstængerne fra bajonetenhederne, så åbnebevægelsen med transportcylindrene kan finde sted.



To-trins lukkeenhed med to dobbeltvirkende transportcylindre til hurtig åbning og lukning af formplanerne (Husky)

Maskinen er superstor med en lukkekraft på 80.000 kN.

Bemærk manden ved siden af maskinen.

Formen til ovenstående 80.000 kN sprøjtestøbemaskine til støbning af et bilkarosseri helt i plast (Husky)



Knæledslukkeenhed med integreret mellemlade

På knæledslukkeenheden med integreret mellemlade er den dobbeltvirkende, hydrauliske lukkecylinder monteret på den bagerste, faste travers med lukkecylinderens stempelstang fastgjort til den bevægelige mellemlade.

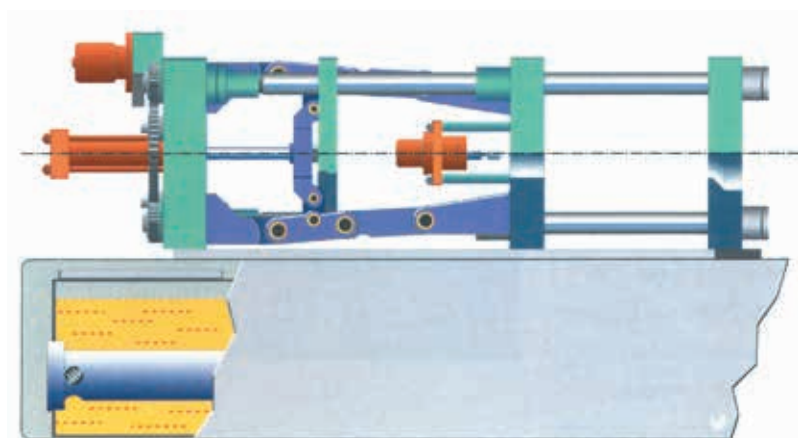
Knæledet er forbundet til maskinens bevægelige opspændingsplan og den bagerste travers, hvor det bevægelige mellemlan tjener som aktive-ringscenter for knæledet.

Alle knæledets bevægelige omdrejningspunkter er forsynet med selvsmørende lejer.

Knæledslukkeenhed med integreret mellemlade (Battenfeld)



Knæledslukkeenheden er med selvsmørende lejer (Battenfeld)



Den hydrauliske udstøder, der er placeret på det bevægelige opspændingsplan, er let tilgængelig og derfor let at arbejde med.

Formhøjden indstilles med den centralt anbragte indstillingsmekanisme på maskinens bagerste travers via en elmotor, der styres over maskinens styrepult.

Lukketrykket indstilles ved hjælp af et måleur, der omsætter søjlestrækket til aktuel lukkekraft.

Skematisk knæledslukkeenhed (Battenfeld)

Fem-punkts-knæledslukkeenhed

På fem-punkts-knæledslukkeenheden bruges ikke mellemlade, idet knæledet er fastgjort direkte på det bevægelige opspændingsplan.

Den hydrauliske tovejs-lukkecylinder er monteret på maskinens bagerste travers med cylinderens stempelstang direkte forbundet med knæledsystemet.

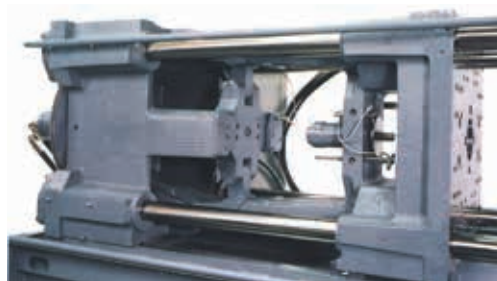
Alle knæledenes bevægelige omdrejningspunkter er forsynet med automatisk centralsmøring.

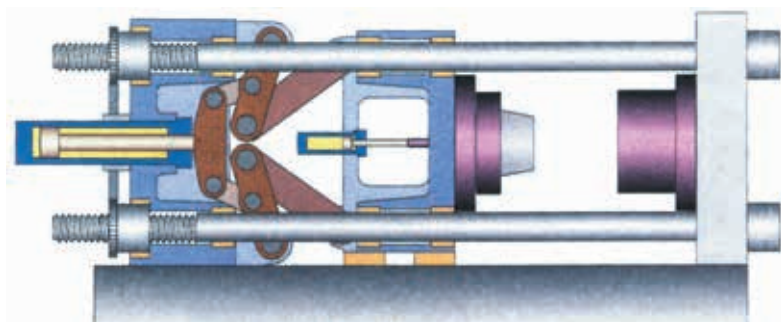
Den hydrauliske udstøder er monteret på det kraftige bevægelige opspændingsplan, hvor den er let tilgængelig at arbejde med.

Formhøjden indstilles hurtigt og sikkert med den centralt placerede indstillingsmekanisme, der er monteret på maskinens bagerste travers og som betjenes via maskinens styring.

Lukketrykket udmåles via søjlestrækket til aktuel lukkekraft.

Knæledslukkeenhed med fem-punkts-knæled (Battenfeld)

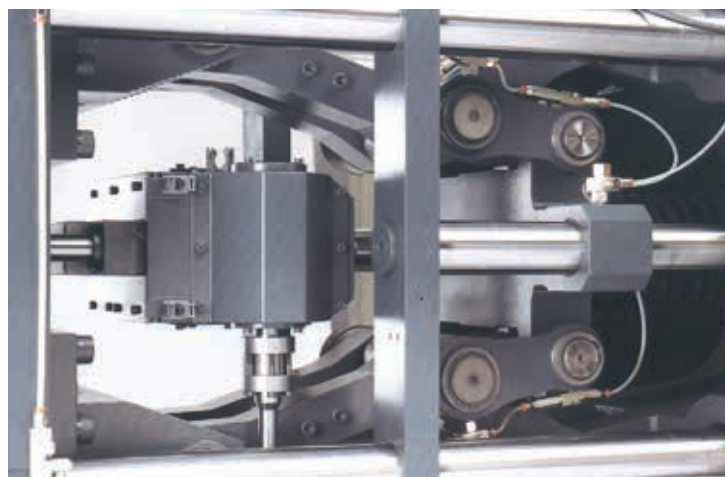




Fem-punkts-knæledslukke-system med åbent værktøj (Battenfeld)

Den centralt placerede formhøjdeindstillingsmekanisme fremgår tydeligt af tegningen.

Fuldelektrisk lukkeenhed med fire-punkts-dobbeltknæled (Ferromatik Milacron)



Fuldelektrisk lukkeenhed

Den nyeste generation af sprøjtestøbemaskiner er den fuldelektriske sprøjtestøbemaskine. På denne maskine er lukkeenheden selvsagt også fuldelektrisk.

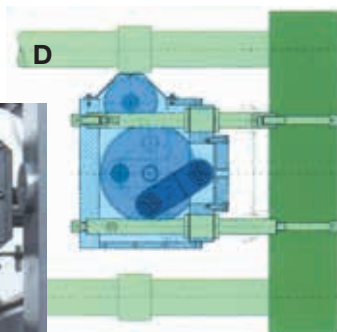
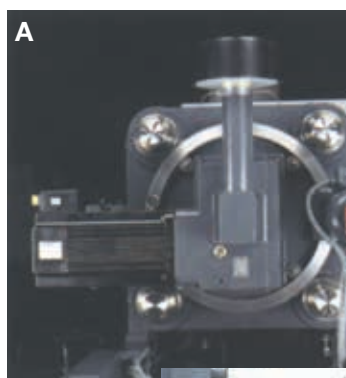
Lukningen foregår med et kurve- eller krumtap-drev til aktivering af et fire-punkts-dobbeltknæled. Gennem et dobbelt tandstangs-drev opnås højeste hastighed.

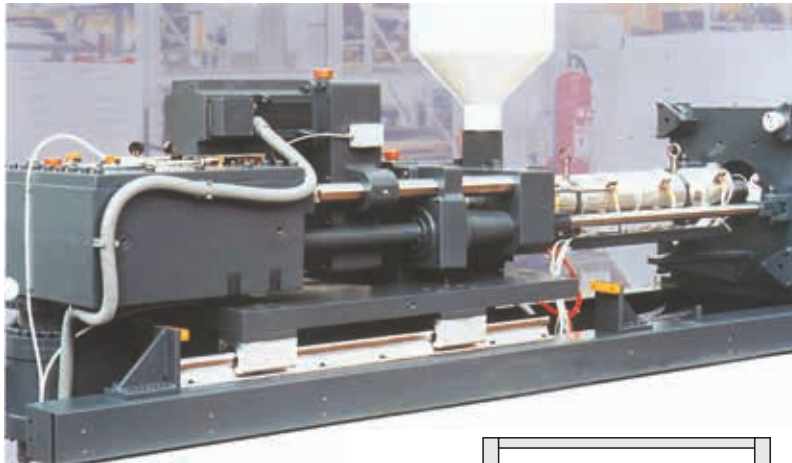
Under opbygning af lukkestrykket er maskinen gennem tandhjulenes udveksling konstrueret således, at belastningen på tandflangerne er i nærheden af nul.

Formhøjdeindstillingen foregår fuldautomatisk via en central tandkrans. Formhøjden bliver kontinuerligt overvåget og reguleret under lukkekraftopbygningen.

Udstøderprincippet foregår ligeledes via elektromekanisk udveksling.

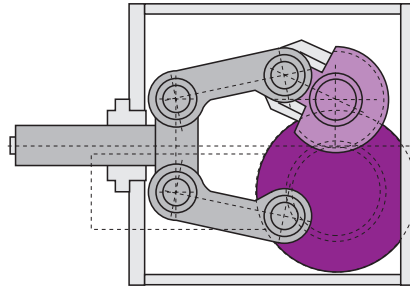
- A. Automatisk formhøjdeindstilling
- B. Central tandkrans til automatisk formhøjdeindstilling
- C. Udvekslingsdrev for udstøder
- D. Princip for udvekslingsdrev for udstøder (alle: Ferromatik Milacron)





Fuldelektrisk sprøjtestøbeenhed (Ferromatik Milacron)

Princippet for kurve- eller krumtapdrev, der trækkes af en servomotor med en maksimal periferihastighed på 60 m/sek.



Sprøjtestøbeenhed

Den fuldelektriske sprøjtestøbeenhed

Den fuldelektriske sprøjtestøbeenhed er nok noget af det nyeste og mest nøjagtige inden for sprøjtestøbeenheder.

Indsprøjtningen på den fuldelektriske sprøjtestøbeenhed foregår efter princippet "Kurbetrieb zum Einspritzen" - oversat til dansk: krumtapdrev til indsprøjtning.

Maskinen styres af servo-elektriske motorer, som har en meget fin positioneringsnøjagtighed med integreret stopvinkel på $1/10^\circ$, hvor den direkte mekaniske kobling på drevet sørger for usædvanligt fin præcision, som kendetegner de fuldelektriske sprøjtestøbeenheder.

Fuldhydraulisk sprøjtestøbeenhed med lineær glideføring

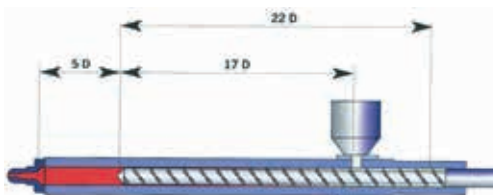
Den fuldhydrauliske sprøjtestøbeenhed med lineær glideføring har en hydraulisk radialstempel-snekkemotor, der gennem en snekkekobling er koblet direkte på snekken.

Dyseanlægstryk og sprøjteaggregatvandring foretages med to dobbeltvirkende hydraulikcylindre, som giver maskinen en god stabilitet til centrering af sprøjteenheden sammen med den lineære glideføring af sprøjteaggregatet.

Indsprøjtning foretages via fire dobbeltvirkende hydraulikcylindre. Snekken er en universalsnekke med et L/D-forhold på 22:1.

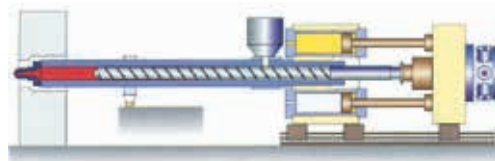
Indsprøjtningstryk og indsprøjtningshastighed er reguleret via en moog-servoventil.

Universalsnekke med et L/D-forhold på 22:1 (Battenfeld)



Skematisk sprøjtestøbeenhed (Battenfeld)

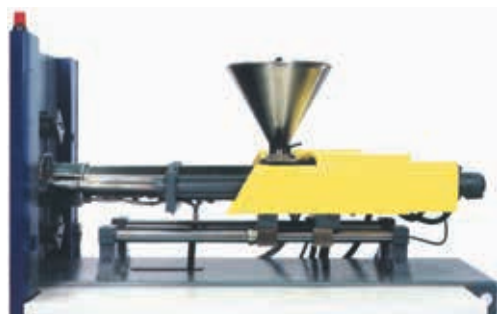
Sprøjtestøbeenheden har fire trækkende hydrauliske sprøjtecylindre.



Fuldhydraulisk sprøjtestøbeenhed med fire dobbeltvirkende, hydrauliske sprøjtecylindre (Battenfeld)



Fuldhydraulisk, kompakt og integreret sprøjtestøbeenhed med lineær søjleføring (Battenfeld)



Fuldhydraulisk sprøjtestøbeenhed med lineær søjleføring

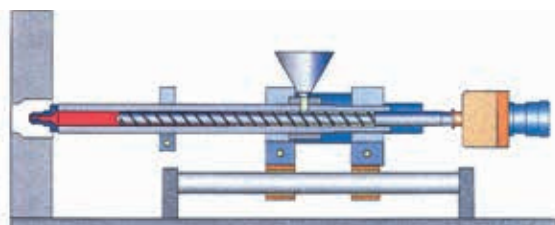
Fuldhydraulisk sprøjtestøbeenhed med lineær søjleføring er en fuldhydraulisk, kompakt opbygget sprøjtestøbeenhed, hvor den hydrauliske snekkemotor er koblet direkte på snekken.

De hydrauliske sprøjte- og anlægscylindre er integreret og kompakt sammenbygget med sprøjteaggregatet som en stabil og robust enhed.

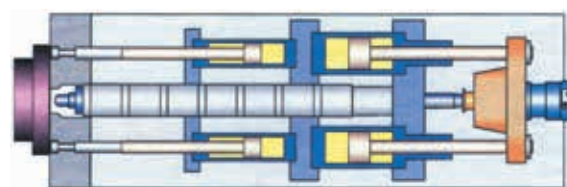
Den kompakte sprøjteenheds aksialbevægelse foregår med to dobbeltvirkende hydraulikcylindre, der kører på to søjler.

Indsprøjtningen foretages af to kompakte, integrerede, dobbeltvirkende hydraulikcylindre.

Snekken er en universalsnekke med et L/D-forhold på 22:1.



Sprøjtestøbeenheden skematisk (Battenfeld)



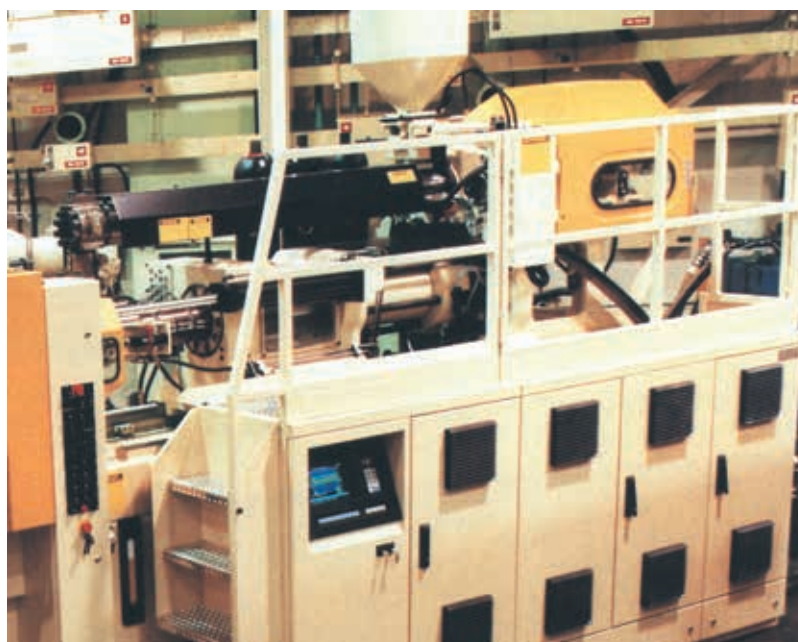
Sprøjtestøbeenheden skematisk, gennemskåret og set ovenfra (Battenfeld)

Sprøjtestøbeenhed med forplastificering

Den fuldhydrauliske sprøjtestøbeenhed med forplastificering anvender princippet med to-trins-insprøjtning.

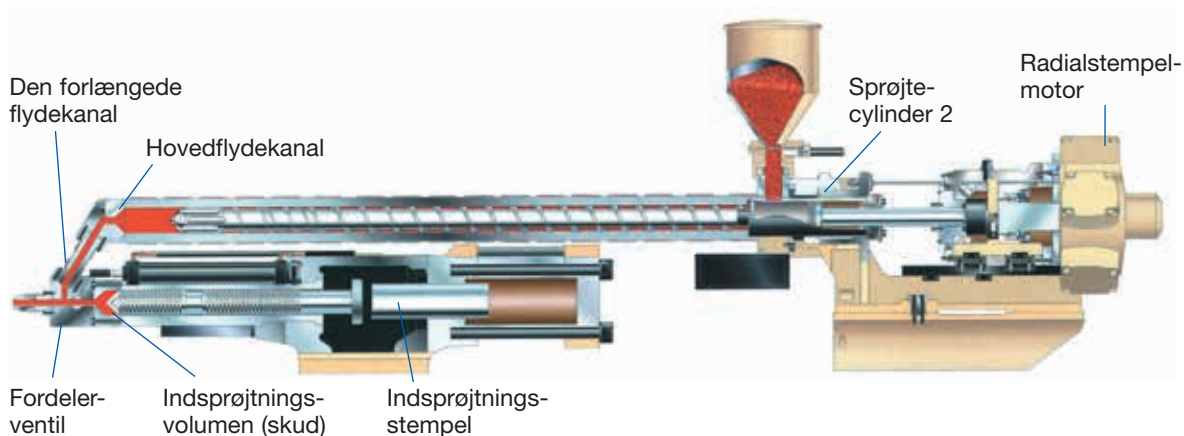
Sprøjteenheden er forankret til en glideskinne, hvorpå den aksiale bevægelse af sprøjteenheden sker ved hjælp af to dobbeltvirkende hydraulikcylindre.

To-trins-sprøjtestøbeenhed (Husky)



Plastificerings-snekken er drevet af en direkte koblet radialstempel-motor. Det plastificerede materiale strømmer gennem et gennemstrømningssystem til en fordelingsventil og videre til stempelforrummet, som opstår, ved at stemplet presses bagud af det fremstrømmende plastificerede materiale.

Indsprøjtningen foregår, ved at det hydrauliske stempel preser sprøjtestemplet (materiale-stemplet) frem gennem sprøjte-cylinderen. Den plastificerede smelte presses derved gennem dysen og ind i sprøjtestøbe-værktøjet.



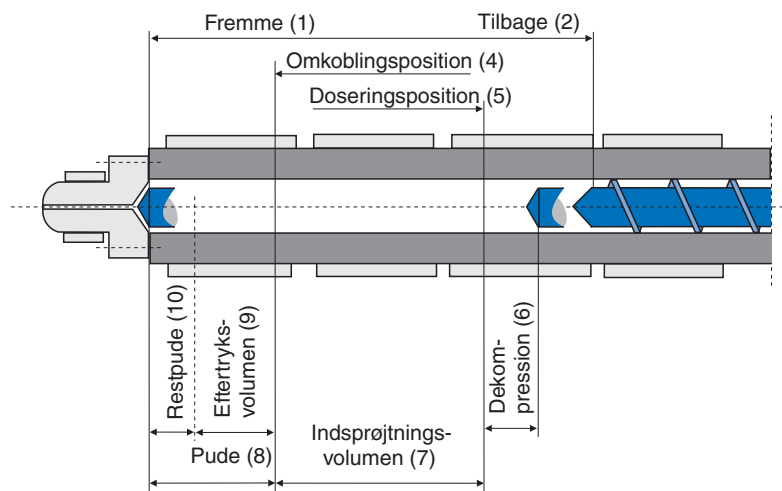
To-trins-sprøjteenhed som gennemskåret model (Husky)

Sprøjteenhedens funktion

Sprøjteenheden varetager mange funktioner, hvorfor der også knytter sig mange navne til denne enhed.

Nedenstående tegning viser snekken i forskellige positioner og med de mest anvendte benævnelser på snekkens positioner.

Snekkens positioner og benævnelser



1. "Fremme" betyder, at snekken er kørt i bundstilling, dvs. den kan ikke komme længere frem. Snekken stopper ikke, som det fejlagtigt ofte siges, ved at snekkespidsen kører i bund i sprøjte-cylinderen. Snekken kører ikke i bund i sprøjte-cylinderen, derimod kører hydraulikstempet i bund i hydraulik-cylinderen, hvilket den kan holde til, da hydraulik-cylinder og stempel er konstrueret til at opfange netop denne belastning. Der vil altid være luft mellem snekkespidsen og bunden af sprøjte-cylinderen efter restpuden og bundstilling.

Ved konstruktionsændringer af dyseflangen (dysehovedet) må spille-rummet mellem snekkespids og dyseflange opretholdes, da sprøjte-cylinderen (dyseflangen) og snekken ikke kan holde til, at snekken ramler imod dyseflangen den ene gang efter den anden.

Dyseflangen sidder som afslutning af sprøjte-cylinderen, hvori maskin-dysen er monteret.

2. "Tilbage" betyder, at snekken er kørt tilbage i bagerste position i sprøjtecyklindere, hvilket vil give maksimalt skudvolumen.
3. Maksimalt skudvolumen er det volumen, sprøjtecyklindere kan rumme mellem snekkens forreste og bagerste positioner.
4. "Omkoblingsposition" er den position, hvori snekken kobles om fra sprøjtetryk til eftertryk. Det benævnes ofte som "puden".
Omkobling betyder, at indsprøjtningen, der ofte sker med stor hastighed mellem 200 og 2.000 mm/sek. og med meget højt tryk måske mellem 50 og 180 MPa, nedsætter trykket til det ofte langt mindre eftertryk, som i fyldeskudsfasen er lig med nul MPa.
I fyldeskudsfasen, hvor fyldning af værktøjet sker ved trinvis at øge doseringen, omkobles sprøjte trykket til nul MPa for at skåne værktøjet mod overfyldning med det høje sprøjte tryk. Det betyder, at faren for værktøjshavari kan undgås.
5. "Doseringsposition" er den position, hvori snekken har nået den indstillede doseringsvej, svarende til det ønskede skudvolumen, vel at mærke når eftertryksvolumenet medregnes. Doseringsvejen bør ikke overstige 4D.
6. "Dekompression" eller kompressionsaflastning, som det også benævnes, betyder, at smelte trykket aflastes, ved at snekken uden rotation hydraulisk trækkes et stykke tilbage i sprøjtecyklindere. Endvidere vil dekompressionen bevirke, at materialet trækkes lidt væk fra maskindysen, således at det smeltede materiale ikke savler ud af dysen, samt at koldpropper i dysen kan undgås.
Dekompressionsvejen udgør omkring 5 % af skudvolumenet, hvilket på mindre maskiner frit kan oversættes til 2-5 mm.
Dekompressionen vil normalt på grund af dekompressionstrykket overstige den indstillede vejlængde med flere millimeter.
7. "Indsprøjtningens volumen" er det volumen, der sprøjtes ind i værktøjet, svarende til det doserede materiale frem til omkoblingspositionen.
8. "Pude" er/betyder den positionsindstilling, hvori omkobling fra sprøjte tryk til eftertryk indtræffer. Denne omkobling betyder ikke, at snekken stopper her under indsprøjtningen. Snekken farer frem i sprøjtecyklindere under stort tryk og med høj hastighed og besidder så megen inert, at den når frem og ind i pudeområdet.
Denne indtrængning i pudeområdet er afhængig af materialets viskositet (smelteindeks). Et højt smelteindeks er ensbetydende med stor indtrængning. Ved et materiale med meget høj smelteindeks kan det blive nødvendigt at nedsætte indsprøjtningshastigheden for i det hele taget at kunne opnå en pude og dermed også den vigtige restpude.
Puden består af eftertryksvolumen og restpude.
For at kunne nå at aflæse puden i fyldeskudsserien er det nødvendigt at indstille en doseringsforsinkelsestid, som bør fjernes igen ved eftertryksserien, da denne tid kan bevirke forlænget cyklistid.
9. "Eftertryksvolumen" er det volumen, der anvendes til efterfyldning af værktøjet i eftertryksfasen.
Efterfyldningen, der anvendes som en kompensation for størkningsvind, skal i størst muligt omfang forhindre sugninger og indfaldssteder på de færdigstøbte emner.
10. "Restpude" er det volumen af materiale, der befinder sig foran snekkespidsen, når eftertrykstiden udløber. Restpuden skal forhindre snekken i at sprøjte i bund, da det vil betyde, at eftertrykket vil være virkningsløst, hvorved emnerne vil ende med sugninger, samt at produktionen vil være meget ustabil, eventuelt vil nogle af emnerne ikke være fuldstøbt.
En aflæsning af restpuden kan indikere produktionsstabilitet.



Trezone-snekke med et L/D-forhold på 22:1

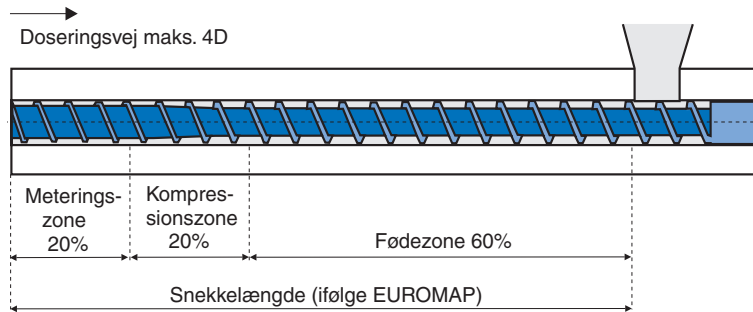
Forholdet mellem snekkens længde og de forskellige snekkezoner er:

- Fødezone = 60 %
- Kompressionszone = 20 %
- Meteringszone = 20 %

Snekkegeometri og snekkeudnyttelse

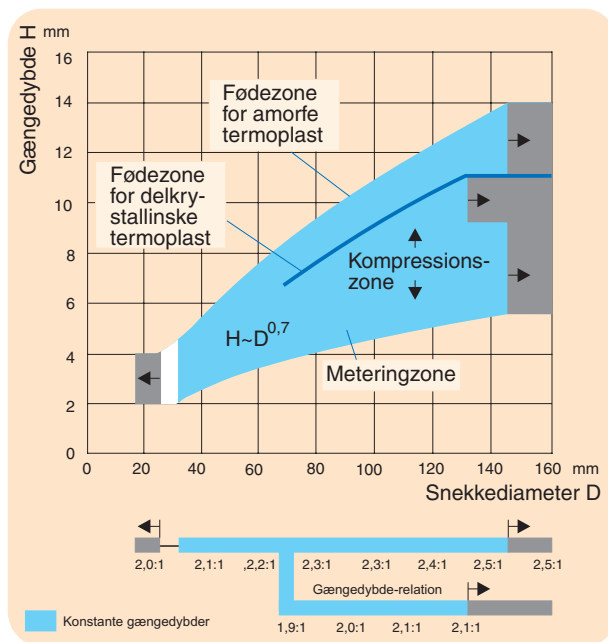
Snekkens længde karakteriseres ved forholdet mellem dens længde og dens diameter, benævnt som L/D-forholdet. L/D-forholdet har stor betydning for effektiv plastificering og homogenisering af plastmaterialerne.

De fleste nyere sprøjtestøbemaskiner er i dag udstyret med en trezone-snekke med et L/D-forhold på 22:1. Denne type af snekker har vist sig hensigtsmæssig til forarbejdning af termoplastiske materialer og anbefales af flere råvareleverandører.



Andre daglige benævnelser

- Trezone-snekke = universal-snekke
- Fødezone = transportzone eller indsugningszone
- Meteringszone = udstødningszone



Snekke-gængedybde og snekkegængestigning

Gængedybden er karakteriseret ved et forhold mellem snekkediameter, gængedybde og gængedybde-relationer, ligesom gængestigningen er forholdet mellem snekkediameteren og snekkestigningen.

Gængedybden er ikke ens i hele snekkens længde, og der findes forskellige snekker til forskellige materialer. Se diagrammet til venstre.

Snekkeprofil

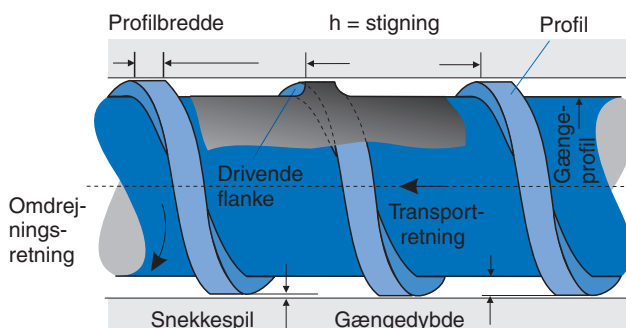
Snekken kan karakteriseres ved at bestå af en snekkekerne, omkring hvilken snekkeprofilen, snekkegængerne, snor sig skrueformet i snekkens længde.

Mellem snekken og sprøjtecyklens væg tillades et vist spillerum, som er afhængigt af snekkens længde/rethed, idet snekkegængerne ikke må skrabe mod cylindervæggen. Spillerummet eller tolerancen ligger mellem 0,1 og 0,3 mm.

Under doseringen formindskes materialets volumen fra at være granulat-korn, der fylder noget mere end den smeltede plast. Det er derfor vigtigt, at materialet får forholdsvis mindre plads, efterhånden som doseringen skrider frem, og materialet smelter, så luften mellem granulat-kornene presses bagud i snekken og op gennem materialetragten. Dette opnås ved at mindske enten snekkestigningen eller dybden på snekkegængerne.

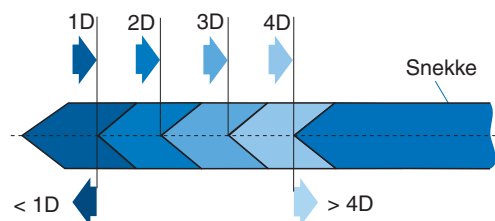
Sammenhæng mellem snekkediameter, gængedybde og gængedybde-relationer

(Bayer A/S)



Benævnelser på snekken

1D til 3D er optimalt område.
3D til 4D er acceptabelt område.
Mindre end 1D er ikke acceptabelt.
Større end 4D er ikke acceptabelt.



På nyere sprøjtestøbemaskiner er snekkestigningen konstant modsat på ældre maskiner, hvor snekkestigningen er faldende hen mod snekkespidsen.

Når snekkestigningen er konstant, må gængedybden gøres mindre ligeledes hen mod snekkespidsen for at imødekomme behovet for smeltens volumenformindskelse.

Brugbare og mulige doseringsveje

Sprøjtestøbemaskinfabrikanter leverer maskiner efter kundernes ønske, men er på grund af leveringstider nødsaget til at have et vist lagersalg, hvorfor alle fabrikanter har et bredt sortiment af standarddele til sprøjtestøbemaskinerne.

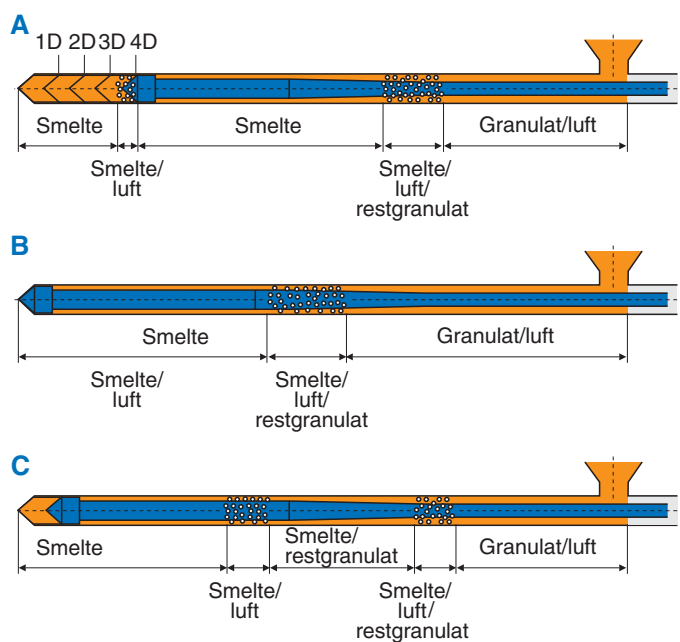
En standardmaskine kan ofte leveres med 3-4 sprøjteenheder, dvs. med 3-4 snekker. Idealmaskinen er den maskine med den mindste snekke, når der ses på henholdsvis sprøjtetryk og den effektive doseringsvej, hvilket ikke altid står i forhold til skudvolumen, doseringsvej og lukkeenhed.

Som den mest effektive anbefales en doseringsvej, der ligger mellem 1D og 3D, hvilket betyder en doseringsvej på henholdsvis 1 og 3 × snekkens diameter.

Luft i plastsmelten

Under sprøjtestøbeprocessen er det vigtigt, at materialets forarbejdningsbetingelser er optimale, hvilket ud over den rigtige varmeindstilling omfatter en snekke, der er optimal til håndtering af materialet, dvs. at snekkens doseringsområde ligger i området 1-3D.

Luft i en smelte vil ødelægge de omliggende molekyler, når den indsprøjtes i værktøjet, idet der sker en lokal forbrænding. Emnet vil da også indeholde luft (der ikke må forveksles med indesluttet luft), som medfører en ringere emne kvalitet. Der vil også være synlige forbrændingsstriber på emneoverfladen.



Snekkes luftindtag ved anvendelse af for stor doseringsvej

A. Efter opsnekning. Der er luft iblandet smelten i området 4D.

B. Efter indsprøjtning. Der er luft i materialet før kompressionszonen.

C. Efter fornyet opsnekning. Luften fra billede B er flyttet til kompressionszonen. Såfremt doseringen stopper ved området 3D, vil luften ikke nå smelten, der befinder sig foran snekkespidsen, men tværtimod blive presset bagud for til sidst at undslippe igennem materialetragten.

Snekkeslitage

Som ved alt mekanisk udstyr udsættes plastificeringsenheden for slitage i forbindelse med forarbejdning af termoplast.

Indholdet og bestanddelene af fyldstoffer eller pigmenter har stor indflydelse på slitagen af snække, spærring, dyse og sprøjtecylinder.

Der skelnes principielt mellem abrasion (afskrabning) og korrosion (ætsning eller opløsning), som er fænomener, der kan optræde hver for sig eller samtidigt.

Slitage på komponenterne opdages ofte først på et sent tidspunkt, fx når der optræder funktionsforstyrrelser. I mange tilfælde vil slitage dog have gjort sig bemærket tidligere i form af misfarvninger af overfladen eller ustabilitet i emnernes vægt- og målspredning.

I andre tilfælde ses emnefejl forårsaget af slitage ikke umiddelbart, idet fejlene optræder indvendigt i emnerne.

Sådanne slitageproblemer forårsager ikke kun store omkostninger på grund af udskiftning af nedslidte, ikke funktionsdygtige maskindele som snekker, cylindre og tilbageløbsspærrer, men også gennem højere kassationsrater og mindre udnyttelsesgrad af maskinen på grund af tabt tid til stilstand og reparation.

Det er derfor vigtigt at vælge maskindelen i de rigtige stålqualiteter og med den rigtige overfladebehandling til en specifik, krævende forarbejdning for bedst mulig beskyttelse mod slitage. Maskinfabrikanterne har stor ekspertise på dette område.

Til normal sprøjtøbning, altså uden fyldstoffer og uden korroderende pigmenter, vælges standardstål, som har en universal overfladehårdhed og overfladebeskyttelse.

Snekkespids med tilbageløbsspærrer

En væsentlig detalje ved snekken og snekkens funktion er snekkespidens udformning med tilbageløbsspærreringen.

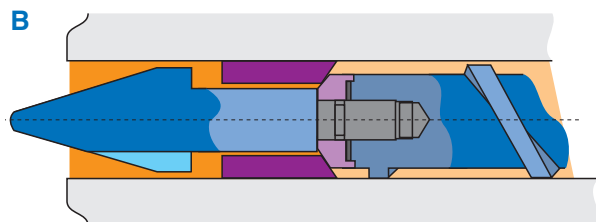
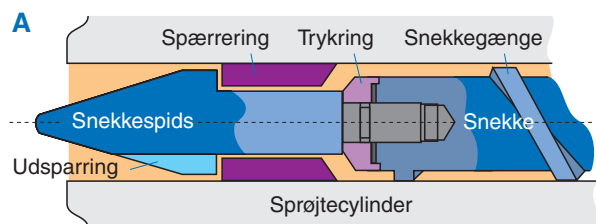
Tilbageløbsspærrerens funktion er i det væsentligste at forhindre tilbagestrømning af materiale i snekken under indsprøjtningen. Spærreringen ændrer snekken til et stempel under indsprøjtningen.

Spærreringen har ingen funktion under opsnekning, idet den under doseringen skal tillade materiale at passere, hvilket sker, ved at det til stadighed fremstrømmende materiale trykker ringen fremad og dermed åbner for passage af det smeltede materiale, der vil strømme frem foran snekkespiden, som derved bliver trykbelastet og skubbet bagud i cylinderen.

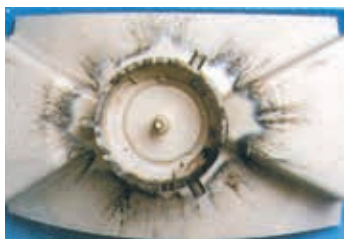
Snekkespids med tilbageløbsspærrering

A. Spærrering åben

B. Spærrering lukket



Emner med stærk misfarvning forårsaget af nedbrudt og afrevet smelte



Misfarvning og nedbrydning af smelte på grund af dårlige tætningsflader

Ved adskillelse og samling af sprøjteenhedens komponenter er der fra maskinproducenten opstillet nogle detaljerede anvisninger på korrekt montering og samling af de forskellige komponenter fx maskindyse, cylinderhoved, tilbageløbsspærre, maskinflange og dysespids.

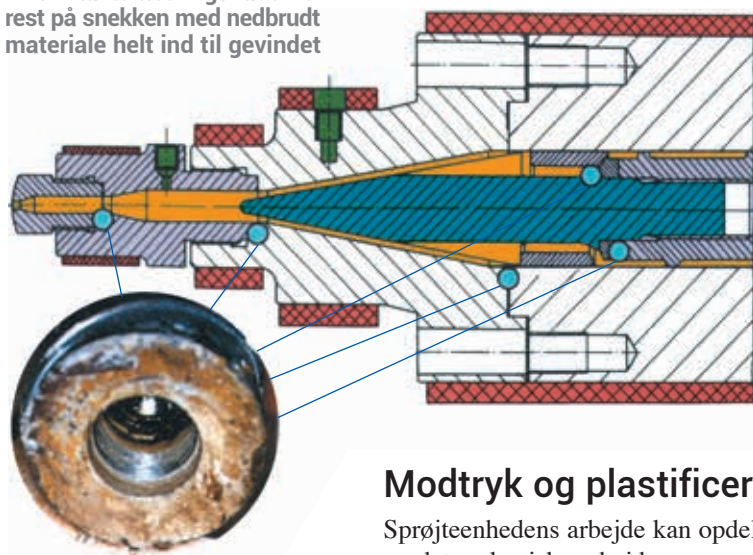
Maskindelen skal naturligvis være helt rene for fastsiddende og eventuelt forbrændt plast. For at sikre, at tætningsfladerne er i fuld kontakt med hinanden, kan der anvendes mærkeblåt under monteringsprocessen.

En hyppig årsag til misfarvninger fra nedbrudt smelte er ofte ikke-intakte tætnings- og samleflader i plastificeringsenheden.

Følgende tætnings- og samleflader skal være intakte:

- Maskindysen og dysehovedet
- Dysehovedet og maskinflangen
- Dyseflangen og sprøjte-cylinderen
- Snekespidsen og snekken

Ikke-intakte tætningsflader forrest på snekken med nedbrudt materiale helt ind til gevindet



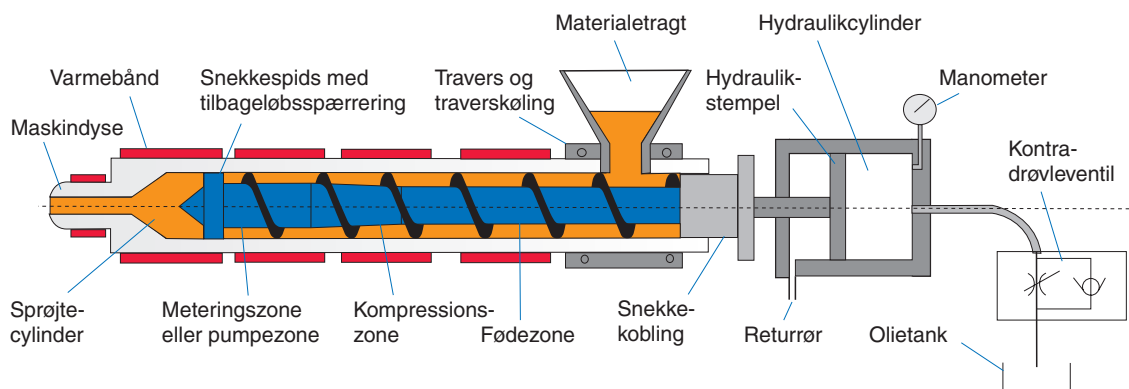
Såfremt disse tætnings- og samleflader er beskadiget, måske ikke fremstillet eller monteret korrekt, kan der opstå "døde hjørner", hvor det smeltede materiale kan aflejres, hvorved det får for lang opholdstid og temperaturstigning, hvilket vil nedbryde molekylerne.

Den derved beskadigede smelte bliver af den efterfølgende smelte revet med og indsprøjtet i værktøjet, hvor den forårsager emner med stærk misfarvning.

Modtryk og plastificering

Sprøjteenhedens arbejde kan opdeles i henholdsvis det materialemæssige og det mekaniske arbejde.

Sprøjtestøbeenheden og de komponenter, der har med materialeplastificeringen at gøre, fra materialet fyldes i tragten, og til det er klart til indsprøjtning



Dosering

Inden plastificeringen påbegyndes, er de forskellige maskinindstillinger foretaget, og varmebåndene er indstillet på den korrekte cylindertemperatur, som er opnået.

Traverstemperaturen er indstillet til korrekt temperatur afhængigt af det for tørrede materiales temperatur, således at kondensfugt undgås.

Der er materiale i tragten, sprøjtecyklinderen har den korrekte temperatur, og maskinen påbegynder opsnekning, dvs. snekken roterer, indsig-ningszonen (fødezonen) transporterer det endnu usmelte granulat fremad mod kompressionszonen, samtidigt med at materialet så småt begynder at blive klæbrigt, kort før kompressionszonen nås.

Ved kompressionszonen begynder det frie volumen mellem snekkekængerne at mindskes, samtidigt med at materialet nu ændrer karakter fra granulat til smeltet materiale, hvorved der samtidigt sker en volumenformindskelse af materialet, idet materialet fylder mindre i smeltet tilstand end som granulat.

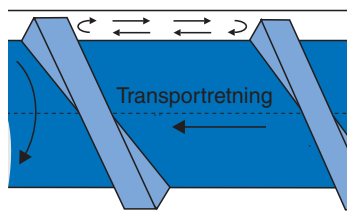
I fødezonen sker materialetransporten, ved at snekkekængerne skubber granulatene fremad mod kompressionszonen.

I kompressionszonen foregår fremtransporten af materialet, der nu er smeltet og klæbrigt, ved at materialet klæber sig fast til den varme cylindervæg, hvor det af den/de roterende snekkekænger til stadighed bliver skrabet af. Herved opstår der en roterende bevægelse i materialet mellem snekkens gænger, så der hele tiden kan komme nyt materiale frem, der så klæber sig til den varme cylindervæg, hvorved materialet bliver godt æltet og plastificeret.

I meteringszonen (udstøderzonen) fortsættes denne æltning af materialet, til det når frem foran snekkespidsen, hvor tilbageløbssperren blot lader materialet passere.

Materialet er nu plastificeret, homogent og temperaturhomogent, dvs. et delkrystallinsk materiale har opnået dets amorf struktur, idet alle krystallitterne er smeltet og parat til at blive sprøjtet ind i formen.

Den roterende materialebevægelse mellem snekkens gænger



Opvarmning af materialet under doseringen

Den varmeenergi, plastmaterialet bruger til at nå smeltetilstand, kommer dels fra varmebåndene og dels fra friktion mellem materialets molekyler. Da plast er en dårlig varmeleder, bliver granulatene kun langsomt blødere, indtil friktions- og forskydningskræfterne overvindes ved den æltning, der sker i kompressionszonen.

Herved frembringes der en del friktionsvarme, og sammen med den tilførte energi fra varmebåndene bevirker det, at materialet smeltes.

Modtryk

Det smeltede materiale vil under doseringen hele tiden blive transporteret eller strømme frem foran snekkespidsen, hvorved snekken vil blive presset bagud.

Den hastighed, hvormed snekken presses bagud, hænger nøje sammen med snekkens rotationshastighed og det indstillede modtryk.

Modtrykket er nødvendigt for at få tilstrækkeligt god, plastificeret og homogen smelte uden luft, idet snekkes tilbagegangen uden modtryk vil foregå så hurtigt, at den luft, der befinder sig mellem granulatene, ikke vil kunne nå at undslippe.

Den tilbagepressede luft kan kun undslippe ved at blive fortrængt tilbage i snekken og ovenud ad materialetragten.

Modtrykket i forrådsrummet (rummet foran snekkespidsen) reguleres anvendeligt inden for ca. 25 MPa og nedefter. Modtryk over denne værdi vil ikke bibringe materialet noget positivt, men blot til slut bevirke, at snekken ikke kan presses bagud, og materialet kun vil stå og pløre i sig selv.

Med visse delkrystallinske materialer kan det blive nødvendigt med en afmontering og rensning af snekken, såfremt denne ”pløren” fortsætter i nogen tid.

Under doseringen sker der en tilbageføring af snekken, hvorfor den olie, der er på bagsiden af hydraulikstempet, vil skulle fortrænges til olietanken. Reguleringen af den fortrængte olie sker via kontra-drøvleventilen.

Ved at besværliggøre oliefortrængningen kan snekken ikke tilbageføres uhindret, hvorved en vis træghed er opstået, dvs. snekken arbejder nu under et reguleret modtryk, som kan aflæses på manometeret.

Dekompression

Idet snekken arbejder under modtryk, er der opstået et tryk i sprøjte-cylinderens forrådsrum. Dette tryk kan og bør aflastes, senest når sprøjte-enheden aflaster efter endt dosering, idet trykket ellers vil forårsage flydning af materiale ud af maskindysen, såfremt der ikke arbejdes med ”lukkedyse”.

Dekompression (trykaflastning) sker, ved at snekken hydraulisk tilbageføres i sprøjte-cylinderen, ved at der på forsiden af sprøjtestemplet tilføres et olietryk tilpas stort til at overvinde det indstillede modtryk på kontradrøvleventilen og friktionen mellem snekken og sprøjte-cylinderen.

Dekompressionsvolumenet indstilles afhængigt af snekkediameter, anvendt modtryk og doseringsvolumen og bør som tommelfingerregel være så lille som muligt.

Omsætningsfaktor

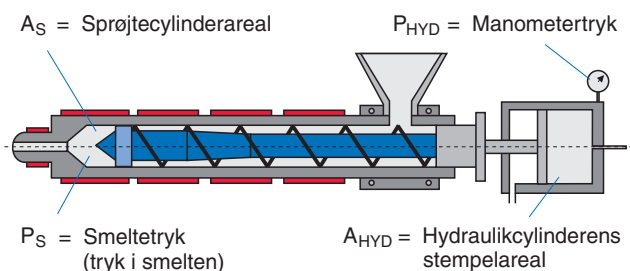
Sprøjtetryk, sprøjte-hastighed og eftertryk kan fastsættes ud fra forskellige faktorer fx:

- Smeltens viskositet
- Emneudformning
- Godstykkelse og flydevej
- Indløbstype og fordelekanaler

Når der aflæses og indstilles henholdsvis sprøjtetryk, eftertryk og modtryk, sker det ud fra et forhold mellem hydraulikcylinderens og sprøjte-cylinderens arealer.

Fra hydrauliktryk til smeltetryk

Ved at multiplicere hydraulikcylinderens areal med manometertrykket og dividere resultatet med sprøjte-cylinderens areal fås smeltetrykket. Det kan udtrykkes ved nedenstående formel:



$$P_S \times A_S = P_{HYD} \times A_{HYD}$$

$$\text{eller } P_S = \frac{P_{HYD} \times A_{HYD}}{A_S}$$

Udregningseksempler

	1	2	3
D	120	80	100
d	40	25	35
OF	9	10,24	8
P _{HYD} (MPa)	5,5	5,5	14
P _{SPEC} (MPa)	49,5	56,32	112

Eksempel

Manometertryk:
8 MPa eller 80 bar.

Omsætningsfaktor:
9 (ingen benævnelse).

Specifikt tryk (fx sprøjtetryk):
8 × 9 = 72 MPa, eller 80 × 9 =
720 bar.

Forholdet A_{HYD}/A_S kan benævnes som omsætningsfaktor = OF, også defineret som: Omsætningsfaktoren er lig med forholdet mellem hydraulikcylinderens areal og sprøjtetrykcyklens areal, der kan udtrykkes ved formlen:

$$OF = \frac{R^2}{r^2} \text{ eller } \frac{D^2}{d^2}$$

Omsætningsfaktoren udtrykker udvekslingen fra hydrauliktryk til smeltetryk, hvilket er en vigtig forudsætning for at kunne flytte et værktøj mellem flere maskiner, idet et hydrauliktryk på en maskine bestemt ikke giver samme smeltetryk på en anden maskine. Manglende viden herom kan ofte give anledning til problemer med overholdelse af stillede kvalitetskrav, medmindre formen altid bruges i samme maskine.

Det er ikke relevant at angive sprøjtetryk, eftertryk og modtryk aflæst som manometerværdi, men altid at angive disse værdier i specifikke værdier (specifik = special eller entydig), som udregnes ved:

$$\text{Manometertryk (MPa eller bar)} \times \text{omsætningsfaktor (OF)} \\ = \text{specifikt tryk (MPa eller bar)}$$

Dette tryk er anvendeligt for et værktøj til produktion i alle passende maskiner, vel at mærke når omsætningsfaktoren er kendt på disse andre maskiner, således at der kan regnes tilbage til manometertryk.

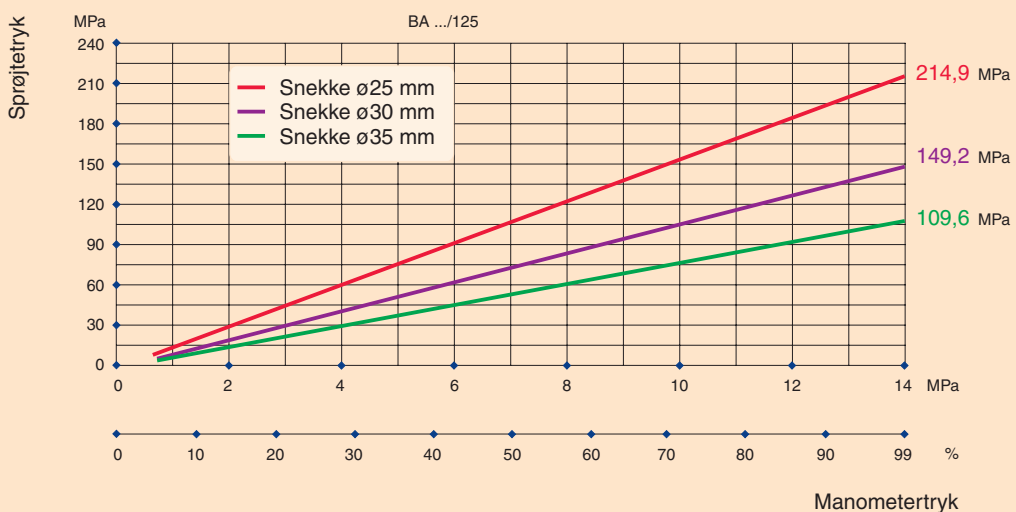
Sådanne udregninger kan normalt undgås, idet maskinfabrikantene sammen med maskinmanualen leverer et diagram for sprøjtetryk.

Sprøjtetryksdiagram

Som det fremgår af sprøjtetryksdiagrammet, leveres sprøjteenhed type BA.../125 med tre forskellige snekestørrelser: 25, 30 og 35 mm.

Disse tre snekker har et maksimalt sprøjtetryk på henholdsvis 215, 150 og 110 MPa. Sidstnævnte tryk er meget lavt, men den snekke giver et stort skudvolumen.

Gå ud ad X-aksen, aflæs manometertrykket 10 MPa, gå lodret op, til linjen skærer kurven for 30 mm-snekken, gå derefter vandret til venstre, indtil linjen skærer Y-aksen, aflæs det specifikke sprøjtetryk til 105 MPa.



Anbefalet periferihastighed ved forskellige materialer

Ved at indsætte de forskellige materials periferihastighed i nedenstående formel: (Materialets maks. V i m/sek. $\times 60.000/\pi/d$ = omdr./min) fremkommer en brugbar formel for indstilling af snekkeomdrejninger med hensyntagen til materialet og snekkestørrelsen. Værdierne er vejledende!

	Maks. V i m/sek.	Snekke- omdr./min
<i>Amorfe</i>		
ABS, ABS/PC, PVC	0,2	3.820/d
PMMA	0,3	5.820/d
PC	0,4	7.600/d
PES, PSU, PC, GF, SAN	0,6	11.500/d
PS	0,9	17.100/d
<i>Delkrystallinske</i>		
PBT, PBT GF	0,2	3.820/d
POM	0,3	5.800/d
PC/PBT, PPS	0,4	7.600/d
PA6 GF, PA66 GF	0,6	11.500/d
PA6, PA66	0,8	15.250/d
PE, PP	0,9	17.100/d
<i>TPE (Termoplastiske elastomerer)</i>		
TPE-A, TPE-V, TPE-O	0,6	11.500/d
TPE-E	0,4	7.600/d
TPE-S	0,8	15.250/d
TPE-U	0,2	3.820/d

Eksempel 1:

Materiale: POM

Snekkestørrelse $d = 30$ mm

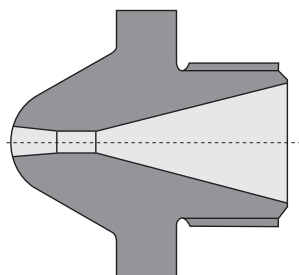
Snekkeomdrejninger = $5.800/30$
= ca. 193 omdr./min

Eksempel 2:

Materiale: POM

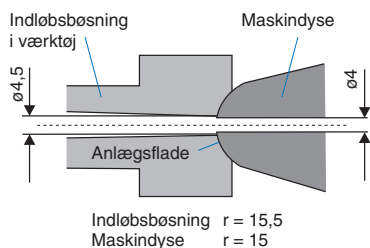
Snekkestørrelse $d = 50$ mm

Snekkeomdrejninger = $5.800/50$
= ca. 116 omdr./min



Almindelig åben dysespids

Denne skrues normalt ikke direkte i cylinderflangen uden et mellemstykke, hvor på dysevarmebåndet sidder.



En åben dyse med korrekt anlægs-radius og med korrekt forhold mellem hullet i maskindysen og tapindløbet i indløbsbøsningen

Et $\phi 4$ hul i dysen og et $\phi 4,5$ hul i indløbsbøsningen er et passende forhold mellem de to huller. Såfremt forholdet havde været omvendt, ville det ikke altid være muligt at få indløbet til at følge med over i den bevægelige forpart under afformning.

Snekkeomdrejninger

Indstilling af snekkeomdrejninger sker fx på råvareleverandørens anbefaling for at undgå for store forskydnings hastigheder i henhold til maksimal periferihastighed.

Periferihastigheden er den hastighed, den udvendige snekediameter (gængen) tilbagelægger i en bestemt periode og opgives som oftest i m/sek. På sprøjtstøbemaskinens skærm opgives hastigheden som regel i omdrejninger pr. minut (omdr./min).

Formler til beregning af periferihastighed:

Snekkeperiferihastighed

$$V = d \times \pi \times \text{omdr./min} / 60.000 = (\text{m/sek.})$$

d = snekke-
diameter i mm

$$V = d \times \pi \times \text{omdr./min} / 1.000 = (\text{m/min})$$

omdr./min = snekke-
omdrejninger/min

$$V = d \times \pi \times \text{omdr./min} / 60 = (\text{mm/sek.})$$

V = periferi-
hastighed

Maks. snekkeomdrejninger pr. min

$$\frac{\text{Materialets maks. V i m/sek.} \times 60.000}{\pi \times d} = \text{omdr./min}$$

Maskindyser og indløbsbøsninger

Området maskindyser, værktøjsdyser og indløbsbøsninger er relativt stort. Der er mange forskellige dyser til forskellige formål og materialer.

Åben dyse

Den åbne dyse egner sig godt til højviskose materialer fx PC, PS, ABS, PMMA, POM, PE og PP.

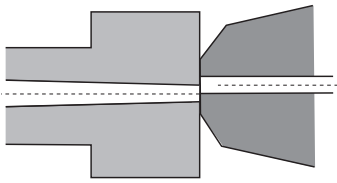
Ved materialer og produktioner, der kræver relativt stort modtryk, kan åbne dyser kun anvendes, såfremt der under dosering kan arbejdes med fast dyseanlæg.

Når smelten trykaflastes (kompressionsaflastning) efter endt dosering, undgås det, at det smeltede materiale, der er under tryk, løber ud af dysen og danner dysekager.

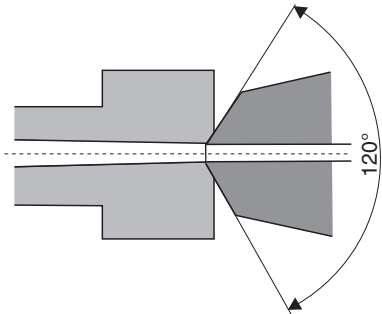
En åben dyse, der med sin enkelthed ikke har krogede hjørner, hvor der kan sidde materiale fast og gemme sig, egner sig naturligvis specielt godt til varmefølsomme materialer.

Dysehul

Uanset om der er tale om den ene eller anden dysetype, er det nødvendigt, at der er et korrekt forhold mellem dysehullets størrelse og hullet i indløbsbøsningen, for at indløbstappen følger med over i den bevægelige forpart til afformning.



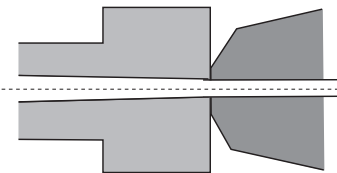
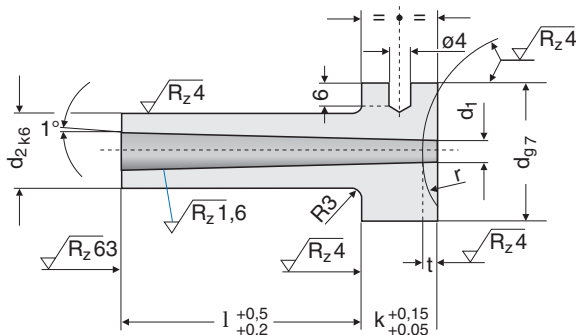
Dårlig dysecentrering



Dyseanlægget er meget spidst og dermed sårbart.

Flad indløbsbøsning

For at opnå god tæthed mellem dyse og indløbsbøsning er det vigtigt med et lille trykareal. Det gælder ikke mindst for den flade indløbsbøsning, hvorfor der må vælges en passende maskindyse.

**HASCO-standard****Dysecentrering**

Hvis maskindysens hul og indløbsbøsningens hul ikke centrerer, vil der opstå et stort tryktab mellem de to huller, ligesom der vil dannes en dysekage, som kan gøre det vanskeligt at afforme indløbstappen, idet den ikke vil blive trukket over i den bevægelige forpart.

Endvidere kan dysekagen vokse så voldsomt, at den til sidst dækker dyse- og cylindervarmebånd, hvilket vil beskadige varmemåbåndene.

Hvis dysecentreringen ikke er i orden, må sprøjt cylinderen rettes til, såfremt det ikke er indløbsbøsning og styrering, der er ude af centrering.

Manglende dysecentrering kan let konstateres ved at anbringe et stykke relativt stift papir mellem indløbsbøsning og dyse, samtidigt med at indsprøjtningssagregatet køres frem til anlæg.

Dyseanlæg og dyseanlægsflader

Der findes mange forskellige geometriske anlægsflader mellem indløbsbøsninger og maskindyser. Der er dog sket en vis standardisering, og de enkelte virksomheder har valgt samme standard for alle virksomhedens værktøjer.

I de to netop viste eksempler ses henholdsvis en dyse med rund anlægsflade og en med flad anlægsflade, der begge er mindre sårbare end en dyse med spids anlægsflade. Til venstre vises til sammenligning en dyse med spids anlægsflade.

Standardiseret dyseanlæg

Da mange sprøjtstøbevirksomheder i dag anvender stamforme, er det lettere med en standardisering. Stamformsleverandørerne har tre dyseanlægsflader som lagerstandard:

- $R = 15,5$
- $R = 40$
- Flad

Under indsprøjtning er det vigtigt med en god tætning mellem maskindyse og indløbsbøsning, således at materialet under indsprøjtning ikke sprøjtes bagud. Maskindysen har derfor mindre radius end indløbsbøsningen, således at trykpunkterne mødes ved dysehullet og indløbsbøsningens hul.

Det koniske tapindløb må være meget glat for opnåelse af et godt slip. Tapindløb findes i to udførelser, henholdsvis med 1° og $1,5^\circ$ slip.

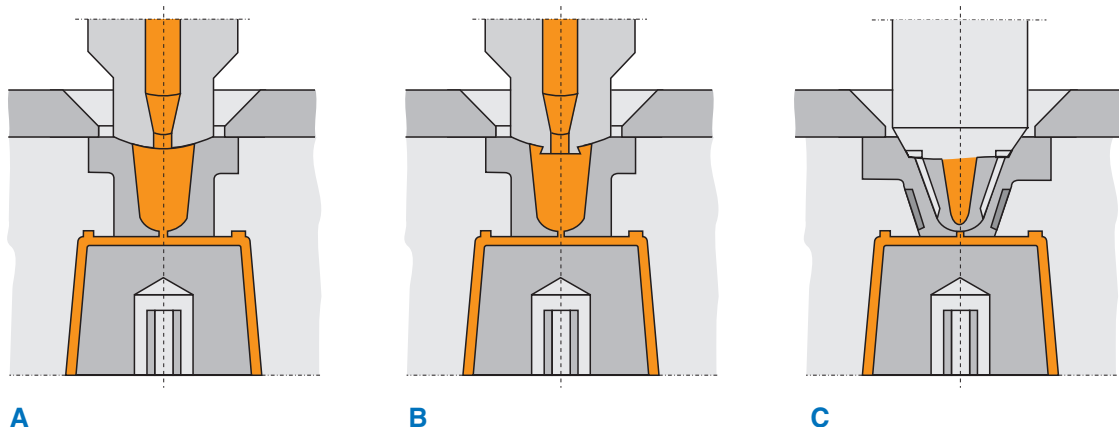
Forkammerdyse

En anden form for åben dyse er forkammerdysen - eller punktindløbsdysen, som den retteligt hedder.

Denne dyses fortrin i forhold til den almindelige, åbne dyse er, at indløbspunktet kun er ganske lille og ikke skal efterbehandles som stang- eller tapindløb, som ofte giver et stort sår på emnet.

Ulemperne ved denne eller disse dysetyper er, at forkammeret skal holdes flydende fra skud til skud, idet indsprøjtningen foregår gennem forkammerets viskose sjæl, hvorfor cyklostiden ikke må overstige størkningstiden i forkammeret. Dvs. cyklostider meget over 20 sekunder ved fx PS og ABS kan ikke anbefales.

Opstart af produktion med forkammerdyse følger en bestemt norm med hensyn til tilpasning af dosering og omkobling, idet der ved det første skud, når forkammeret er tomt, bruges en betragtelig mængde materiale af skuddet alene til at fylde forkammeret.



Tre forkammerdysetyper

- A. Denne dyse har den ulempe, at når forkammeret fryser, og det størknede materiale skal fjernes fra forkammeret, må det gøres med et specielt stykke værktøj.
- B. Denne dyse har det fortrin, at når forkammeret fryser, og det størknede materiale skal fjernes fra forkammeret, gøres det let, ved at sprøjteenheden køres bagud. Dysen med inddrejet ansats vil så trække proppen (forkammeret) ud.
- C. Denne dyse kaldes en forkammerdyse uden forkammer, ofte benævnt som en falsk forkammer-dyse. Som det fremgår af tegningen, er der intet forkammer, idet det er maskindysen, der udgør eller udfylder forkammeret. Der sprøjtes direkte gennem indløbsbøsningens indløbshul og ind i værktøjet.

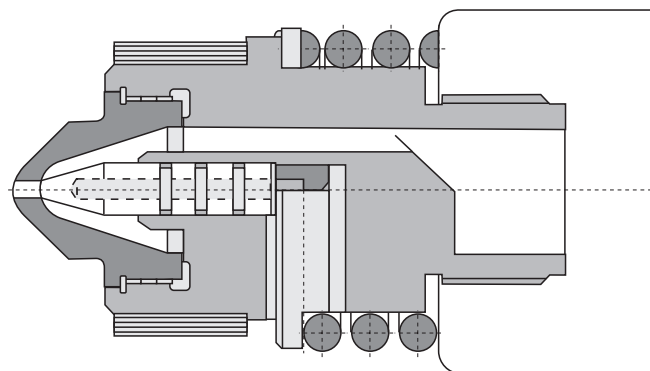
Ulempen ved denne dysetype er, at den er tilbøjelig til at fryse, hvorfor dyse spidsen ofte fremstilles af et effektivt varmeledende materiale fx berylliumkobber. Berylliumkobber anvendes bedst i modningshærdet tilstand, som giver kobberet en ganske god hårdhed, men dysen er mere sårbar end en dyse i stål.

Bemærk den isolerende luftspalte mellem maskindysen og forkammerindsatsen.

Nåleventildyse med udvendig fjeder af fabrikatet Fuschlocher

Denne dysetype er meget anvendelig til letflydende materialer som PA.

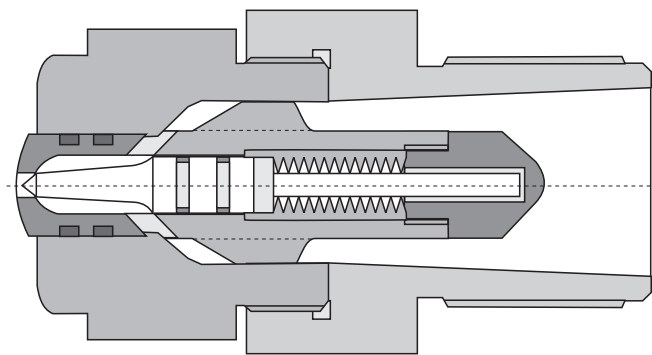
Der kan efter længere tids brug opstå tæthedproblemer mellem nålen og nålestyret, hvorved der trænger materiale ud langs den tværgående lukkepind. Dysen kræver derfor en del vedligeholdelse.



Lukkedyser

Nåleventildyse

Der findes flere forskellige slags nåleventildyser. Fælles for dem er, at dysehullet lukkes eller blokeres af en fjederbelastet nål. Den kraft, dysen er lukket med, skal overvindes af sprøjte- og eftertrykket under formfyldning, hvorved der opstår et relativt stort tryktab.



Nåleventildyse med indvendig fjeder af fabrikat OKW, Buchen

Denne dyse er robust, idet den meget kraftige indvendige tallerkenfjeder og nålens konstruktion bevirker lille åbnevandring, hvorved fjedrenes belastning minimeres.

Denne dysetype er meget anvendelig til letflydende materialer som PA. Der kan efter længere tids brug opstå tæthedsproblemer mellem nålen og nålestyret. Utætheden er ikke synlig, men dysens virkning vil helt ophøre, når ventilhulrummet er helt fyldt med forkullet materiale. Denne dyse kræver derfor regelmæssig vedligeholdelse.

A. Skydelukkedyse i åben stilling

Ved dysens kontakt med indløbsbøsningen bliver glideventilen trykket bagud, hvorved dysens indsprøjtningsskanaler åbnes.

B. Skydelukkedyse i lukket stilling

Ved sprøjteenhedens tilbagetrækning slipper skydedysen kontakten med indløbsbøsningen. Doseringstrykket, der dannes ved modtrykket, vil få glideventilen til at skyde frem og dermed lukke af for dysens indsprøjtningsskanaler.

Skydelukkedyse

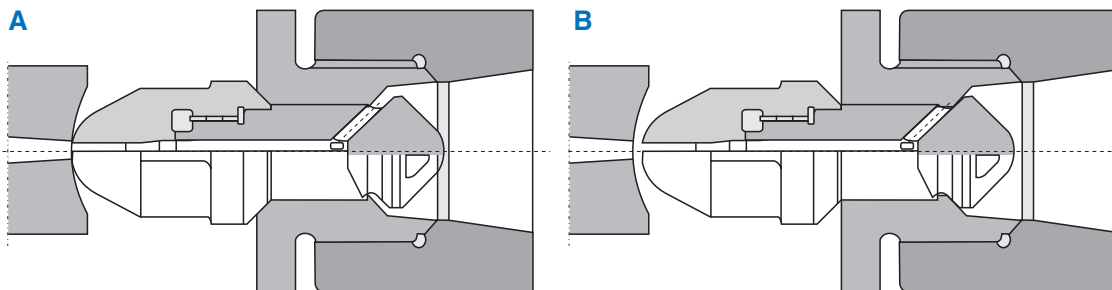
Skydelukkedyse (også kaldet glidedyse) er anvendelig, hvor der kræves et relativt højt modtryk, idet et højt modtryk foran snekkespidsen bevirker større og mere sikker tæthed.

Dysen er fx velegnet ved produktioner med meget lang doseringstid, hvor værktøjet kan nå at åbne, afforme emnet og lukke igen under doseringen, da dysen er absolut tæt. Dysen skal være aflastet under dosering.

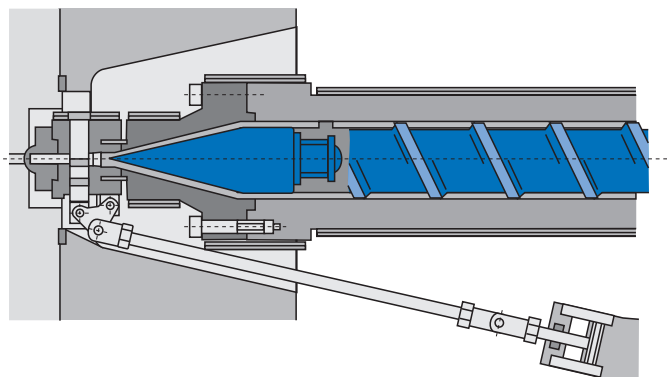
Dysen anbefales og anvendes ofte ved forarbejdning af fx PC.

Ved anvendelse af denne dysetype bør maskinen være forsynet med en udsprøjtningmekanisme, der kan drejes hen foran dysen, og som dysen kan centrere og lægge an til, således at sprøjtecyklinderen kan renkøres ved udsprøjtning gennem mekanismens centerhul.

Dysen kan være direkte farlig, hvis man forsøger at sprøjte cylinderen ren uden brug af udsprøjtningmekanismen.



Hydraulisk lukkedyse af fabrikatet Krauss-Maffei, München



Hydraulisk lukkedyse

Den hydrauliske lukkedyse er meget effektiv og helt fri for savlende materiale under opsnekningen.

Dysens åbne- og lukkefunktion styres over maskinens styring gennem en påbygget hydraulikcylinder.

Denne dysetype kræver en del vedligeholdelse for at være funktionsdygtig.

Værktøjsopspænding

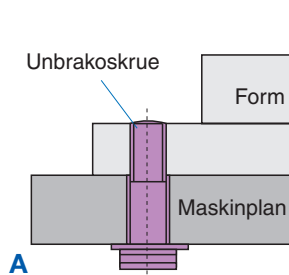
For hurtig og effektiv værktøjsopspænding er det vigtigt, at der er god plads til spændejern og køletilslutninger, som ofte er i vejen for hinanden.

Her har værktøjskonstruktøren et stort ansvar, idet værktøjets opspændingsflanger (opspændingsplader) helt bør friholdes for køletilslutninger. Det er ofte et relativt stort problem med den manglende friholdelse af opspændingsflangerne. Såfremt der blev taget hensyn til dette i værktøjskonstruktionsfasen var megen irritation og kostbar opspændingstid sparet for plastmageren.

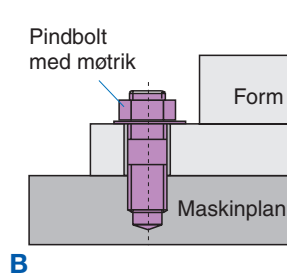
To forskellige værktøjsopspændinger

A. En opspænding, hvor maskinplanets gennemgående opspændingshuller er anvendt. Denne opspænding er god og effektiv.

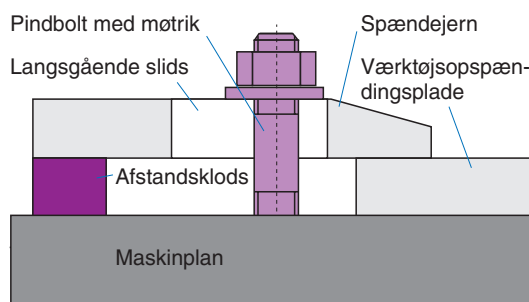
B. En opspænding, hvor værktøjets opspændingsflanger er forsynet med gennemgående huller, hvorved direkte opspænding er mulig ved brug af maskinplanets gevindhuller. Ved denne opspænding bør anvendes pindbolte og ikke unbrakoskruer.



A



B



Indirekte værktøjsopspænding

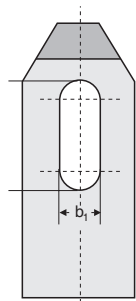
Eksempler på spændejern

A. Spændejern med trapper til højdejustering. Anvendes bedst sammen med en tilsvarende trapeklods.

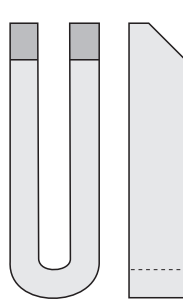
B. Den såkaldte hårnål, som er let at komme til med. Den anvendes sammen med en almindelig, forhåndenværende afstandsklods.

C. Almindeligt, lige spændejern. Anvendes med afstandsklods som ved hårnålen.

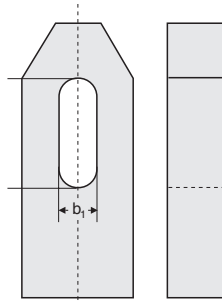
D. Et forkrøblet, støbt spændejern. Velegnet til tunge værktøjer med tykke opspændingsplader.



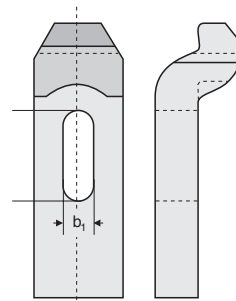
A



B



C



D

Opspændingsmetoder

Direkte opspænding

Denne metode er effektiv, god og hurtig, men den er ikke helt så fleksibel mellem de forskellige sprøjtetøbemaskinefabrikater, idet hverken de gennemgående opspændingshuller eller gevindopspændingshullerne i planerne er standardiseret af maskinfabrikaterne.

Indirekte opspænding

Ved indirekte værktøjsopspænding fastspændes værktøjet ved hjælp af spændejern og pindbolt. Der bør heller ikke her anvendes unbrakoskruer.

Denne metode er den mest benyttede, da opspændingshullernes centring er ret forskellig fra maskine til maskine, hvilket også gælder gevindimensioner.

I dag kan man selv vælge enten en DIN-eller en Euronorm, som gevindhullerne bores efter, hvorved der for fremtiden kan spares megen tid ved opspænding.

Spændejern

Der findes mange forskellige slags spændejern, men ikke alle er lige godt udformede. Et spændejern skal være kort, stiv, og uden affjedring.

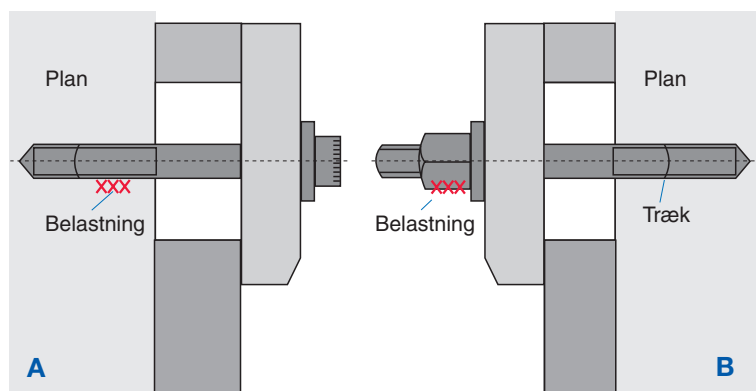
Opspændingsbolte og gevindhuller

Gevindhullerne i maskinens opspændingsplaner anvendes gentagne gange, og gevindene er sårbare. Der bør derfor udvises påpasselighed og kun bruges egnede bolte, idet det er dyrt og besværligt at reparere et ødelagt gevindhul. Sørg for, at gevindhullerne altid er frisk opskåret, således at boltene uhindret kan skrues i med håndkraft og kun med håndkraft.

Skulle et gevind blive ødelagt, kan det repareres ved montering af en gevindindsats (Helicoil). Metoden med at skære gevindet op til overstyrrelse er en nødløsning, der ikke kan anbefales, da det er uhensigtsmæssigt med flere gevinddimensioner i samme opspændingsplan.

For at behandle opspændingsplanernes gevindhuller skånsomt, er der visse regler, der skal overholdes:

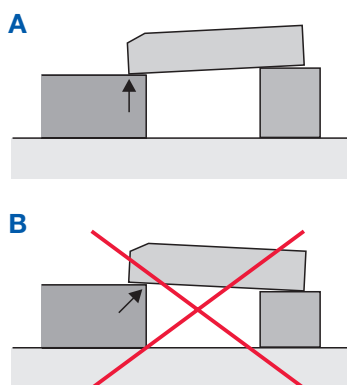
- Gevindhullerne skal være renskårne, således at boltene kan iskrues i fuld dybde med hånden.
- Boltens indspændingsdybde skal være minimum 1,5 gange boltens diameter, hvilket for en 12 mm bolt betyder: $12 \times 1,5 = 18$ mm.
- I stedet for at anvende unbrako-skruer anvendes pindbolte. Både unbrako-skruer og pindbolte er fremstillet i sejhærdet chrom-nikkelstål. Pindbolte har den fordel frem for unbrako-skruer, at belastningen ved op-spændingen flyttes fra opspændingsplanets gevind ud til den løse møtrik, som let og billigt lader sig udskifte.
- Møtrik eller bolt skal ikke knokkelspændes. Det anbefales at anvende en momentnøgle. Det moment, som møtrik eller bolt skal spændes med, afhænger af skrue og gevindstørrelse, og det kan oplyses af leverandøren.
- Der anvendes underlagsskiver under unbrako-skruens hoved og under pindboltens møtrik.



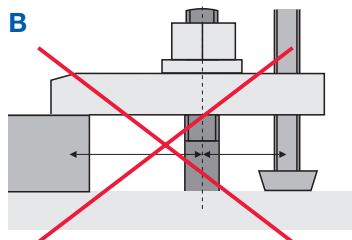
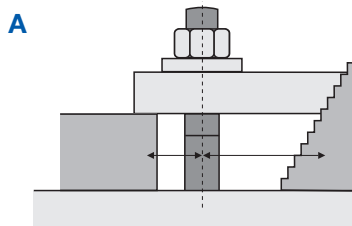
- A. Opspænding med unbrako-skrue - med belastningen skematisk indtegnet
 B. Opspænding med pindbolt og møtrik - med belastningen skematisk indtegnet

Spændejernets hældning

For at få en god og sikker opspænding, så værktøjet sidder ordentligt fast, uden at det begynder at skride under de mange åbne- og lukkebevægelser, skal spændejernet hælde ind mod værktøjets opspændingsplade, således at spændetrykket bliver størst på værktøjets opspændingsplade. Dvs. afstandsklodserne skal være højere end tykkelsen af værktøjets opspændingsplade.



- A. God hældning af spændejernet
 B. Dårlig hældning, som ikke kan accepteres



A. Korrekt opspænding. Bolten er monteret nærmere værktøjet end afstandsklodsens, hvilket giver det største tryk på værktøjet.

B. Dårlig opspænding, da trykket her bliver størst på afstandsklodsens.

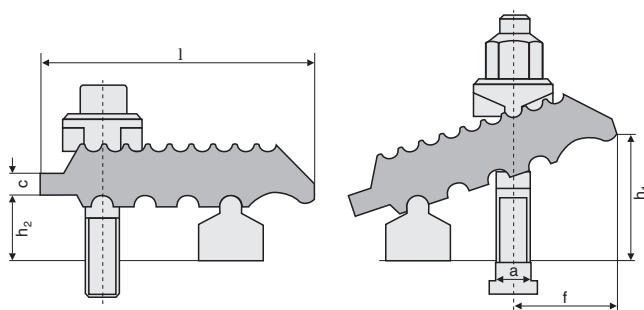
Spændesystemet "Ideal"

Boltafstand

Boltens placering er lige så vigtig som spændejernets hældning for at få en god og stabil opspænding, uden at værktøjet begynder at skride under produktionens mange åbne- og lukkebevægelser. Boltene skal sidde med den rigtige afstand fra henholdsvis værktøjets opspændingsplade og afstandsklodsens. Da selv små værktøjer vejer omkring 50 kg, og afstandsklodsens vægt er omkring 0,5 kg, betyder det, at spændetrykket og dermed boltens placering bør placeres nærmest værktøjet og længere fra opspændingsklodsens.

Spændesystemet "Ideal"

Dette spændejern er ideelt, fordi der ikke skal kæmpes med løse afstandsklodser, som er vanskelige at få til at passe i højden. Afstandsklodsens er med et sindrigt, justerbart system fastgjort til spændejernet. Som det fremgår af tegningen, er højdejusteringen meget fleksibel. Den særlige udformning af møtrikskiven vil altid give en lodret bespænding.



Tilslutning af værktøjsskøling (temperering)

Et værktøj skal have påstemplet ind- og udgang på alle vandstutse, således at plastmageren har let ved at montere af køleslangerne. Derved undgås, at slangerne monteres uden gennemgang i nogle af værktøjets kølekredse.

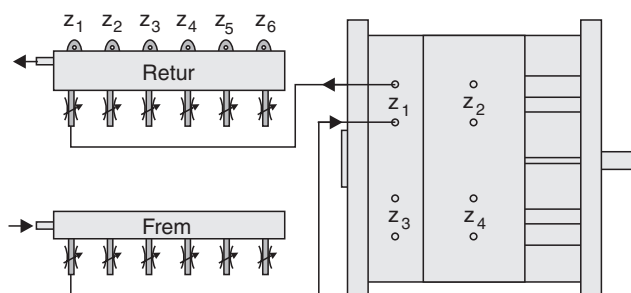
Tilgangsslangerne bør altid monteres på nederste slangestuts, og afgangsslangerne altid på øverste slangestuts for at undgå luftlommer. Dette skal ligeledes være stemplet i værktøjet.

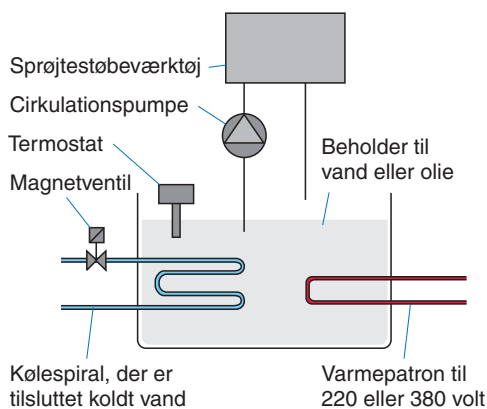
Inden et nyt værktøj igangsættes hos værktøjsmageren, bør det indskræpes, at slangestutse skal være påstemplet, hvor slangerne skal monteres ("ind" og "ud"), og at en sådan unladelse er lig med nægtet modtagelse af værktøjet.

På eksisterende værktøjer, som ikke har disse påstemplinger, skal der foretages en gennemblæsning med luft af kølekredsene for at sikre korrekt gennemblæsning ved montering af køleslangerne.

Herefter må der ske en opmærkning og registrering på værktøjskortet som vist på figuren.

Opmærkning af vandstutse





Tempereringsaggregat

Tempereringsaggregat

Når der stilles særlige krav til sprøjtetøbte emner fx overfladeglans, små tolerancer, eller små, indre spændinger, bør der anvendes et tempereringsaggregat til opvarmning af sprøjtetøbeværktøjets kaviteter. Ved høje temperaturer, eller hvor det ikke er ønsket, at al den tilførte varme blot vandrer over i maskinplanerne, må værktøjets opspændingsplaner være isoleret.

Der skelnes mellem tempereringsaggregater for temperaturer under 100 °C, hvor kølemediet er vand, og over 100 °C, hvor kølemediet er olie.

Til forskellige temperaturer skal vælges passende slangekvalitet. En almindelig armeret PVC-slange tåler ikke temperatur over 60 °C.

Den ønskede fremløbstemperatur (til værktøjet) indstilles på tempereringsaggregatets termostat. Termostaten styrer ved hjælp af en varmepatron og kølespiral temperaturen i beholderen. Via en pumpe bringes det tempererede vand til cirkulation i værktøjets kølekreds.

Vedligeholdelse af tempereringsaggregatet består i:

- Tjek af væskestand
- Tjek af køleslangerne for slitage. Udskift defekte slanger. Vandet er meget varmt og kan skolde betjeningspersonalet ved brud
- Tjek af opvarme- og kølefunktion med passende mellemrum
- Tjek, om slangerne er egnet til de ønskede temperaturer

Udstøderens indstilling/opmåling

Inden formværktøjet sættes i maskinen, skal udstøderkobling og udstøderforlænger fjernes fra maskinen.

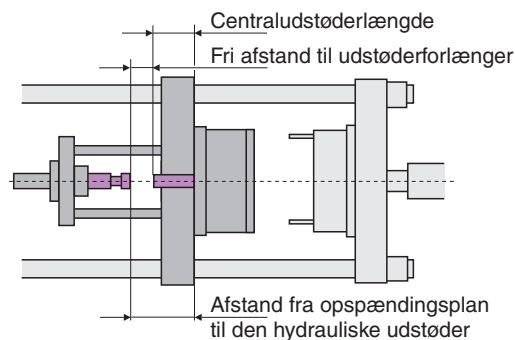
Sprøjtetøbmaskinens udstødersystemer kan være udført efter to principper: Enten som en fast udstøder (kun på knæledsmaskiner) eller som en hydraulisk udstøder (både på knæledsmaskiner og fuldhydrauliske maskiner).

Efterhånden har den hydrauliske udstøder helt fortrængt den upræcise mekaniske udstøder.

Ved at opmåle centraludstøderens længde og trække dens mål fra afstanden fra opspændingsplan til den hydrauliske udstøder, fås den frie afstand til en udstøderforlænger.

Den faste udstøder på knæledsmaskinen opmåles på samme måde.

Opmåling af udstøderfunktionen

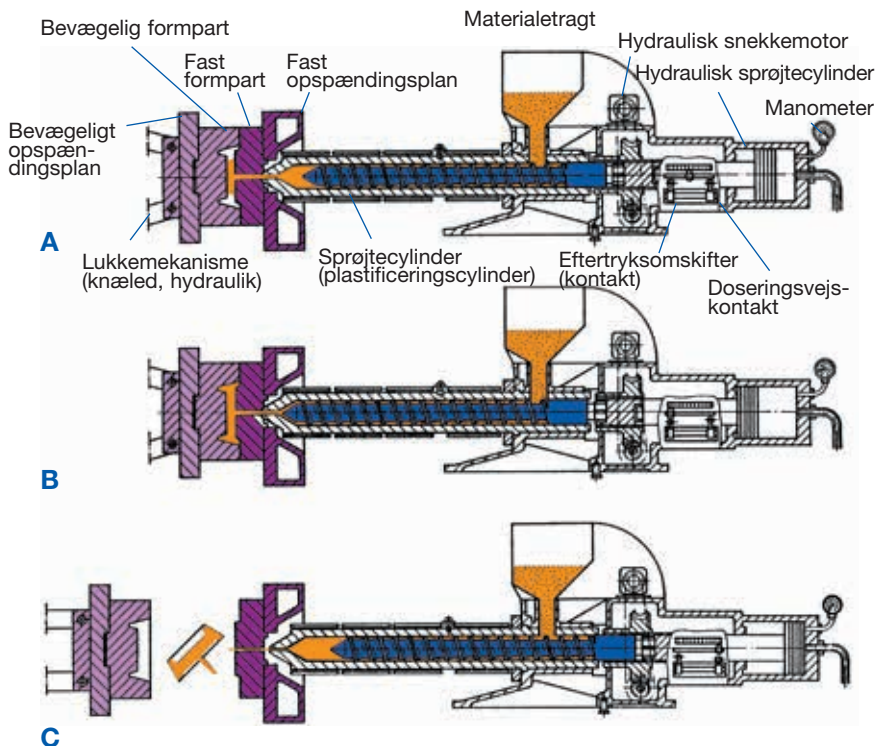


Eksempel på udregning af udstøderforlænger

Afstand fra opspændingsplan til den hydrauliske udstøder	=	160 mm
Centraludstøderlængde	=	120 mm
Frie afstand til udstøderforlænger:		
$160 - 120 =$		40 mm
$- 10 \text{ mm luft} =$		30 mm

En udstøderforlænger på 30 mm monteres ikke, idet den hydrauliske udstøders nulpunkt blot kan stilles 30 mm frem plus eventuelt et overløb, som er afhængigt af 'udstøderhastighed tilbage'.

Sprøjtstøbeprocessen og procesberegninger



Sprøjtstøbeprocessen i hovedtræk

- Indsprøjtning
- Eftertryk
- Afformning

Sprøjtstøbeprocessen er ideelt set en cyklisk proces, dvs. en proces bestående af en række delprocesser, der gennemløbes i en given rækkefølge, og hvor hver delproces udfylder en given del af den totale cyklus (de ti hovedpunkter med underpunkter).

Beregninger af deltid i et cyklusforløb

For at kunne udføre en god og fornuftig "forkalkulation" er det vigtigt at kunne forudsige eller beregne processens cyklus og de enkelte delproces-tider.

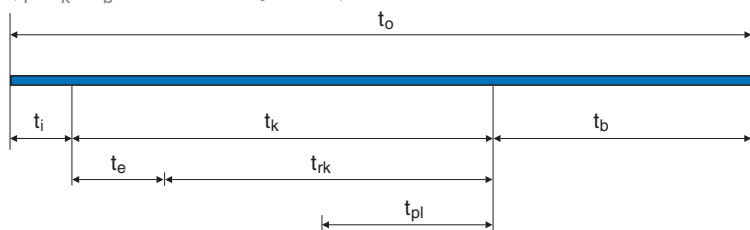
Deltider i et cyklusforløb kan groft opdeles i tre blokke:

- Indsprøjtningstid
- Køletid
- Bevægelsestider

Den største og væsentligste af blokkene er køletiden, som består af eftertrykstid og restkøletid.

Deltider i et cyklusforløb

Summen af de enkelte delproces-tider er lig med cyklus-tiden. ($t_i + t_k + t_b =$ den totale cyklus-tid)



- t_i = indsprøjtningstid
- t_e = eftertrykstid
- t_{rk} = restkøletid
- t_{pl} = doseringstid (plastificeringstid)
- t_b = bevægelsestider (lukning, åbning og udstødning)
- t_o = den totale cyklus-tid

Før en sprøjtstøbeopgave kan iværksættes, er der en del beregninger, der skal foretages. Disse beregninger kan opdeles i kalkulationsberegninger og de rent proces-tekniske beregninger.

For at kunne foretage en kalkulationsberegning er en beregning af cyklus-tiden naturligvis vigtig, men valg af sprøjtstøbemaskine er ikke mindre vigtig, hvorfor kalkulations- og proces-tekniske beregninger ikke kan holdes adskilt, men vil lappe over hinanden.

Det er imidlertid vigtigt at opstille en planlægning af beregningsforløbet inden produktionsstart, hvorfor det er vigtigt at have det fulde kendskab til sprøjtstøbeprocessens deltid.

Køling og beregning af restkøletid

Afkølingsfasen begynder, så snart formen er fyldt, og varer indtil afformningstidspunktet.

Eftertrykket og eftertrykstiden er to væsentlige faktorer for afkøling af emnet, idet hurtig og effektiv køling opnås ved god kontakt med den kølende værktøjsoverflade.

Køletiden er afhængig af:

- Emnets godstykkelser
- Formoverfladetemperatur (værktøjstemperatur)
- Massetemperatur
- Kølekanalernes effektivitet
- Formens varmeledningsevne
- Effektivt eftertryk, så god kontakt til formoverfladen er til stede

Hvis man fokuserer på køletiden for at opnå ideel, høj produktionshastighed og høj emne kvalitet, vil man opleve, at der er visse modstridende parametre til stede.

Kort køletid vil kræve lav værktøjs- og massetemperatur, som kan bevirke forskellige emnefejl fx mat emneoverflade og indre spændinger.

For at undgå denne type fejl må værktøjs- og massetemperaturen hæves, hvorved køletiden og dermed den samlede cyklustid forlænges.

Eksempel

$$t_k = S^2 \times 2$$

S = godstykkelser

t_k = eftertrykstid og restkøletid i sekunder

Eksempel 1:

Godstykkelser: 2 mm

$$t_k = 2^2 \times 2 = 8 \text{ sekunder}$$

Eksempel 2:

Godstykkelser: 3 mm

$$t_k = 3^2 \times 2 = 18 \text{ sekunder}$$

Køletid og godstykkelser

En faktor, der har stor indflydelse på et sprøjtøbt emnes køletid, er godstykkelsen.

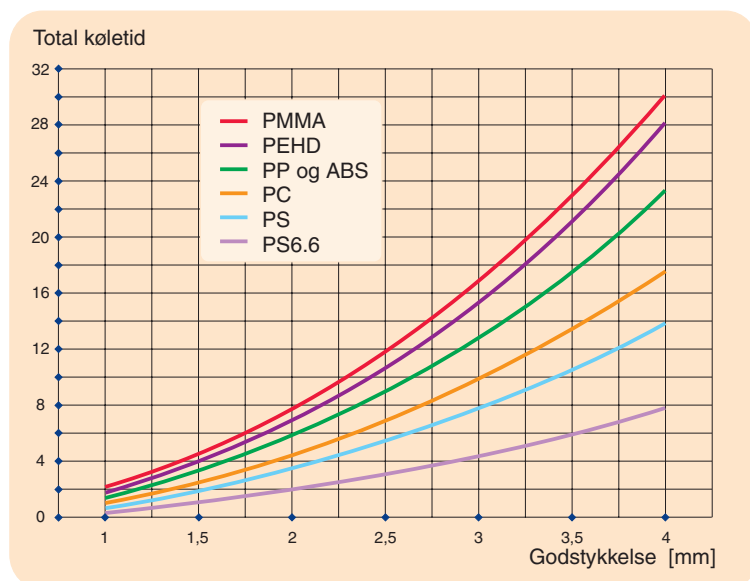
Ved sammenligning mellem emner af samme materiale vil køletiden ændres med kvadratet på godstykkelserforholdet.

Denne sammenhæng bygger på erfaringsværdier og er derfor kun vejledende. Beregningen tager ikke hensyn til, at de forskellige plastmaterialer ikke kræver samme køletid.

Køletidsdiagram

Køletidsdiagrammet er fremstillet ved forsøg og beregninger, men med specifikke værdier for værktøjstemperatur og massetemperatur. Køletidsdiagrammet er således kun vejledende.

Køletidsdiagram



Køletidsformel

Vi har nu set på simple køletidsberegninger, som kan være noget usikre, men i det daglige normalt anvendelige. Der findes også mere avancerede beregningsmodeller, hvor nøjagtigheden øges, ved at kølekanalernes evne til at bortlede varme fra værktøjskaviteterne tages med i beregningen, ligesom materialets varmeledningsevne medtages.

Ud over kølekanalernes placering og evne til at bortlede varme er der også usikkerhed vedrørende plastmaterialernes varmeledningsevne, idet effektivværdierne opgives meget varierende i litteraturen.

Det betyder, at en udregning efter nedenstående formel må tages med en smule forbehold.

I en konstruktionssituation, hvor godstykkelsen eventuelt skal fastlægges ud fra en lønsomhedsbetragtning, vil denne metode til udregning af køletid være effektiv og ret nøjagtig, specielt når beregningerne bruges til at belyse forskellen i cykeltid ved forskellige godstykkelser.

Denne formel bør naturligvis sættes ind i et regneark, således at udregningen foretages automatisk ud fra en materiale- og godstykkelsesbestemmelse.

Middel køletid og forseglingstid beregnes efter følgende formler:

Køletidsberegning (middel)

Beregning af køletiden er teoretisk, brug altid middel

T_m , T_a og min. T_v

$$t_k = S^2 : \pi^2 : \alpha \times \ln(8 : \pi^2 \times (T_m - T_v) : (T_a - T_v))$$

S = godstykkelse i mm

π = pi (22/7)

α = effektiv temperaturledningsevne (materialeafhængig, se tabellen "Generelle oplysninger om termoplast" senere i kapitlet)

\ln = naturlige logaritme

T_m = massetemperatur i °C (materialeafhængig)

T_v = værktøjstemperatur i °C (materialeafhængig)

T_a = afformningstemperatur i °C (materialeafhængig)

t_k = total køletid i sekunder (eftertrykstid + restkøletid)

Forseglingstid

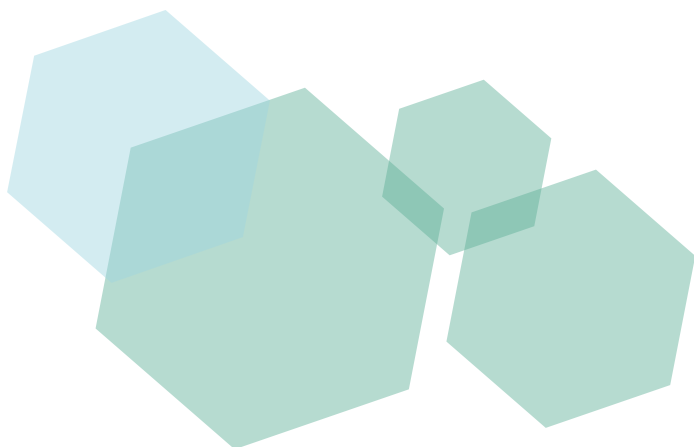
Beregning af eftertrykstiden er teoretisk og findes ved at indsætte forseglingstemperaturen (T_f) i stedet for afformningstemperaturen (T_a). Brug altid middel T_m , T_f og min. T_v

$$t_f = S^2 : \pi^2 : \alpha \times \ln(8 : \pi^2 \times (T_m - T_v) : (T_f - T_v))$$

T_f = forseglingstemperatur i °C (materialeafhængig)

t_f = forseglingstid eller eftertrykstid i sekunder

Ud over disse køletidsberegninger findes der forskellige nomogrammer, der let lader sig aflæse ved relativt enkle beregninger.



Godstykkelsen (s) og den tilhørende godstykkelsesfaktor (f_s)

s (mm)	f _s
0,5	100
0,6	70
0,7	57
0,8	45
0,9	35
1,0	30
1,1	26
1,2	21
1,3	18
1,4	15
1,5	13
1,6	11
1,7	10
1,8	9
1,9	8
2,0	7
2,1-5,0	7

NB. Værdierne er fundet ved forsøg og er kun vejledende. Specielt ved godstykkelser over 2 mm skal der tages et vist forbehold. Det er derfor vigtigt med egne iagttagelser og vurderinger.

Udvalgte materials flydetalsfaktor (f_f)

Materiale	f _f
PE, PS, PP	1,0
PA	1,2-1,4
CA	1,3-1,5
ABS, SAN	1,3-1,4
PMMA	1,5-1,7
POM	1,6-1,8
PC	1,7-2,0

Tabelværdierne er kun vejledende og er afhængige af forhold som:

1. Emneudformning
2. Indløbstype
3. Massetemperatur
4. Indsprøjtningshastighed
5. Indsprøjtningstryk
6. Eftertryk
7. Smelteindeks

Eksempel 1
Materialet er ABS.

Beregning af nødvendigt lukketryk

Formel til udregning af middel fyldetryk:

$$P_m = f_s \times L / 100$$

Hvis P_m bliver mindre end 12 MPa eller 120 bar, anvendes 12 MPa eller 120 bar.

Formel til beregning af lukkekraft:

$$P = \frac{f_f \times P_m \times A}{1.000}$$

f _s	=	godstykkelsesfaktor (uden benævning)
f _f	=	flydetalsfaktor (materialeafhængig)
s	=	godstykkelse i mm
L	=	flydevej i mm
A	=	areal i mm ²
P _m	=	middel fyldetryk i MPa
P	=	lukkekraft i kN

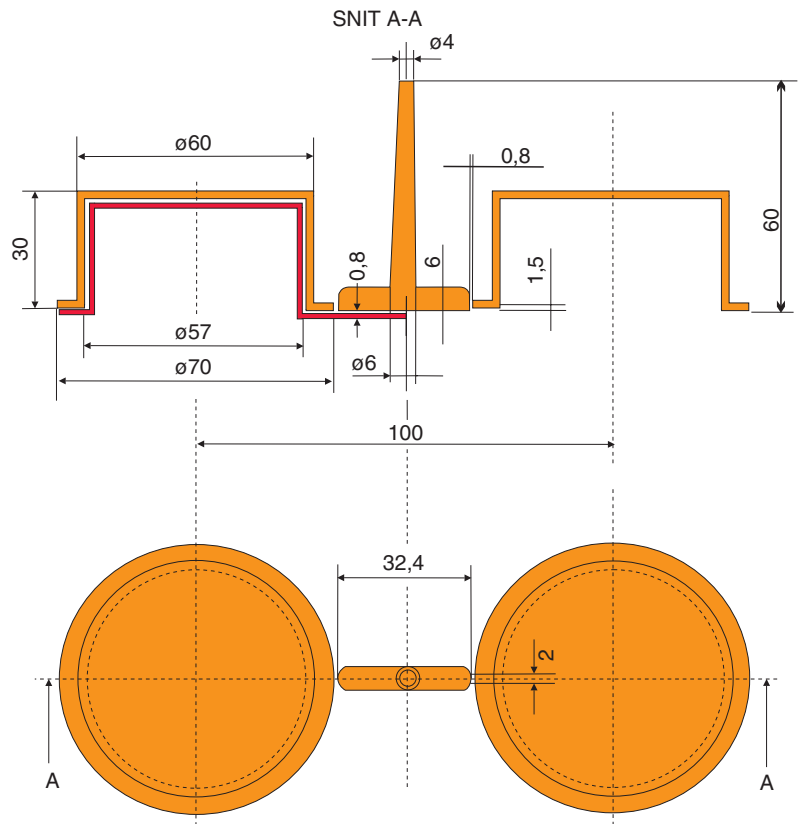
Efter ovenstående formler beregnes det nødvendige lukketryk af emnet på tegningen "Eksempel 1".

1. Middel fyldetryk:

- a) f_s aflæses i tabel
- b) L = flydevejen beregnes (se "Eksempel 1")

2. Lukkekraftbehov:

- a) f_f aflæses i tabel
- b) P_m indsættes = middel fyldetryk
- c) A = projiceret emneareal, eller som det populært siges "skyggearealet", beregnes (se "Eksempel 2")



Flydevejen beregnes som den længste vej, materialet kan flyde fra lukkefladen til det fjerneste hjørne i værktøjskaviteten.

Bemærk, at der kun tages hensyn til ét emne ved beregning af flydevej.

Flydevejen beregnes ved at følge den røde opmærkning på tegningen i "Eksempel 1" og sammenlægge målene.

Beregning af flydevej:

$$\begin{aligned} \text{Fordelerstreng} &= 0,5 \times 32,4 \text{ mm} \\ \text{Emnehøjde} &= 2 \times 30 \text{ mm} \\ \text{Emnediameter} &= 60 \text{ mm} \\ \text{I alt } 16,2 + 60 + 60 &= 136,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Middel fyldetryk kan nu beregnes:

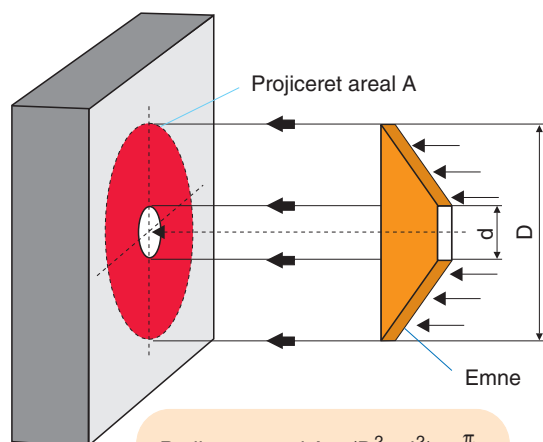
$$P_m = f_s \times L/100$$

$$P_m = 13 \times 136,2/100 = 17,7 \text{ MPa} \approx 18 \text{ MPa}$$

Hvis P_m bliver under 12 MPa, anvendes $P_m = 12 \text{ MPa}$

Det tryk, der påvirker formen til åbning, svarer til middel fyldetryk, som udgør 18 MPa for emnet i "Eksempel 1". Derudover afhænger den nødvendige lukkekraft af maskinens og værktøjets stivhed, emnets udformning, den tilladte ånding (udluftning) for værktøjet og naturligvis materiale- og forarbejdningsparametrene.

Eksempel 2
Keglestubformet skive
med midterhul.



$$\text{Projiceret areal } A = (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}$$

Projiceret emneareal

Princippet for beregning af det projicerede emneareal er vist på principskitse "Eksempel 2".

Ved at anvende samme princip til to- eller fler-kavitetsværktøjer fås, at det projicerede emneareal er lig med summen af alle de overflader, der er udsat for tryk. Det projicerede emneareal projiceres over på bevægelig formplan/opspændingsplan.

Beregning af projiceret areal i "Eksempel 1"

Det beregnede areal skal omfatte alle kaviteter i det her tilfælde to samt fordelerstrengen. Indløbstappen indgår i det projicerede areal og regnes derfor ikke med. I "Eksempel 1" er emnets diameter 70 mm.

Fordelerstrengen er 32,4 mm lang og har en bredde på 6 mm.

$$\text{Areal af et emne} = 70^2 \times \pi/4 = 3.848,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Areal af to emner} = 2 \times 3.848,5 = 7.696,9 \text{ mm}^2$$

$$+ \text{ areal af fordelerstreng} = 32,4 \times 6 = 194,4 \text{ mm}^2$$

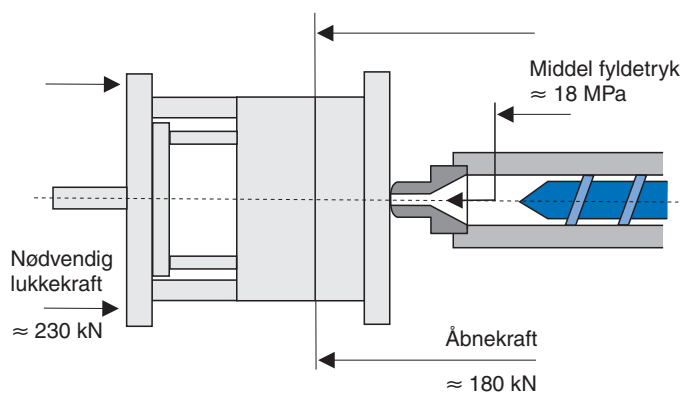
$$\text{Projiceret areal i alt} = 7.696,9 + 194,4 = 7.891,3 \text{ mm}^2$$

Da alle faktorer er kendt ($f_f = 1,4$ (ABS), $P_m = 18 \text{ MPa}$ og $A = 7.891,3 \text{ mm}^2$), kan lukkekraften nu beregnes efter føromtalte formel for lukkekraft, så resultatet bliver:

$$P = \frac{f_f \times P_m \times A}{1.000} \rightarrow P = \frac{1,4 \times 18 \times 7.891,3}{1.000} \text{ kN} = 198,9 \text{ kN} \approx 200 \text{ kN}$$

Efter beregning lægges der 15 % til lukkekraften, så den indstillede værdi på maskinen bliver $200 \text{ kN} + 15 \% = 230 \text{ kN}$. Beregning af lukkekraftbehov er en teoretisk forkalkulation, som ikke tager hensyn til formens tilstand og opbygning, forskellige godstykkelser, indløbstyper, materialets temperatur, smelteindeks eller indsprøjtningshastighed. Derfor hæves lukkekraften med 15 % i forhold til den beregnede lukkekraft.

Mange maskinleverandører foreslår desuden, at min. 25 % af den mak-simale lukkekraft udnyttes for at være sikker på at få en stabil lukning.



Skitse af to-emners-værktøj til fremstilling af emnet i "Eksempel 1"

Reologi

Læren om flyde- og deformationsegenskaber ved materialer under påvirkning af mekaniske kræfter.

Værktøjs-indertryk

De forskellige råvareleverandører opgiver ofte en vejledende værdi for værktøjs-indertryk (åbningstryk) for deres materialer. Værdierne kan angives ud fra praktiske erfaringer eller ud fra reologiske beregninger.

Lukketryk i procent

Hvis en sprøjtestøbemaskine har et maksimalt lukketryk på 600 kN, er 600 kN lig med 100 % lukketryk. Når der ønskes at lukke med 250 kN, beregnes lukketrykket i procent således:

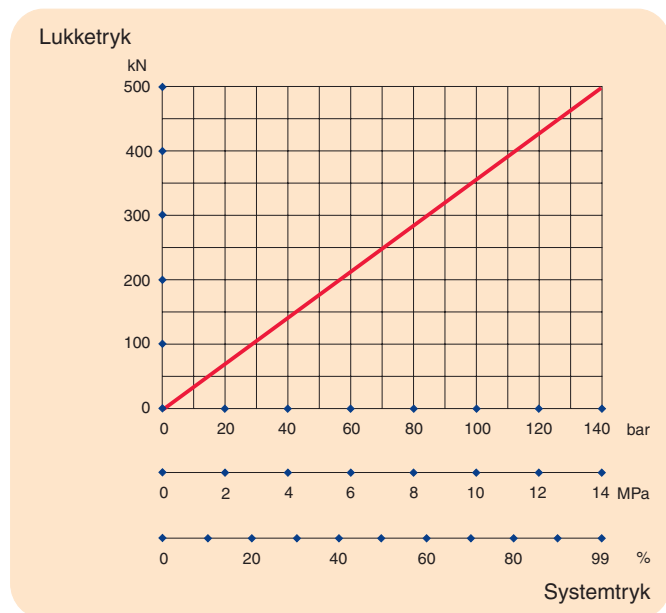
$$\frac{250}{600} \times 100 = 41,7 \%$$



Diagram for lukketryk

Leverandørerne af sprøjtstøbemaskiner leverer sammen med maskinerne en manual med forskellige maskinkort deriblandt et diagram for lukketryk. Ud af dette diagrams Y-akse kan lukketrykket aflæses i kN. 10 kN er lig med 1 MPa.

Diagram for lukketryk



På X-aksen, der angiver maskinens systemtryk (manometertryk), kan trykket aflæses i bar eller MPa svarende til det tryk, der aflæses på sprøjtstøbemaskinens manometer. Derudover er systemtrykket opgivet i procent, således at det ikke er nødvendigt selv at beregne denne enhed.

Diagrammet kan aflæses på følgende måde: Find det ønskede systemtryk på X-aksen og træk en lodret linje. Hvor den skærer kurven, trækkes en vandret linje mod venstre. Hvor denne linje skærer Y-aksen, kan lukketrykket aflæses.

Såfremt lukketrykket er fastlagt, eventuelt fra en tidligere produktion på en anden maskine, anvendes diagrammet modsat.

Det vil sige, såfremt et værktøj skal flyttes fra en maskine til en anden, kan samme lukketryk let bibeholdes uden beregninger, idet lukketrykket umiddelbart blot kan overføres via diagrammet og ved aflæsning af manometertrykket, som så indstilles på den nye maskine.

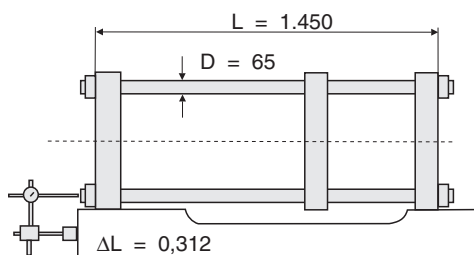
Beregning af lukketryk for fire-søjlede knæledsmaskiner

Den foregående beskrivelse af lukketryksberegninger er kun gældende for fuldhydrauliske sprøjtstøbemaskiner. På knæledsmaskiner aflæses lukketrykket gennem "søjlestræk".

Når knæleddet strækkes under formlukningen, strækkes de fire søjler. Denne forlængelse af søjlerne er proportional med den opnåede lukkekraft eller med andre ord: fordobles forlængelsen af søjlerne, opnås den dobbelte lukkekraft.

Forholdet mellem kraft og forlængelse giver følgende formel:

Eksempel på beregning af lukketryk



Ønsket lukketryk: 600 kN

$$\Delta L = \frac{600 \times 1.450}{65^2 \times 660} = 0,312 \text{ mm}$$

Ved et søjlestræk på 0,312 mm er lukketrykket 600 kN

Lukkekraft i kN på en knæledsmaskine

$$P = \frac{\Delta L \times D^2 \times 66}{L}$$

Søjlestræk på en knæledsmaskine

$$\Delta L = \frac{P \times L}{D^2 \times 660}$$

P = lukkekraft i kN
 ΔL = søjlestrækket i mm
 L = aktiv søjlelængde i mm
 D = søjlediameter i mm
 660 = faktor for 4-søjlede maskiner, når P er i kN

På nyere sprøjtstøbemaskiner er der indbygget et måleur, således at søjlestrækket automatisk kan omsættes til et aflæseligt lukketryk, eller lukketrykket kan aflæses på maskinens skærm.

Doseringsberegning

Formel for den specifikke dosering (g/cm):

$$\text{Spec.}_d = \frac{r^2 \times \pi \times \alpha \times \rho}{100.000}$$

Spec._d = specifik dosering i g/cm
 r = snekkeradius i mm
 π = pi (22/7)
 α = omregningsfaktor fra 23 °C til forbejdningstemperatur
 ρ = rho, materialets massefylde i kg/m³ ved 23 °C

Da ρ er mindre ved forbejdningstemperatur end ved 23 °C, må der indføres en omregningsfaktor α, der ligger mellem 0,8 og 0,9.

For amorfe materialer er α = 0,85-0,9.

For delkrystallinske materialer er α = 0,8-0,85.

Formel for doseringsberegning:

$$B_d = \frac{G_s}{\text{Spec.}_d} \times 10$$

eller

$$B_d = G_s / (r^2 \times \pi \times \alpha \times \rho / 100.000) \times 10$$

B_d = beregnet doseringsvej i mm
 G_s = skudvægt i gram
 S_d = specifik dosering i g/cm

Beregningseksempel

Snekkediameter = 30 mm, materiale = ABS, der er amorf og med ρ = 1.060:

$$\text{Spec.}_d = \frac{15^2 \times \pi \times 0,9 \times 1.060}{100.000} = 6,74 \text{ g/cm}$$

Beregningseksempel

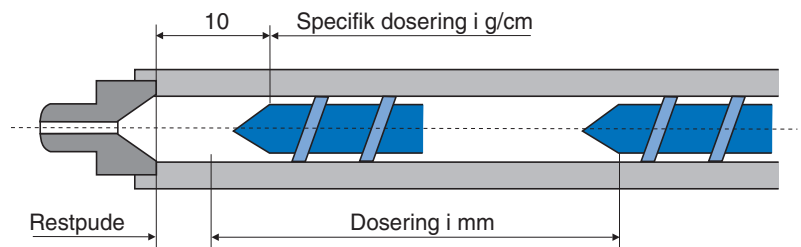
Skudvægt på 32,8 gram:

$$B_d = \frac{32,8}{6,74} \times 10 = 48,67 \approx 48,7 \text{ mm}$$

eller

$$B_d = 32,8 / (15^2 \times \pi \times 0,9 \times 1.060 / 100.000) \times 10 = 48,63 \approx 48,6 \text{ mm}^*$$

* årsagen til afvigelsen er antallet af decimaler, der udelades i øverste udregning



Ved fyldeskudsserien: Bemærk, at omkoblingspunkt og pude ikke er det samme sted, idet snekken oftest kører forbi omkoblingspunktet.

For at kunne nå at aflæse puden i fyldeskudsserien skal der indsættes en værdi for forsinket opsnekning på ca. 6 sekunder. Husk at ændre denne forsinkelse til en "passende" tid i eftertryksserien (eventuelt 0 sekunder).

Specifikt volumen

Når et emnes vægt skal beregnes fx ud fra en emnetegning findes først dets volumen.

Efter beregning af emnets volumen findes emnevægten ud fra formelen:

$$\text{vægt} = \text{volumen} \times \text{massefylde}$$

Alle mål på en emnetegning er opgivet i mm, såfremt andet ikke er bemærket. Når volumen ønskes opgivet i cm³, svarende til vægtenheden gram, må tegningsmålene ændres til cm ved at dividere med 10.

Massefylden benævnes ofte med det græske bogstav ρ (rho) og opgives altid sammen med dens enhed g/cm³, kg/m³ eller kg/l.

Eksempel på beregning af specifikt volumen

Når skudvægten er 30 gram, og v er $1,05 \text{ cm}^3/\text{g}$, er volumenet $= 30 \times 1,05 = 31,5 \text{ cm}^3$.

Volumenændringen fra $23 \text{ }^\circ\text{C}$ til forarbejdningstemperatur kan beregnes som forholdet:

$$\frac{v_{23^\circ\text{C}}}{v_{\text{forarbejdningstemperatur}}} = \frac{0,95}{1,05} = 0,90$$

Som alternativ til den almindelige doseringsberegning kan denne faktor indgå i doseringsberegningen som en gangefaktor.

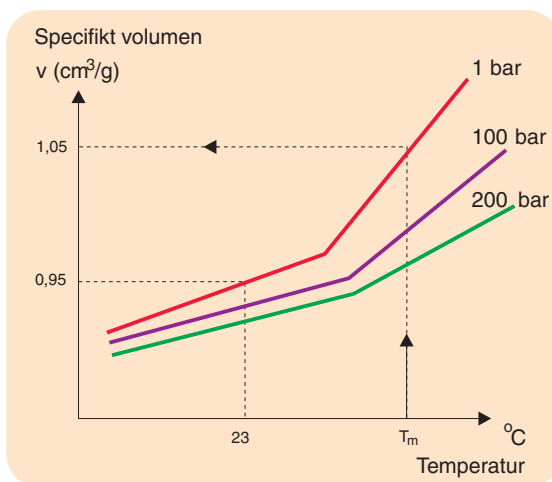
I stedet for massefylden kan det specifikke volumen anvendes. Det specifikke volumen er pr. definition:

$$\text{specifikt volumen} = \frac{\text{volumen}}{\text{vægt}}$$

Det specifikke volumen er altså den omvendte (reciproke) værdi af ρ og betegnes ofte med v .

Det specifikke volumen v opgives ofte i kurveform med v afhængig af temperaturen ved forskellige tryk.

Man går ind på den valgte forarbejdningstemperatur, går lodret op til kurven for 1 bar, går derefter til venstre og aflæser det specifikke volumen v målt i cm^3/g . Den beregnede skudvægt ganges nu med den aflæste v -værdi, og man har det volumen, som skuddet fylder ved forarbejdningstemperatur.



Specifikt volumen

Kalkulation (kostpris)

Det er vigtigt for en plastmager hurtigt at kunne beregne et sprøjttestøbt emnes kostpris, idet det kan give et indtryk af, hvad det betyder i kr. og øre, såfremt cyklostiden øges eller formindskes. Det kan være den gulerod, der gør, at plastmageren altid vil forsøge at opnå den korteste cyklostid inden for en fastlagt kvalitetsspecifikation.

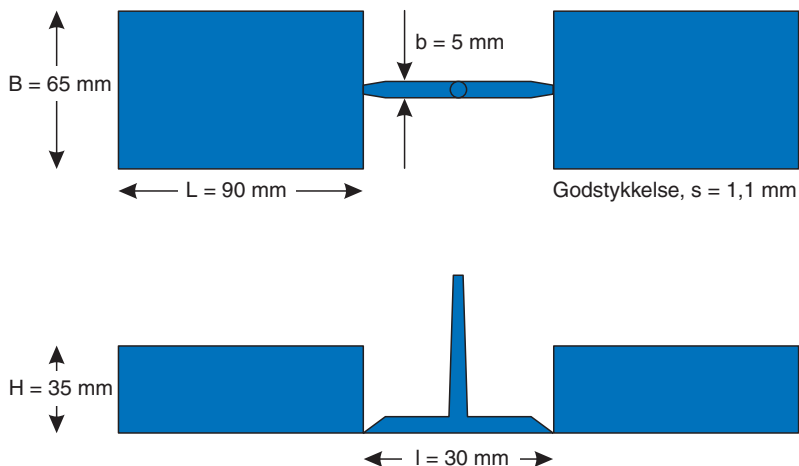
Det er ligeledes vigtigt at få et indblik i materialepriserne for at respektere den korrekte håndtering af materialerne. Dette indblik kan give en forståelse for, hvor vigtigt det er at undgå fejlproduktioner ved hurtig og målrettet indgriben for fejlretning.

En kalkulation kan naturligvis foretages på mange måder. Den her viste kalkulation er en meget generel kalkulationsopstilling.

Emneprisen fremkommer ved sammensætning af alle de faktorer, som indgår i processen fra granulat til færdigt emne.

Eksempel på forkalkulation

Der er kommet et skud af et to-kavitetsværktøj samt en forespørgsel på en emnepris ved 125.000 stk. i blå polycarbonat (PC) med følgende opbygning i værktøjet, som er kundens.



Materialeprisen er forespurgt hos leverandøren og er 29 kr. pr. kg ved 1.000 kg i naturfarve og med massefylden 1.210 kg/m^3 .

Maskinstørrelse og skudvægt

Flydevejen beregnes til:

$\frac{1}{2}$ fordelerstreng	=	$30 \text{ mm}/2$	=	15 mm
Fra indløbspunkt til fjerneste hjørne	=	$35 + 95 + 35$	=	165 mm
Flydevejen L i alt	=		=	180 mm

$$P_m = \frac{f_s \times L}{100} \text{ (MPa)}$$

Middel specifikt fyldetryk i MPa (P_m) beregnes til:

Flydevejen i mm	=	180 mm
Godstykkeelsesfaktor ved 1,1 mm	=	26
P_m	=	$26 \cdot 180 / 100 = 46,8 \text{ MPa}$

Projiceret areal (skyggeareal) beregnes til:

Skyggeareal af fordeler	=	$30 \cdot 5 \text{ mm} = 150 \text{ mm}^2$
Skyggeareal, to emner	=	$2 \cdot 90 \cdot 65 \text{ mm} = 11.700 \text{ mm}^2$
Projiceret areal i alt	=	11.850 mm^2

$$P = \frac{f_f \times P_m \times A}{1.000} \text{ (kN)}$$

Lukkekræftbehov beregnes til:

P_m	=	46,8 MPa
Projiceret areal i alt	=	11.850 mm ²
f_f for PC	=	2
Lukkekræft i alt	=	$2 \cdot 46,8 \cdot 11.850 / 1000 = 1.109,2 \text{ kN}$
+ 15 %	=	$1.109,2 \cdot 15 / 100 = 166,4 \text{ kN}$

Forslag til indstilling

på maskinen	=	$1.275,6 \text{ kN} \approx 1.280 \text{ kN}$
-------------	---	---

Nu kan maskinstørrelsen vælges ud fra lukkekraftbehovet. En maskine med lukkekraft på 1.500-1.750 kN vil være passende.

Maskinprisen er afhængig af mange faktorer, og i dette tilfælde sættes en maskinpris på 350,00 kr./time inkl. strømforbrug, service og husleje til senere brug i kalkulationen.

Det vedlagte skud typebestemmes, og det viser sig, at det er støbt i ABS. Skuddet (2 emner + indløb) vejer 39,11 g.

Vi går ud fra, at det er en standard ABS, det er støbt i, og derfor anvendes massefylden for en standard ABS, som ligger omkring 1.050 kg/m^3 , til omregning af skudvægt i PC.

$$\begin{aligned} \text{Skudvolumenet i cm}^3 &= \text{vægt/massefylde,} \\ \text{altså } &= 39,11/1.050 \times 1.000 = 37,247 \text{ cm}^3 \approx 37,25 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Skudvægt i PC} = 37,25 \times 1.210/1.000 = 45,07 \text{ g}$$

Materialeforbrug og fordeling

$$\begin{aligned} \text{Antal emner til kunde} &= 125.000 \text{ emner} \\ \text{Spild (anslås til 2 \%)} &= 125.000 \times 2/100 = 2.500 \text{ emner} \\ \text{Antal emner i alt} &= 125.000 + 2500 = 127.500 \text{ emner} \\ \text{Antal emner pr. skud} &= 2 \\ \text{Skudvægt} &= 45,07 \text{ gram} \\ \text{Materialeforbrug} &= 127.500/2 \times 45,07/1000 \approx 2873,2 \text{ kg} \\ \text{Materialeforbrug, indkøring og opstart (vurderes til)} &\approx 25,0 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Materialeforbrug i alt} = 2.873,2 + 25 \approx 2.900,0 \text{ kg}$$

Da kunden ønsker blå emner, må der tilsættes 3 % masterbatch (farvepigmenter) til 193,50 kr./kg, så materialefordelingen er som følger:

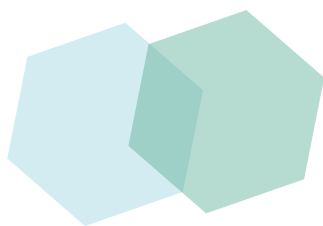
Af de 2.900 kg totalt materialeforbrug udgør polycarbonat 97 % og masterbatchen 3 %

$$\begin{aligned} \text{Ny råvare, naturfarvet} &= 2.900 \times 97/100 = 2.813 \text{ kg} \\ \text{Masterbatch (farve)} &= 2.900 \times 3/100 = 87 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tidsforbrug

For at kunne beregne tidsforbruget må man ud fra egne erfaringer og be-regninger vurdere en cyklustid.

Her prøver vi at vurdere/beregne et cyklusforløb trin for trin.



Cyklustid

1. Formlukning:

Da det er et relativt simpelt topladeværktøj, vurderes form-lukketiden inkl. formsikring på en 1.500 kN maskine til $\approx 1,5$ sek.

2. Indsprøjtning:

Simpel emnekonstruktion, som ikke burde give de store problemer med indsprøjtningshastigheden, der kan dog være kantskader i værktøjet ≈ 1 sek.

3. Eftertrykstid:

Eftertrykstiden kan beregnes efter formlen for forseglingstid $1,1^2 : \pi^2 : 0,11 \times \ln(8 : \pi^2 \times (300 - 85) : (150 - 85)) = 1,10$ sek.
Resultatet må nok siges at være teoretisk og er selvfølgelig afhængigt af indløbets udformning, formens afkølingsforhold, masstemperatur osv. Så her bruger vi måske nogle erfaringer fra tidligere emner, så vi anslår eftertrykstiden til ≈ 4 sek.

4. Restkøletid/plastificering:

Restkøletiden kan også beregnes, da total køletid minus eftertrykstid er lig restkøletid:

$$1,1^2 : \pi^2 : 0,11 \times \ln(8 : \pi^2 \times (300 - 85) : (132 - 85)) = 1,46 \text{ sek.}$$

$$1,1^2 : \pi^2 : 0,11 \times \ln(8 : \pi^2 \times (300 - 85) : (150 - 85)) = 1,10 \text{ sek.}$$

$$1,46 - 1,10 = 0,36 \text{ sek.}$$

Da der erfaringsmæssigt skal beregnes tid til plastificering i restkøletiden, lægges der lidt tid til.

Den anbefalede periferihastighed for PC er lav, 0,3 m/sek., hvilket er årsag til, at restkøletiden vurderes til $\approx 3,5$ sek.

5. Formåbning:

Et simpelt topladeværktøj burde der ikke være problemer med at åbne relativt hurtigt, så her anslås tiden til ≈ 1 sek.

6. Afformning:

Afformningen foregår i dette tilfælde med en afriverplade, da der ikke er udstødermærker at se på emnets overflade, så det burde ikke være det store problem $\approx 0,5$ sek.

7. Pausetid:

Kan pausetid undgås, bør vi det, da det er ren spildtid. I en for-kalkulation kan det være en god ide at gardere sig med en pausetid. $\approx 0,3$ sek.

8. Cyklustid:

$$1,5 + 1 + 4 + 3,5 + 1 + 0,5 + 0,3 \approx 11,8 \text{ sek.}$$

9. Sikkerhedsmargen:

Da man sjældent kan forudsige værktøjets tilstand og ikke kender til værktøjets afkølingsforhold, kantskader, udluftning osv., er det en fordel at lægge en lille sikkerhedsmargen til cyklustiden ≈ 1 sek.

$$\text{Cyklustid i alt} = 11,8 + 1 = 12,8 \text{ sek.}$$

Nu kan tidsforbruget beregnes:

Opstillingstid vurderes til	=	1,5 t.
Indkøring og dokumentation af værktøj vurderes til	=	4 t.
Produktionstid inkl. spild	= $127.500/2 \times 12,8/3.600$	= 226,7 t.
Produktionstid i dage ved	= $226,7/24 = 9,4$	≈ 10 dage
Dagligt vedligehold vurderes til 30 min/dag = 10 × 0,5 t.	=	5 t.
Demontage af værktøj vurderes til	=	1 t.

$$\text{Maskintid i alt} = 1,5 + 4 + 226,7 + 5 + 1 = 238,2 \approx 239 \text{ timer}$$

Arbejds løn

Arbejds løn, til opstilling og vedligehold inkl. sociale omkostninger	=	140 kr./t.
Arbejds løn, til operatør og pakning inkl. sociale omkostninger	=	120 kr./t.

Produktionsomkostninger

Råvarer	=	$2.813 \text{ kg} \times 29 \text{ kr./kg}$	=	81.577,00 kr.
Masterbatch	=	$87 \text{ kg} \times 193,50 \text{ kr./kg.}$	=	16.834,50 kr.
Maskintid	=	$239 \text{ t.} \times 350 \text{ kr./t.}$	=	83.650,00 kr.
Løn til opstilling, indkøring og vedligehold	=	$12 \text{ t.} \times 140 \text{ kr./t.}$	=	1.680,00 kr.
Løn til operatør (vurderes til 40 timer)	=	$40 \text{ t.} \times 120 \text{ kr./t.}$	=	4.800,00 kr.
Emballage (vurderes til 6.000 kr.)	=		=	6.000,00 kr.
+ evt. (vurder selv)				
Omkostninger i alt	=		=	194.541,50 kr.

Salgspris

Kostpris pr. emne = 194.541,50 kr./125.000 emner	=	1,56 kr./stk.
Fortjeneste på 28 %	= $1,56 \times 28/100$	= 0,44 kr./stk.

$$\text{Forkalkulationen giver en salgspris på } 1,56 + 0,44 = 2,00 \text{ kr./stk.}$$

Efterkalkulation

Hvis man får ordren og skal til at producere emner, vil følgende parametre være grundlag for en efterkalkulation og dermed også en opgørelse af, om der er en positiv eller negativ fortjeneste.

- Forbrugt råvare (indløbet kan måske genbruges!)
- Forbrugt masterbatch
- Forbrugt maskintid (cyklustiden ville måske kunne optimeres!)
- Forbrugte lønomkostninger
- Forbrugt emballage
- Evt.

Hvis cyklustiden kunne reduceres med blot 0,5 sek., ville det give en besparelse på ca. 3.100,00 kr. på denne ordre.

Det er en af årsagerne til, at vi må tilstræbe at opnå en tilfredsstillende kvalitet på den kortest mulige cyklustid, og det kan kun lade sig gøre, hvis værktøjet, emnekonstruktionen, produktionsudstyret, råvarerne og vores "knowhow" er optimale.

Ovennævnte eksempel er som nævnt en simpel måde at kalkulere på. Der er mange meninger om, hvilke faktorer der skal medregnes i en forkalkulation, som med fordel kan udformes som et regneark, da det vil gøre det nemmere at ændre de parametre, der påvirker emneprisen.

Inden produktionsopstart

Inden opstart af en sprøjtetøbeproduktion er der visse ting, der skal og bør tages højde for: Produktionsforberedelse, opspænding af værktøj, hjælpeudstyr, indkøring og produktionskontrol m.m.

Grundlæggende findes der tre slags sprøjtetøbevirksomheder:

- Virksomheder, der kun har egenproduktion
- Virksomheder, der udelukkende er underleverandør (ofte kaldet løn-sprøjtetøbere)
- Virksomheder, hvor produktionen er en blanding af egenproduktion og underleverandørproduktion

Uanset hvilken af de tre typer virksomheder der er tale om, skal der tages højde for de samme ting inden produktionsopstart.

Produktionsforberedelse

Produktionsforberedelsen er i princippet ens for de tre typer virksomheder og starter med udlevering af produktionsordren, hvor der forinden er foregået en del registreringsarbejde såsom modtagelse af ordre fra kunde, ordrebekræftelse med pris, leveringstid og leveringsbetingelser og endelig en produktionsplanlægning med tilhørende materialebestilling m.m.

Efter produktionsplanlægningen går produktionsordren i rette og god tid til produktionen, hvor den ansvarlige har den nødvendige tid til grundig og korrekt produktionsforberedelse, der kan bestå af følgende punkter:

1. Er værktøjet klart til produktion? Dvs. tjek af værktøjstilstanden, hvilket bør være foretaget efter sidste produktion. Tjek af vandstutse, slan-ger, værktøjshejs (værktøjsbro), opspændingsbeslag, opspændingsbolte og af, om eventuel specialdyse er til stede.
2. Værktøjet forsynes med oliepapir på opspændingspladerne.
3. Er maskinen klar til produktion? Har værktøjet ikke tidligere kørt i denne maskine, skal der udføres en helt ny indkøring.
4. Eksisterer der kontrolinstruktioner og kontrolemler for pågældende produktion?
5. Skal der anvendes specielt måle- og inspektionsudstyr? Er det til stede?
6. Kan værktøjet monteres i maskinen, har den tilstrækkelig åbne- og udstødervej, passer styreringen, indløbsbøsningen og maskindysen?
7. Har maskinen tilstrækkeligt lukketryk?
8. Har maskinen tilstrækkelig skudkapacitet?
9. Det er vigtigt at danne sig et overblik over, hvornår den foregående produktion er færdig, og den nye produktion kan påbegyndes, eventuelt uden at værktøjsskiftet skal foregå på aften- og nathold. Kommer stykantalet til at passe? Hvis ikke, tjek konsekvenserne. Når stykantalet tjekkes, er det både for et for lille, men også for et for stort styk-antal. Kan den foregående produktion fortsættes til den nye ordres produktionsforberedelse er klar, eller skal den stoppes lige på antal?
10. Er materiale og masterbatch-farve på lager? Er materialet tørt (kondensfugt)?
11. Skal materialet forbehandles, dvs. indfarves i farveblender og fortørres?
12. Er det nødvendige følgeudstyr fx formtemperering, transportbånd og materialesuger m.m. til stede.

Ovenstående tolv punkter er kun nogle af de punkter, der skal tjekkes før nedtagning af værktøj fra den foregående produktion og inden opstilling af det nye værktøj for næste produktion.

De enkelte sprøjtestøbevirksomheder kan have andre og mere udførlige produktionsforberedelsesrutiner, som den ansvarlige plastmager skal overholde.

Demontering af værktøj

Produktionen afsluttes:

1. Værktøjet lukkes.
2. Materialespjældet lukkes. Snekken køres tom og renkøres eventuelt med et effektivt og passende renkøringsmateriale.
3. Varmen sænkes på sprøjtecylinderen.
4. Der laves et udprint af produktion og proces.
5. Der vælges et kontrolemne, der følger værktøjet.
6. Der lukkes for kølevand og slukkes for værktøjstempereringsaggregat.
7. Køletilslutningen fjernes, og overskydende kølevand løber i en spand.
8. Kølevand blæses ud af kølekanaler, medmindre værktøjet er forsynet med specielle lukkekoblinger, og de resterende køleslanger fjernes eventuelt.
9. Udstøderforlænger og udstøderkobling afmonteres.
10. Værktøjet åbnes.
11. Værktøjet rengøres. Vær omhyggelig med at fjerne rester af kølevand.
12. Formkaviteter og lukkeflader rustbeskyttes.
13. Værktøjet lukkes.
14. Hejsebeslag (løftebro) monteres.
15. Spændejernene fjernes fra det bevægelige opspændingsplan.
16. Det bevægelige opspændingsplan køres væk fra formen (fuld åbning, så der er plads at arbejde på).
17. Løftegrej gøres fast til værktøjets løftebro og lægges an.
18. Spændejernene fjernes fra det faste opspændingsplan.
19. Søjlebeskyttere placeres på søjlerne, inden værktøjet løftes ud af maskinen. Søjlebeskyttere er vigtige for at undgå beskadigelse og slagmærker fra værktøjet. På mange maskiner er søjlerne stempelestænger i maskinens lukkecylindre.
20. Værktøjet skubbes ud af styrehullet, løftes op og fjernes.
21. Værktøjet køres væk til klargøring og eventuel reparation før opbevaring til næste gang, det skal i produktion.
22. Opspændingsplanerne tjekkes for rust og slagmærker, som udbedres, hvorefter de renses og smøres med en let olie.
23. Eventuelle beskadigede gevindhuller repareres ved opskæring.
24. Maskinen rengøres, også de steder man ikke kommer dagligt. Følg maskinens vedligeholdelsesprogram og tjek med logbog.
25. Der rengøres i øvrigt i og omkring maskinen.

Montering af værktøj

Maskinen er nu klar til den næste produktion. Maskinen sættes i opstillingsprogram:

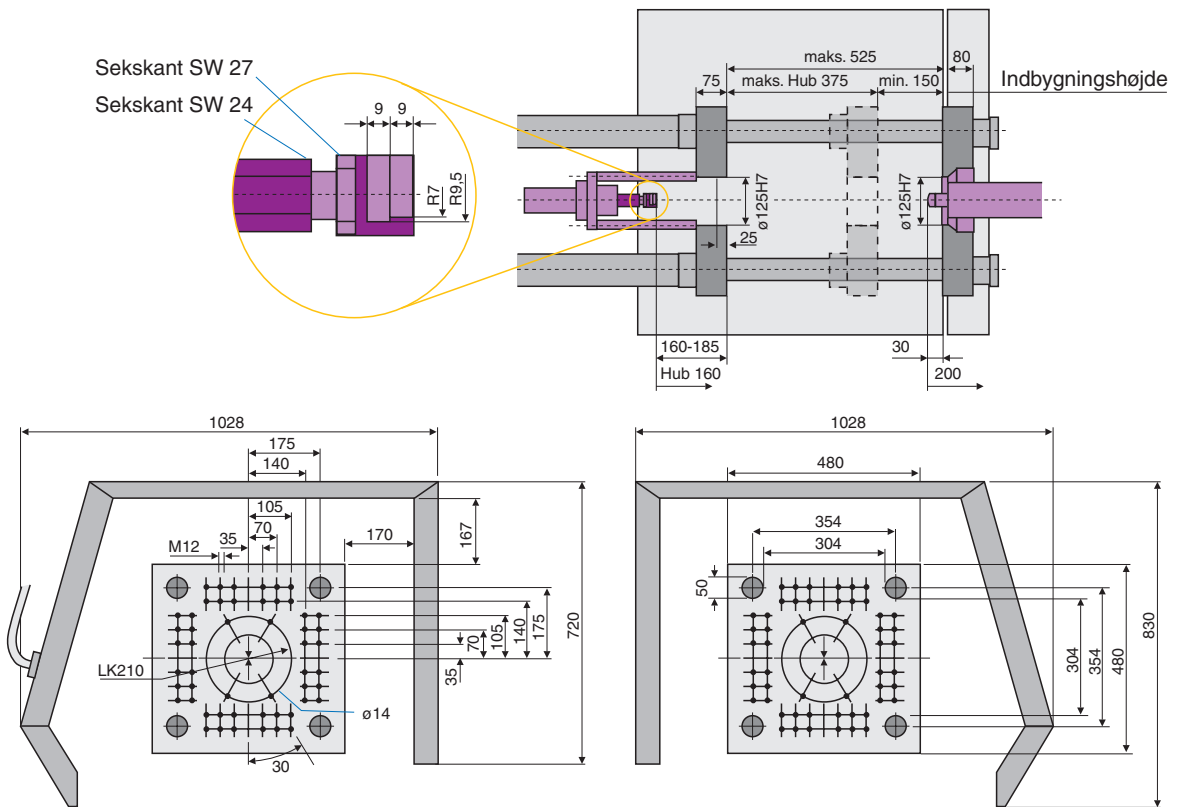
1. Værktøjet, der tidligere er tjekket mht. styring, vandstutse, slanger og eventuel specialdyse m.m., er nu klar til opspænding.
2. Værktøjet, der er forsynet med oliepapir til beskyttelse af planerne mod rust fra eventuelt kondensvand, dannet af værktøjets skiftende temperaturer under længerevarende stop og start, sættes i maskinen og styres på plads i det faste opspændingsplans styrehul.
3. Spændejern og bolte monteres på det faste opspændingsplan.
4. Løftegrejet fjernes og køres væk.
5. Løftebroen afmonteres fra værktøjet.
6. Det bevægelige opspændingsplan køres mod værktøjets bevægelige opspændingsplade.
7. Der sættes eventuelt højtryk på det lukkede værktøj.
8. Spændejern og bolte monteres på det bevægelige opspændingsplan.
9. Køle- eller tempereringstilslutning monteres.
10. Udstøderforlænger og eventuel sammenkobling monteres.
11. Tjek med papir, om dyseanlægget ligger rigtigt an på indløbsbøsningen (dysecentrering).
12. Værktøjet er nu monteret i maskinen og klart til indstilling og indkøring.
13. Indkøringen foretages efter "Systematisk indkøring".
14. Indstilling af maskinens bevægelsesparametre kan eventuelt foregå efter bogen "Grundlæggende om plastmaterialer og processer, trin 1".

Værktøjsindbygningsmål

I forbindelse med produktionsforberedelse skal det undersøges, om værktøjet kan monteres i maskinen - har lukkeenheden tilstrækkelig åbne- og udstødervej? Passer styreringen?

Man kan kontrollere, om styreringen passer, ved at måle værktøjets styring og sammenligne målet med styrehullet i det faste opspændingsplan. Eventuel tilpasning kan ske med omsætningsringe.

Åbne- og lukkevej kan man tjekke ved at se på et maskinkort, hvorpå formværktøjsindbygningsmål er påført.



Maskinkort med formindbygningsmål

Tegningen viser indbygningsmålene på en 500 kN sprøjtestøbemaskines lukkeenhed, hvor minimumformhøjden er 150 mm og maksimumformhøjden ligger inden for målet for maksimumafstand mellem formplanerne = 525 mm.

Det betyder, at såfremt værktøjets indbygningshøjde er 350 mm, er åbnevejen begrænset til $525 - 350 = 175$ mm.

Værktøjsskitse 1

Værktøjet er tænkt til en Battenfeld 125/500.

Maskinkort

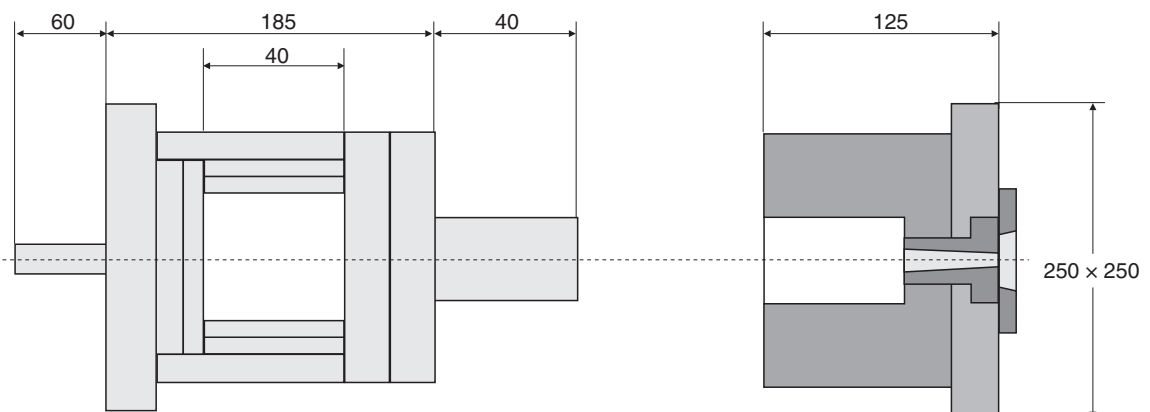
Maskinkortet på næste side indeholder de vigtigste data for maskinen, som det er nødvendigt at kende for en plastmager, der skal betjene pågældende maskine. Ud over lukkesidens indbygningsmål indeholder maskinkortet sprøjtesidens data.

Værktøjshøjde

Ud fra ovenstående kan det undersøges, om værktøjet vist herunder, "Værktøjsskitse 1", kan indbygges i den pågældende maskine, idet styre- og dyse passer.

Såfremt værktøjet ikke kan indbygges, må der vælges en anden maskine.

Såfremt værktøjet ikke er fremstillet endnu, kan der laves en anden værktøjskonstruktion eventuelt med afriverplade, som aktiveres af den faste formpart ved værktøjsåbning, hvilket betyder, at værktøjshøjden mindses med omkring 100 mm.



Maskinkort

Tekniske data

Sprøjteenhed 200

Snekkediameter	mm	30	35	40
Specifikt sprøjtetryk	bar	2.022	1.484	1.136
Teoretisk doseringsvolumen	cm ³	99	134,7	175,9
Maks. sprøjtevægt PS	g	90	122,5	160
Maks. sprøjtevægt PE	g	70,3	95,6	124,9
Plastificeringsydelse	g/sek.	10,5	15	20
Snekke- eller doseringsvej	mm	140	140	140
Snekkeomdrejningstal	omdr./min.		0-290	
Dyseholdekraft	kN		57,7	
Dysevandring	mm		200	
Cylindervarmeforbrug	kW		7,88	
Antal varmebånd			1 + 3	

Lukkeenhed 500

Maks. lukkekraft	kN		500	
Åbnkraft	kN		40	
Største opspændingsplade	mm	H480 × V480	H580 × V480	
Afstand mellem søjler	mm	H304 × V304	H404 × V304	
Søjlediameter	mm		50	
Min. værktøjsindbygningshøjde	mm		150	
Åbnevej	mm		375	
Maks. afstand mellem planer	mm		525	
Udstøderkraft	kN		17,5	
Udstødervej	mm		160	
Tomgangscyklus	1/min.		35	

Motoreffekt

Pumpeeffekt	kW		11	
Oliekapacitet	L	185		

Maskindata

Vægt	kg		2.500	
Maskindimension	m		3,23 × 1,3 × 1,84	
Kassemål	m		3,6 × 1,45 × 2	

Sprøjtestøbecycleklus

Sprøjtestøbemaskinen er konstrueret til at kunne køre en halv- eller hel-automatisk sprøjtestøbecycleklus, der altid starter fra/eller med samme udgangsposition med maskinen opsnekket.

Ved opstart af cyklus skal maskinen altid være i dens udgangsposition, hvilket vil sige, at værktøjet er åbent, udstøderen befinder sig i bagerste stilling, cyklus startes med "Manuel opsnekning", hvorefter maskinen kan igangsættes med startknappen. Den halv- eller fuldautomatiske sprøjtestøbecycleklus kan herefter tage sin begyndelse.

Almindeligvis taler man om, at cyklus indeholder ti hovedpunkter og otte underpunkter, men der kan være flere både hoved- og underpunkter i en cyklus afhængigt af opdelingen.

De ti hovedpunkter

0. Manuel opsnekning
1. Form lukkes
 - a) Formsikring
 - b) Lukkehøjtryk
2. Dyse frem
3. Indsprøjtning
 - a) Omkobling til eftertryk
4. Eftertryk
 - a) Eftertrykstid
5. Køletid
 - a) Opsnekning
 - b) Modtryk
 - c) Dekompression
6. Dyseafastning
7. Form åbnes
8. Udstødning
9. Pausetid

Fejlfinding

Processen gentager sig efter første cyklus, idet maskinen er snekket op under punkt 5, køletid.

Dette cyklusforløb er et fast, bundet forløb, hvor hver del af cyklusforløbet skal være tilendebragt før næste del af forløbet kan påbegyndes.

Underpunkterne i cyklusforløbet mærket a), b) osv. sker eller kan ske samtidigt med hovedforløbet fx ved hovedpunktet "Køletid", hvorunder opsnekning, modtryk og dekompression foregår.

Ved hovedpunktet "Indsprøjtning" fortsætter cyklus først, når den forudindstillede omkoblingsvej til eftertryk er nået. Herefter kobles om til eftertryk.

Hvis omkoblingsvejen ikke nås, vil maskinen stoppe, nogle maskiner desværre ved relæudfald.

Eventuelle maskinfejl bør i første omgang søges fundet ved granskning af cyklusforløbet, idet det meget ofte er her, "maskinfejlen" skal findes. Mange maskinfejl kan ofte henføres til betjeningsfejl af cyklusforløbet.

Såfremt dette ikke afdækker fejlen, bliver næste punkt i fejlfindingen at få indkredset, hvortil maskinen er nået i dens cyklusforløb, således at en reparatør herigennem kan lokalisere fejlen og få den udbedret.

Det er derfor vigtigt for plastmageren at være fuldstændigt dus med maskinens cyklusforløb, idet denne fremgangsmåde med en beskrivelse af, hvor maskinen er stoppet, og hvad næste step i cyklusforløbet er, vil kunne spare megen, kostbar reparatørtid til indkredsning af fejl.

Cyklus og proceskendskab

Inden igangsætning af en produktion skal værktøjs- og cylindertemperaturen indstilles. Disse temperaturer bør indstilles ud fra anbefalinger fra råvareleverandøren, dvs. ud fra oplysninger fra datablade og lignende.

Til en specifik og krævende produktion med et ikke kendt materiale bør der måske tages kontakt til råvareleverandøren, idet databladene kun oplyser om generelle temperaturvalg.

Begrebet masstemperatur betyder den temperatur, smelten har lige før indsprøjtning i værktøjet, og det må ikke forveksles med den indstillede cylindertemperatur.

Cylindertemperaturen er den temperatur, varmebåndene er indstillet til, og som sammen med den friktionsvarme, der opstår under dosering og modtryk, tilføres materialet. Disse faktorer vil bevirke, at materialet opnår en specifik masstemperatur.

Punkt 0: Manuel opsnekning

- Den halv- eller helautomatiske cyklus starter med manuel opsnekning.
- Opsnekning eller dosering er et begreb for klargøring af en afmålt (doseret) mængde plastsmelte svarende til den mængde plastificeret materiale, der skal indsprøjtes i værktøjet.
- Doseringen sker, ved at den roterende snekke transporterer materiale frem i snekken. Under denne transport frem foran snekkespidsen udsættes materialet for forskellige påvirkninger såsom varme, tryk og friktion.
- Snekkeomdrejningstallet indstilles/vælges i overensstemmelse med anvisningerne i "Systematisk indkøring".
- Cylindertemperaturen indstilles/vælges i overensstemmelse med anvisningerne i "Systematisk indkøring" og skal altid måles for registrering og kontrol.

- For at kunne foretage manuel opsnekning med åben dyse må modtrykket ofte fjernes. På nogle maskiner sker det automatisk, mens det på andre sker via en knap eller en nøgle. På nogle maskiner må drøvleventilen åbnes helt.
- Når den manuelle opsnekning er foretaget, og maskinen står i udgangsposition med formværktøjet helt åbent og udstøder i bagerste stilling, kan cyklus startes ved omskiftning til automatik og derefter et enkelt tryk på startknappen.

Punkt 1: Form lukkes

Dette punkt, som kan kaldes maskinens lukkefunktioner, omhandler, hvorledes maskinindstillingerne skal være, for at formen kan lukkes harmonisk med glidende overgangsbevægelser og uden ryk m.m.

- Først og fremmest må formens nulpunkt findes, såfremt det ikke sker automatisk, dvs. det punkt hvor formen er lukket, så hydraulikken kan opbygge lukkehøjtryk.

For at finde dette nulpunkt, må vi snyde maskinens styring en smule, idet vi allerede 0,5 mm før formen er lukket, må indtaste et kontaktpunkt på vejtransduceren, der siger, at formen er lukket. Herefter vil maskinen opbygge lukkehøjtryk.

På mange sprøjtestøbmaskiner kan styringen selv finde dette kontaktpunkt ved at aktivere lukkekontakten, kort tid efter at formen er lukket.

- Ud over formens nulpunkt skal lukkevejens hastighedsprofiler indstilles. Indstillingen er specielt afhængig af formens udformning/konstruktion (kulissestræk), der er bestemmende for fx nedbremsningsvejen inden kontakt til kulisseyrene (skråtappene).

Definition af formsikring

Formsikringen er en tids-, tryk- og vejafhængig sikring af, at sprøjtestøbeværktøjet ikke lider overlast ved en såkaldt "klemmer".

Punkt 1a: Formsikring

Herefter skal formsikringen indstilles. Indstilling af formsikringen sker ved indstilling af formsikringsvejen, -tiden og -trykket. Formens udformning er igen bestemmende for, hvorledes formsikringsvejen skal indstilles.

- Formsikringsvejen skal begynde eller indsættes afhængigt af formkonstruktion. Lukkehastigheden skal være nedbremset inden eller samtidigt med formsikringsvejen.
- Formsikringstiden indstilles, således at værktøjet med sikkerhed kan nå at lukkes med den indstillede lukkehastighed. Formsikringstiden forsinkes ikke cyklustiden, medmindre der kommer et emne i klemme.
- Formsikringstrykket skal indstilles så lavt som muligt, hvilket stiller krav til, at værktøjets styretappe og eventuelle bevægelige dele skal være rengjort og smurt, så der er mindst mulig friktion til stede.
- Når produktionen har kørt en tid, kan der opstå en skæv varmefordeling mellem den faste og den bevægelige forpart, således at styretappene bliver træge, hvorfor formsikringstrykket må hæves. Såfremt problemet fortsætter, og formsikringstrykket må hæves til et for højt niveau i forhold til opstartsniveauet, bør det undersøges, om der eventuelt kan være noget helt andet galt med værktøjet.
- Såfremt et emne eller andet vil hindre værktøjet i at lukkes med det indstillede formsikringstryk og den indstillede formsikringstid, vil maskinen stoppe, dvs. værktøjet vil åbnes, hvorefter maskinen vil melde fejl.

Mange maskiner kan indstilles til at forsøge at lukke flere gange, hvilket er praktisk, såfremt emnet ved næste forsøg er faldet ud af værktøjet, således at produktionen kan fortsættes.

Punkt 1b: Lukkehøjtryk

- Lukkehøjtryk aktiveres først, når maskinens nulpunkt er rigtigt indstillet, og formsikringen ikke har meldt fejl.
- Efter at lukkehøjtrykket er opbygget, går cyklus videre til ”Sprøjteaggregat frem”.

Punkt 2: Dyse eller sprøjteaggregat frem

Ligesom ved ”Form lukkes” må sprøjteaggregatets nulpunkt, dvs. dysens anlægspunkt mod værktøjet, bestemmes/fastlægges.

- Der anbringes et kontaktpunkt på vejtransduceren 0,5 mm før anlæg. Maskinen skal være i lukkehøjtrykstilstand, før sprøjteaggregatet kan køres frem. Det er en sikkerhed mod, at spændjernene bliver udsat for sprøjteaggregatets anlægstryk.
- Dette gælder dog ikke alle maskiner, idet nogle maskiner selv finder nulpunktet. Visse af disse maskiner kan endog indsprøjte i åbent værktøj, hvilket er uhensigtsmæssigt og kan være farligt.
- Derefter skal sprøjteaggregatets hastighedsprofil og anlægstryk indstilles harmonisk og uden stød.
- Når sprøjteaggregatets anlægstryk er opbygget, går cyklus videre til ”Indsprøjtning”.

Punkt 3: Indsprøjtning

Under dette punkt er der mange valgmuligheder, der skal træffes beslutning om. Ved ny indkøring er det i starten vigtigt at forenkle indstillingerne, således at der kun vælges én indsprøjtningssvej og én indsprøjtningshastighed.

Såfremt det viser sig nødvendigt med differentieret indsprøjtningshastighed, findes der ikke en entydig opskrift. Men det er i den forbindelse vigtigt, at der ikke er finner på emnet, når der omkobles til eftertryk, da sådanne finner blot vil blive større i eftertryksfasen.

- Indsprøjtningstryk og -hastighed indstilles i overensstemmelse med ”Systematisk indkøring”.
- Da der er mange muligheder for forskellige indsprøjtningshastigheder (= differentieret indsprøjtning), vælges der som start kun én hastighed, hvorfor sprøjtetryksvalg ligeledes indstilles med et trykvalg.
- For aflæsning af puden må der indsættes en doseringsforsinkelsestid. Denne forsinkelsestid skal fjernes igen, når der indsættes en eftertrykstid, for ikke at få cyklustiden forlænget.
- Ved regulerede maskiner skal der vælges en trykgrænse, som ikke må være under ”er-værdien” for nødvendigt tryk. Ligeledes skal trykket være således, at den indstillede indsprøjtningshastighed kan opnås (indsprøjtningshastigheden reguleres ikke over indsprøjtningstrykket).

Er-værdi

Maskinens opnåede trykværdi.

Skal-værdi

Maskinens indstillede og ønskede trykværdi.

Trykgrænsen må heller ikke indstilles med en for høj værdi, da maskinen ikke har godt af en sådan indstilling og kan blive skadet af for voldsomme trykstød i hydraulikken.

Såfremt hastighed og tryk ikke kan opnås som indstillet, vil moog-ventilen melde overstyret, hvorefter der må ske indgreb i indstillingerne for at undgå denne melding.

- Når snekken når omkoblingsvejen til eftertryk, går cyklus videre til eftertryk.

Punkt 3a: Omkobling til eftertryk

Under dette punkt er der to eller flere valgmuligheder. De væsentligste er tids- og vejafhængig omkobling til eftertryk.

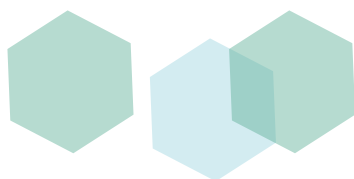
- Omkoblingsmåden skal vælges i programmet.
- Første valg er, hvilken af de to måder maskinen skal koble om til eftertryk på.
- Da vejomkobling til eftertryk er den altdominerende måde at omkoble på, vil der i denne bog, såfremt der ikke er specificeret en anden måde, kun være tale om vejomkobling.
- Tidsafhængig omkobling til eftertryk var tidligere meget benyttet, men er nu overtaget af vejafhængig omkobling til eftertryk. Tidsafhængig omkobling til eftertryk er ikke så præcis en omkoblingsmåde som vejomkobling, idet materialets viskositet kan svinge en del, hvilket ved tidsomkobling betyder, at der bliver mere eller mindre materiale indsprøjtet i værktøjet inden omkobling.
- Ved vejafhængig omkobling til eftertryk vil det altid være den samme mængde materiale, der indsprøjtes i værktøjet, uanset materialets viskositet. Derfor er denne omkoblingsmåde mere nøjagtig end tidsafhængig omkobling.
- Af andre omkoblingsmåder kan nævnes hydraulisk omkobling, der via tryktransducere indbygget i værktøjet, ofte i en eller flere udstøderpinde, sørger for omkoblingen til eftertryk.
- Ved vejafhængig omkobling til eftertryk kan der sættes lighedstegn til ”puden”.
Puden vælges rigeligt stor, således at der er tilstrækkeligt materiale foran snekken, til at den ikke går i bund under indsprøjtning, samt at der er tilstrækkeligt materiale til eftertryksvolumen og restpude (puden reguleres under indkøringen til et passende niveau).
- Efter omkobling til eftertryk går cyklus videre til eftertryk.

Punkt 4: Eftertryk

Under dette punkt er der som under ”Indsprøjtning” mange valgmuligheder at træffe beslutning om. Ved ny indkøring er det i starten vigtigt at forenkle indstillingerne, således at der kun vælges ét eftertryk og dermed også kun én eftertrykstid. Der er normalt ingen eftertrykshastighed.

Såfremt det viser sig nødvendigt med differentieret eftertryksvalg, findes der ikke en entydig opskrift, idet det er den aktuelle indkøring, der er bestemmende.

- Eftertrykket indstilles eller vælges i overensstemmelse med ”Systematisk indkøring”.
- Ved maskiner, hvor eftertrykket er reguleret, skal der vælges en eftertryksgrænse, som bør være ca. 10-20 bar over ”er-værdien” for det nødvendige tryk.
Trykgrænsen skal vælges så lavt som muligt, idet maskinen ikke har godt af maksimalt trykvalg, såfremt det kun er nødvendigt med fx 30 bar.
- Eftertryk og eftertrykstid hører sammen i cyklusforløbet - ingen tid, heller intet tryk.





Punkt 4a: Eftertrykstid

Sprøjtestøbmaskinen er udstyret med lige så mange eftertrykstider som eftertryk, idet eftertryk og eftertrykstid naturligvis følges ad.

- Eftertrykstiden indstilles eller vælges i overensstemmelse med anvisningerne i ”Systematisk indkøring”.
- I starten af indkøringen er det vigtigt at forenkle indstillingerne, således at der som ved eftertryksvalg kun vælges én eftertrykstid.
- Når eftertrykstiden udløber, går cyklus videre til køletid.

Punkt 5: Køletid

- Køletiden benævnes ofte som ”restkøletid”, idet eftertrykstiden sammen med restkøletiden benævnes som samlet køletid.
- Eftertrykstiden indstilles eller vælges i overensstemmelse med anvisningerne i ”Systematisk indkøring”.
- Samtidigt med at køletidsuret løber, foregår der tre andre underpunkter af processen:
 - a) Opsnekning
 - b) Modtryk
 - c) Dekompression
- Når køletiden udløber, går cyklus videre til dyseaflastning eller sprøjteaggregattilbageføring.

Punkt 5a: Opsnekning/dosering

- Første underpunkt, der foregår under køletiden, er opsnekningen, som skal være tilendebragt inden for køletiden.

Hvis opsnekningen ikke nås inden for køletiden, vil mange maskiner melde fejl. Den meldte fejl kan være ”Doseringsforsinkelsestid overskredet”.

- Endvidere kan det være afgørende for emne kvaliteten, at opsnekningen ved en lang køletid indstilles med en opsnekningforsinkelsestid, således at opsnekning afsluttes, samtidigt med eller kort før køletidsuret udløber. Specielt ved varmefølsomme materialer kan man ved denne indstilling forhindre en for materialet lang og nedbrydende opholdstid i sprøjtecyklinderen.

Punkt 5b: Modtryk

- Modtrykket er underlagt doseringen, som indirekte foregår i køletiden.
- Modtrykket skal indstilles, hvad enten det er et stort eller et lille modtryk, eller om det valgte modtryk er nul.
- Modtrykket må nødvendigvis opbygges under opsnekningen. Snekken transporterer materialet frem gennem sprøjtecyklinderen under ned-smeltning og frem foran snekkespidsen, hvor der vil opstå et tryk af det stadig fremstrømmende materiale. Det opbyggede tryk skal overvinde modtrykket bag ved snekken, for at snekken kan bevæge sig bagud i sprøjtecyklinderen. Dvs. dette tryk i smeltet materialet omsættes altså indirekte til det såkaldte ”modtryk”.
Den hastighed, hvormed snekken skubbes bagud, bestemmes for så vidt af, hvor højt modtrykket er indstillet (højt modtryk betyder langsom opsnekning).
- Modtrykkets opbygning foregår via en drøvleventil, også benævnt ”kontradrøvleventil”. Ved at drøvle hindres hydraulikoliens frie returløb fra hydraulikcyklinderen til olietanken.

- Såfremt maskinen er udstyret med en åben dyse, kan der ikke opbygges et modtryk under manuel opsnekning, idet materialet blot vil løbe ud ad den åbne dyse.

Det samme gælder, hvis opsnekningen foregår under fuldautomatisk produktion, såfremt den åbne dyse er kørt væk fra værktøjet eller bare aflastet.

I en sådan situation må dysen blive stående fremme mod værktøjet under opsnekningen, og først når opsnekningen er tilendebragt, kan dysen aflastes eller tilbageføres.

Det vil sige, at der skal indstilles en dysetilbagetid for aflastning eller tilbageføring, som først må udløbe, umiddelbart efter at doseringen er tilendebragt.

Denne dysetilbagetid betyder ikke nødvendigvis, at dysen kører tilbage, men blot at den aflastes, afhængigt af den indstillede dysetilbagevej.

Ved dyseaflastning menes der, at det hydrauliske tryk på sprøjteenhedens anlægscylinder fjernes.

- Modtrykket indstilles eller vælges i overensstemmelse med anvisningerne i "Systematisk indkøring".

Punkt 5c: Dekompression eller kompressionsaflastning

Dekompression betyder trykaflastning.

- Programmet kan vælges.
- Kompressionsaflastning anvendes med det formål, at smelten foran snekkespidsen trykaflastes, således at smelten, som jo vil være under tryk, såfremt den ikke trykaflastes, vil løbe ud ad dysen, såfremt det er en åben dyse, maskinen er udstyret med.
- Ved dekompression sættes der hydraulisk tryk på bagsiden af den hydrauliske sprøjtecylinder, hvorved hydraulikstemplet, der er fast koblet til snekken, føres bag ud.
- Der er to former for kompressionsaflastning; før og efter dosering.
- Kompressionsaflastningen før dosering har naturligvis samme hovedformål som kompressionsaflastning efter dosering, nemlig at trykaflaste smelten foran snekkespidsen.
- Trykaflastning før dosering kan benyttes i forbindelse med en tilstoppet dyse, der skal afmonteres, da det vil være endda meget uhensigtsmæssigt at skrue dysen af, når der kan være tryk bag dysen svarende til det indstillede sprøjtetryk.
Såfremt der anvendes trykaflastning før dosering, vil der, når trykket på snekken er fjernet, kunne opnås en blødere overgang fra eftertryk til dosering. Den metode er ikke meget anvendt.
- Efter disse tre underpunkter, opsnekning, modtryk og dekompression, vil cyklus, når køletidsuret udløber, gå videre til dyseaflastning eller tilbageføring af sprøjteaggregat.

Punkt 6: Dyseaflastning eller tilbageføring af sprøjteaggregat

Dyseaflastning og tilbageføring af sprøjteaggregatet er to forskellige måder at sprøjtestøbe på, idet dyseaflastning betyder, at hydrauliktrykket tages fra sprøjteaggregatets anlægscylindre, hvorimod tilbageføring af sprøjteaggregat virkeligt betyder, at sprøjteaggregatet og dermed dysen køres væk fra værktøjet.

- Det første kriterium for valg af metode mellem dyseaflastning og sprøjteaggregattilbageføring beror på, om der tillades at overføre varme fra sprøjtecylinderen til værktøjet, med de ulemper det vil kunne medføre for henholdsvis værktøj og dyse.

Det næste kriterium er, om dysen ”fryser”. Såfremt værktøjet køles kraftigt, eller dysen afgiver så meget varme til formen, at den ikke kan holdes tilstrækkeligt varm, resulterer det i, at dysen ”fryser”. At dysen fryser, vil sige, at materialet i dysehullet størkner som en prop, så indsprøjtning ikke er mulig. Det størknede materiale i dysehullet kaldes ofte for en dyseprop.

- Valget af dyse kan være afgørende for, om produktionen skal foregå med dyseaflastning eller med tilbageføring af sprøjteaggregat.
- Lukkedysen stiller ikke betingelser om, hvornår eller om dysen skal aflastes eller tilbageføres.
- Den åbne dyse stiller derimod visse betingelser til dette forhold, da der vil kunne forekomme ”savl” eller ligefrem mængder af udstrømmende materiale fra dysen, såfremt dysen er aflastet eller tilbageført under opsnekning.
- Med åben dyse vil tilbageføring af sprøjteaggregatet let kunne betyde, at dosering er umuliggjort, idet selv et ubetydeligt modtryk vil sende en stråle af smeltet plast ud ad dysen.
- Ved dyseaflastning inden opsnekning ligeledes med åben dyse og med et ubetydeligt modtryk kan der danne sig en såkaldt ”dysekage”. Dysekagen er opstået som følge af små mængder materiale, der for hver opsnekning slipper ud mellem indløbsbøsning og dyse. Denne dysekage vil, såfremt den ikke bliver fjernet jævnlige, vokse sig stor, så den til sidst helt omslutter de sidste varmebånd, som på den måde vil blive ødelagt.
- Problemet løses med en forsinkelsestid for dyseaflastning, der er afpasset efter opsnekningstiden.
- Efter dyseaflastning eller dysetilbageføring går cyklus videre til ”Form åbnes”.

Punkt 7: Form åbnes

Som ved ”Form lukkes” vil ”Form åbnes” have samme maskinindstillinger med hensyn til åbnebevægelser med harmoniske og glidende bevægelser uden ryk.

Under dette punkt skal åbnehastighed og åbnevej bestemmes. Derudover skal starttidspunktet for udstøder besluttes, dvs. hvor på åbnevejen udstøderen skal aktiveres.

- Åbnehastigheden indstilles, så en pæn, glidende åbning uden ryk opnås.
- Åbnevejen skal minimeres, således at emnet akkurat og uhindret kan falde ud mellem værktøjets faste og bevægelige formparter.
- Udstøderen skal aktiveres, så der opnås mindst mulig forsinkelse på grund af udstødningen, dvs. afformningen kan eventuelt være afsluttet, når formåbningsvejen er afsluttet. Nogle maskiner har ikke denne funktion indbygget, idet formåbningen stopper, når afformning foregår, hvorefter maskinen afslutter åbningsvejen.
- Formåbning kan på nogle maskiner indstilles med mellemstop, der bevirker, at et emne, der ikke falder sikkert ud af værktøjet, vil falde ud, når udstøderen returneres, og værktøjet begynder at lukkes igen for at stoppe med et ryk. Dette mellemstop benyttes også, når udstøderen indstilles til to eller flere udstøderslag.
- Efter ”Form åbnes” går cyklus videre til ”Udstødning”.

Punkt 8: Udstødning

Under dette punkt skal der i første omgang kun træffes valg om udstødervej, -hastighed og -tryk samt antal udstøderslag, og hvor på åbnevejen ”Udstøder frem” skal ske.

- Udstødervejen indstilles, således at emnet bliver sikkert afformet fra værktøjet.
- Udstøderhastighed indstilles, således at emnet ikke beskadiges under frigørelse fra værktøjet.
- Udstødertrykket indstilles tilstrækkeligt til at emnet afformes.
- Udstøderen aktiveres under maskinens åbnevej, så der opnås mindst mulig cyklusforsinkelse forårsaget af emnets afformning. Afformningen af emnet kan være afsluttet, når formåbning afsluttes. Nogle maskiner har ikke denne funktion indbygget, idet formåbningen stopper, når afformning foregår, hvorefter maskinen atter påbegynder den afbrudte åbningsvej.
- Udstøderaktivering hører naturligt sammen med den afsluttede køletid, idet emneafformning først må starte, når emnerne er nedkølet til materialets "varmeformbestandighedstemperatur". Varmeformbestandighedstemperaturen er bl.a. den temperatur, hvorved emnet er stabilt til afformning.
- Udstøderen kan indstilles til to eller flere udstøderslag.
- Såfremt "Udstøder frem" og/eller "Udstøder retur" ikke giver vejkontakt eller signal, vil maskinens cyklus stoppe, ofte uden fejlmelding. En sådan betjeningsfejl må rettes, så udstøderen giver det fornødne signal til fortsat cyklus.
- Specielt for signalet "Udstøder retur" taler man om, at maskinen er idiotsikker, idet der ville ske mange og alvorlige værktøjshavarier, såfremt denne sikkerhedsfunktion ikke var indbygget i maskinens styring. Værktøjet kan ikke lukkes, såfremt udstøderen ikke er gået retur.
- Efter at udstøderen er tilbage i returstilling, går cyklus videre til pausetid.

Punkt 9: Pausetid

Under dette punkt indstilles pausetiden.

På de fleste sprøjtstøbmaskiner starter pausetiden normalt, når udstøderen er i bagerste stilling efter udstødning, og skal indstilles, så emnet falder sikkert ud af værktøjet.

På nogle få sprøjtstøbmaskiner starter pauseuret parallelt med aktivering af udstødning. Her må pausetiden naturligvis ikke udløbe, før emnet er faldet sikkert ud af værktøjet.

- Pausetiden minimeres, til at emnet akkurat kan nå at falde ud af værktøjet, inden formlukningen starter igen.
- Såfremt afformningen af en eller anden grund er usikker, således at emnet fanges af værktøjet, og formsikringen aktiveres, bør pausetiden hæves med de mikrosekunder, der skal til, for at produktionen igen kører stabilt.
- Efter pausetidens udløb går cyklus igen videre til "Form lukkes", som nu bliver punkt 1 i cyklusforløbet, da opsnekningen er sket under punkt 5a.



Forskellige driftsformer og funktioner

Opstillingsprogram

Dette program anvendes, som ordet siger, til opstilling af værktøj, og ved alle funktioner, hvor minimalt tryk er påkrævet.

I opstillingsprogrammet er hydrauliktrykket og bevægelseshastighederne justeret til minimalværdier, således at der ydes størst mulig sikkerhed mod, at værktøj og dele heraf, fx kernetræk, bliver beskadiget.

På sprøjttestøbmaskinerne kan der ofte være indbygget vejbeholdninger, som formsikringstrykket ikke kan overvinde, medmindre vejene nulstilles.

Når værktøjet er opspændt, og bevægelser og veje er indstillet, kobles maskinen over i næste program "Håndbetjening".

Ingen bevægelser under opstillingsprogrammet eller de øvrige programmer er mulige, medmindre sikkerhedsskærmene er lukket.

Håndbetjening

Under dette program styres enhver funktion via en tryk- eller drejeknap på manøvrepanelen, også kaldet betjeningspanelet.

De enkelte funktioner - bevægelser og tider - varer, så længe den på-gældende knap er aktiveret, eller selve funktionen bliver afbrudt, når en vejindstilling er nået, eller en tid er udløbet.

Programmet anvendes, fx når der ønskes gennemført et komplet cyklusforløb, hvor betjeningsmandskabet selv ønsker at aktivere de forskellige punkter i cyklusforløbet.

Programmet kan også anvendes, såfremt der ønskes indgreb i det automatiske cyklusforløb, hvilket er muligt, uanset hvortil maskinen er nået i cyklusforløbet.

Ingen bevægelser er mulige, medmindre sikkerhedsskærmene er lukket.

Halvautomatisk

Dette program startes som beskrevet i de ti punkter i sprøjttestøbencyklus, men med den forskel i forhold til det fuldautomatiske program, at maskinen kun fuldfører ét cyklusforløb. For at fortsætte til næste cyklus må starttasten aktiveres igen.

Programmet bør altid anvendes i forbindelse med opstart og indkøring, indtil det er konstateret, at maskinen kører sikkert, og at emnerne afformes sikkert og upåklageligt. Først derefter kobles der over til fuldautomatisk cyklus.

Ved en produktion, hvor emnet manuelt tages ud af værktøjet, anvendes dette program med fordel, idet betjeningsmandskabet blot tager em-net ud og trykker på starttasten.

Et sprøjttestøbværktøj, hvor der skal ilægges en indsats (indstøbning af indlæg), er dette halvautomatiske program ligeledes velegnet, idet cyklus stopper med udstøderen i bagerste position, og indsatsen kan indlægges. Til en sådan produktionsform kan der oftest med fordel anvendes en speciel sprøjttestøbmaskine med vandretstående formlukkeenhed.

Programmet indeholder en funktion, hvor der kan indkobles et mellemstop, dvs. cyklus afsluttes med afformning af emne, for så at køre et indstillet stykke af lukkevejen frem igen og stoppe. Derefter aktiveres starttasten for at fortsætte til næste cyklus.



Yderligere indeholder dette program en funktion, hvor cyklus kan stoppes med udstøder fremme i forreste position, hvorefter et nyt cyklusforløb igen startes med starttasten. Dette program anvendes, når emnerne ikke selv må falde ud af værktøjet.

Ingen bevægelser er mulige, medmindre sikkerhedsskærmene er lukket.

Fuldautomatisk (helautomatisk)

Dette program forløber som det halvautomatiske program, dog uden at stoppe efter hvert cyklusforløb.

Produktionen fortsættes uafbrudt, til ydre forhold standser den.

Ingen bevægelser er mulige, medmindre sikkerhedsskærmene er lukket.

Overvågningsprogrammer

Sprøjtstøbemaskinen kan være udstyret med mange specielle programmer, deriblandt flere overvågningsprogrammer.

Overvågningsprogrammerne kan kobles til og fra efter ønske, dog ikke doseringsovervågningen.

Cyklusovervågning

Hvis cyklustiden af en eller anden grund forlænges eller overskrider den indstillede cyklusovervågnings tid, afbryder eller fejlmelder cyklusovervågningen produktionen, som genstartes med starttasten.

Cyklusovervågningsprogrammet kører parallelt med andre overvågningsprogrammer.

Indsprøjtningsovervågning

Indsprøjtningsovervågning kan være flere forskellige overvågningsprogrammer.

Pudeovervågning, også kaldet indsprøjtningsovervågning, er det almindeligste af indsprøjtningsovervågningsprogrammerne.

Programmet er noget ineffektivt, når der er tale om fler-kavitetsværktøjer, idet programmet virker på den måde, at der indsættes en sprøjtetid, der er lidt højere end den reelle indsprøjtningstid. Såfremt indsprøjtningen ikke når omkoblingsvejen, inden tiden udløber, vil maskinen melde fejl.

Ved fler-kavitetsværktøjer, hvor et emne bliver siddende i kaviteten, når formen lukkes, vil de øvrige kaviteter få det fulde sprøjtetryk i den kortvarige periode, indtil den indstillede tid fejlmelder, hvilket ofte er den ene gang for mange.

Parallelomkobling er noget mere effektiv, idet omkoblingen sker, når det normale fyldetryk er nået. Dette bevirker, at selv med et emne siddende i en kavitet vil trykket i de øvrige kaviteter ikke overstige det planlagte fyldningstryk, og såfremt den indstillede omkoblingsvej ikke nås, vil maskinen melde fejl.

Der findes flere effektive omkoblings- og overvågningsprogrammer til overvågning af indsprøjtningssvejen.

Ved tidsomkobling til eftertryk er problematikken omkring indsprøjtningsovervågning den samme.

Udfaldsovervågning

Det mest simple af udfaldsovervågningsprogrammerne er overvågning med en fotocelle i udfaldsslisen. Dette program duer ikke til fler-kavitetsværktøjer.

Vægtovervågning er et effektivt udfaldsovervågningsprogram, men forlænger cyklustiden væsentligt.

Disse overvågningsprogrammer benyttes sjældent i dag.

Specielle programmer

Luftafblæsning

For at afhjælpe problemer med usikker emneudstødning fra værktøjet kan programmet "Luftafblæsning" indkobles.

Luftafblæsningen startes på vej og indstilles på blæsetid.

Kernetræk

Kernetræksprogrammet, der er hydraulisk, kan anvendes til almindelig hydraulisk kernetræk eller gevindafskruring.

Programmet kører over vejfunktion og indstilles på tid og tryk.

Tomgangscyklus eller tørscyklus

Dette program er velegnet til brug ved fejlfinding og kan ikke anvendes til produktion. Programmet anvender samme funktion som kompressionsafkastning før dosering, idet snekkeskruet indstilles på en ønsket vejlængde lig med snekkevejen. Snekken trækkes herefter hydraulisk tilbage i sprøjtecyklindere uden rotation.

Cylindere skal være kørt tom for materiale, og der skal være varme på den. Start maskinen i halv- eller helautomatikprogrammet, hvorved en eventuel periodisk fejl måske kan fremprovokeres og indkredses.

Programmet er ligeledes velegnet i forbindelse med indkøring af komplekse kernetræk, hvor det er behageligt at kunne indstille kernetrækket inden fyldeskudsserien uden at skulle døje med at fjerne ufuldstøbte emner fra kaviteterne samtidigt med indstillingen af kernetrækket.

Programmet er også velegnet i forbindelse med indstilling og montering af luftafblæsningsprogrammet, som bedst kan indstilles uden at blive forstyrret af understøbninger, der manuelt skal fjernes fra værktøjet til den første grovindstilling.

Snekkerotation under indsprøjtning

Dette program kan opfylde flere behov og funktioner.

Såfremt den valgte maskines skudkapacitet er en smule for lille, vil snekkerotation under indsprøjtning bevirke, at skudkapaciteten øges, måske så meget, at et værktøjsskift kan undgås. Kvalitetsmæssigt kan en sådan produktion køre rimeligt, når der ses bort fra, at den bedste homogenisering af materialet opnås ved en skudkapacitet, der kun udnyttes 60-80 %.

Snekken roterer ikke i eftertryksfasen.

En meget slidt spærring kræver reparation her og nu, såfremt emnevægten varierer uacceptabelt meget. Med snekkerotation under indsprøjtning kan reparationen måske udsættes til næste formskift, men det er en absolut nødløsning og kan kun anvendes, såfremt der ikke stilles særlige krav til emnet.

Ved den slidte eller revnede tilbageløbsspærre vil materialet under indsprøjtning løbe baglæns i sprøjtecyklindere, men ved at lade snekken rotere under indsprøjtning, flyder materialet ikke tilbage i sprøjtecyklindere. Eftertrykket forbliver virkningsløst, idet snekken ikke roterer under eftertryksfasen.

Flydestøbning

Dette program fungerer i halv- og helautomatisk drift, ved at maskinen inden indsprøjtning ekstruderer en vis mængde materiale ind i formen.

Programmet fungerer ved at indstille ekstruderingen på tid. Indsprøjtning og eftertryk foregår på normal vis og uforandret.

Dette program forøger maskinens maksimale skudvægt betydeligt, men på sigt vil det være en nødløsning at køre efter denne metode.

Programmet kan som nødløsning anvendes til en produktion, hvor emnevægten er betydeligt over maskinens maksimale skudvægt.

Programmet stiller visse krav, fx at emnets godstykkelse bør være over 5 mm, samt at formtemperaturen er indstillet højt for at undgå for hurtig afkøling af det materiale, der ekstruderes ind i værktøjet. De bedste resultater opnås med delkrystallinske, letflydende materialer fx PA.

Specielt doseringsprogram

Større sprøjttestøbemaskiner, der har stor skudkapacitet, skal også levere en stor dosering, dvs. doseringstiden kan blive betydeligt længere end den nødvendige køletid. Det er derfor praktisk, at doseringen kan fortsættes efter udløb af den nødvendige køletid.

Programmet kan indstilles, til at doseringen blot skal være afsluttet, inden maskinen opbygger lukkehøjtryk.

Dvs. doseringen kan foregå, mens maskinen rent faktisk afslutter cyklus med åbning, udstødning og atter lukning, men doseringen skal være afsluttet, inden maskinen igen opbygger lukkehøjtryk.

Andre specielle programmer

De beskrevne programmer er alle generelle. Derudover vil der være mange andre tilvirkede eller specielle programmer, idet den enkelte køber af en sprøjttestøbemaskine har mulighed for at få maskinen udstyret efter behov og ønsker.

Sprøjttestøbemaskinens vedligeholdelse

For at sprøjttestøbemaskinerne skal fungere og arbejde upåklageligt time efter time, er det vigtigt med en grundig vedligeholdelsesplan.

Såfremt virksomheden ikke selv har en vedligeholdelsesplan, kan en sådan rekvireres fra maskinfabrikanten.

For at kunne holde styr på vedligeholdelsesplanen bør der dagligt eller pr. skift udfyldes et kort i logbogen.

Vedligeholdelsesprogram ifølge anvisning fra firmaet Battenfeld

Daglig vedligeholdelse:

- Kontrol af alle nødstopkredse
- Afprøvning af sikkerhedsfunktioner, inkl. om sikkerhedsskærmene er intakte og i orden
- Alle smøresteder tjekkes for nødvendig smøring
- Renholdelse af sprøjttestøbemaskinen og området omkring den
- Kontrol af olietemperatur under drift
- Kontrol af tilstedeværelse af tragtmagnet
- Kontrol af, om at logbogen er til stede, og at den bliver ført ved hvert skift

Såfremt der er defekter ved sprøjtetøbemaskinen eller følgeudstyret, sørg da for, at de bliver udbedret omgående, ligesom du skal sikre dig, at søjlebeskytterne benyttes ved opstilling og nedtagning af sprøjtetøbeværktøjer.

Ugentlig vedligeholdelse:

- Kontrol af snekkedrev for smøring og tæthed
- Rengøring af skuevindue i beskyttelseskærm
- Kontrol og rengøring af sprøjtetøbemaskinen og følgeudstyr samt området omkring den
- Kontrol af kølesystem/tempereringsaggregat/køleslanger
 - Luftslanger
 - Vandbatteri
 - Oliekøler
 - Kølesystem og tragtravers

- Tjek, om maskinmanualen er til stede ved sprøjtetøbemaskinen
- Kontrol af maskinens optiske tilstand
- Kontrol af funktion for ventilator i styreskab
- Kontrol af og rengøring af filter for ventilator
- Tjek af søjler for tape eller anden forurening
- Tjek af timetæller til notering i logbog
- Tjek af oliestand og påfyldning af nødvendig olie
- Rengøring af lukkeside, sprøjteside, pumperum inkl. elmotorens luftindsugning
- Afprøvning af manometerfunktion og nulstilling

Logbogen signeres af den ansvarlige plastmager.

Derudover bør sprøjtetøbemaskinen kalibreres én til to gange årligt, hvor der samtidigt foretages et servicetjek.

Sikkerhed ved sprøjtetøbemaskinen

Sprøjtetøbemaskiner, der kører en fuldautomatisk proces, er sikret bedst muligt mod arbejdsulykker blandt betjeningspersonalet.

De kraftfulde og hurtigtarbejdende sprøjtetøbemaskiner er indkapslet af beskyttelseskærme både på sprøjte- og lukkeenheden, således at det omtrent er umuligt at komme til skade.

Det er naturligvis ikke tilladt at kravle ind i og op på maskinen under drift.

Standardsikkerhedsudstyr

Standardsikkerhedsudstyr eller det af myndighederne krævede sikkerhedsudstyr omfatter:

- Afskærmning ved alle klemsteder (steder, hvor betjeningsmandskabet kan komme i klemme)
- Afskærmning ved dyse
- Elektrisk sikkerhedskredsløb for lukkeenhed
- Elektriske kredsløb for øvrige sikkerhedsskærme
- Hydraulisk lukkesikring
- Nødstop
- Specielle sikkerhedsforanstaltninger

Disse sikkerhedskrav betyder naturligvis ikke, at plastmageren er fritaget for at tænke selv, idet alle disse sikkerhedsforanstaltninger i sig selv ikke er tilstrækkelige, eller sagt med andre ord: ”sikkerhedsforanstaltningerne er ikke idiotsikre”.

Alle nye maskiner er fra fabrikken sikret med det nyeste og bedste sikkerhedsudstyr, men mange ældre sprøjtetøbemaskiner er ikke udstyret på samme måde. Derfor skal man være specielt påpasselig ved anvendelse af disse ældre maskiner.

Det er enhvers eget ansvar at sikre sig, at den maskine, der arbejdes med, som minimum lever op til Arbejdstilsynets krav om sikkerhed ved sprøjtetøbemaskiner.

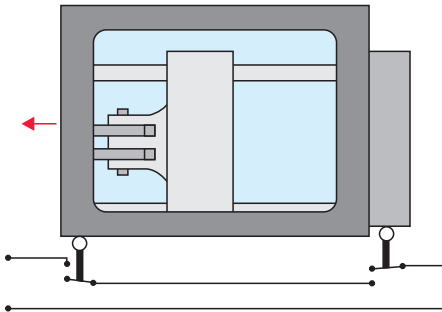
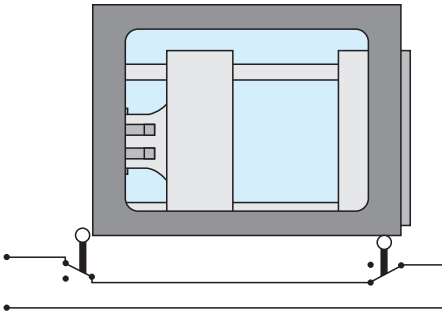
Afskærmning

Afskærmninger kan opdeles i faste og bevægelige skærme.

Ved faste skærme forstås skærme, der er monteret på maskinen med skruer og bolte, og som ikke kan fjernes uden brug af værktøj. Disse skærme skal altid være monteret på maskinen, når dens motor startes.

Ved bevægelige skærme forstås skærme, der kan åbnes ved hængsler, eller skærme, der kan skydes til side på et skinnesystem fx sikkerhedsskærme for lukkeenheden.

Sikkerhedsskærmen er helt lukket, og begge kontakter er påvirket og lukket. Det elektriske kredsløb er etableret, og maskinen er funktionsdygtig.



Sikkerhedsskærmen er ikke helt lukket, og kontakterne er åbne. Det elektriske kredsløb er afbrudt, og maskinen er ikke funktionsdygtig.

Afskærmning ved dyse

Afskærmninger ved dyse kan ligeledes opdeles i faste og bevægelige skærme.

Ved faste skærme forstås skærme, der er monteret over dysen for at forhindre, at smeltet materiale skal sprøjte på betjeningsmandskabet under udsprøjtning (fortrinsvis på ældre maskiner).

Ved bevægelige skærme forstås skærme, der kan åbnes ved hængsler, eller skærme, der kan skydes til side på et skinnesystem (sikkerhedsskærme for sprøjteenheden).

Ovennævnte skærme kan være suppleret af en bevægelig dysebeskyttelse, såfremt udsprøjtning kan foregå med sikkerhedsskærmen for sprøjteenheden stående åben.

Elektriske sikkerhedskredsløb for lukkeenhed

Det elektriske sikkerhedskredsløb for lukkeenheden består af et dobbelt, elektrisk kredsløb med to kontakter, der sikrer, at maskinen kun er funktionsdygtig, når sikringskærmen for lukkeenheden er lukket.

For at det elektriske kredsløb er sluttet, skal begge kontakter være påvirket og lukket.

Elektriske kredsløb for øvrige sikkerhedsskærme

De elektriske sikkerhedskredsløb ved øvrige sikkerhedsskærme er enkeltvirkende, dvs. der er kun én kontakt for hver sikkerhedsskærm.

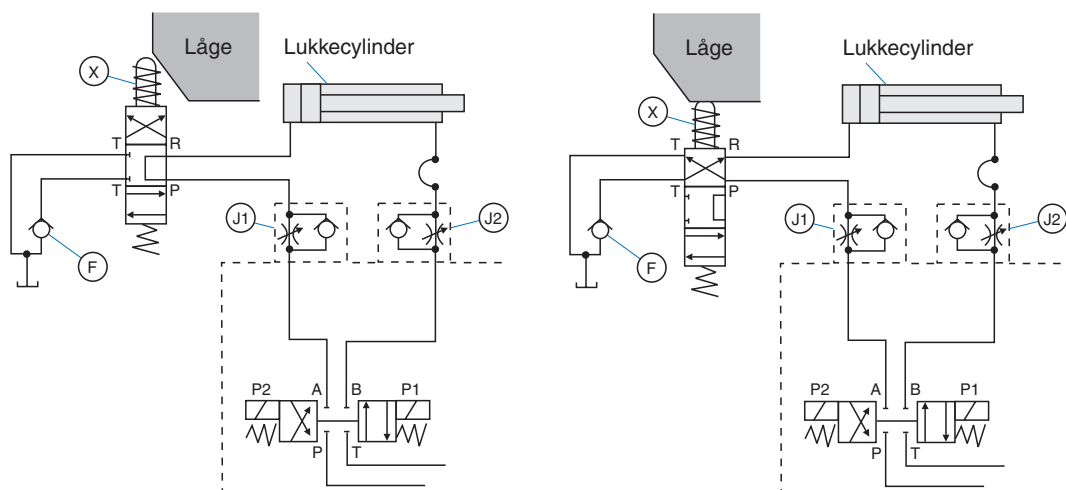
Hydraulisk lukkesikring

Den hydrauliske lukkesikring kan være monteret på sprøjttestøbemaskinens bagside, så den forlængede ventilarm bliver påvirket af sikkerhedsskærmen, når denne åbnes.

Blot en lille åbning af sikkerhedsskærmen påvirker ventilen. Oliestrømmen sendes derved retur til olietanken, og maskinen er ikke funktionsdygtig.

Den hydrauliske lukkesikring (Battenfeld)





A. Maskinen med lukket sikkerhedsskærm (låge) og upåvirket hydraulikventil. Maskinen er funktionsdygtig.

B. Maskinen med åben sikkerhedsskærm og påvirket hydraulikventil. Maskinen er ikke funktionsdygtig.

Nødstop

Maskinen skal være udstyret med et nødstop, som er en rød, hvælvet knop, der ved tryk øjeblikkeligt afbryder maskinens styrestrøm eller ved ældre maskiner maskinens hovedstrøm.

Dette nødstop er ikke beregnet til at stoppe maskinen med til fyraften, men kun i nødsituationer.

Nødstopet bør funktionsafprøves jævnligt.

Nødstoppet skal afprøves en gang imellem fx én gang om ugen eller én gang om måneden som en fast rutine, så det sikres, at den altid er funktionsdygtig.
(Battenfeld)

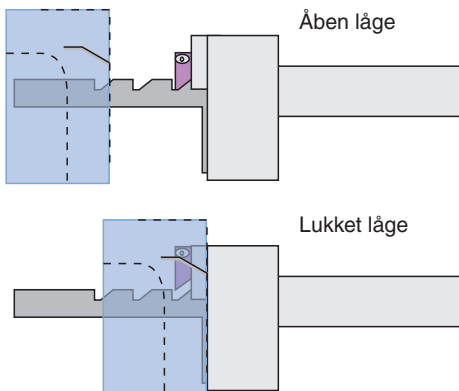


Specielle sikkerhedsforanstaltninger

- Styrespændingen på elektroniske sprøjtestøbemaskiner arbejder med lavspænding på 24 eller 100 volt, hvilket sikrer mod farlige el-stød. Ældre maskiner er ofte forsynet med en styrespænding på 220 volt, hvorfor der kræves stor forsigtighed. Ved arbejde og rengøring i maskinstativet skal maskinen være afbrudt, sikringerne kan eventuelt fjernes.
- Maskinen er eller kan være udstyret med et HFI-relæ, som afbryder den elektriske strøm ved en meget lille overgangsspænding, normalt 0,03 ampere.
- Ved alle klemsteder (steder, hvor betjeningsmandskabet kan komme i klemme) er der sikkerhedsskærme. Sikkerhedsskærmene ved betjeningsstederne er normalt udstyret med klar, gennemsigtig plast, der tillader betjeningsmandskabet at følge maskinens arbejdsproces. Disse sikkerhedsskærme kører på stabile føringer, så afsporing ikke forekommer.
- Sprøjtestøbemaskinens sikkerhedsskærme eller låger er konstrueret således, at det ikke på normal vis er muligt at kunne nå et klemsted, uden at skærmen først er fjernet.
- Maskinen kan være forsynet med et mekanisk stop/lukkesikring, der hindrer planerne i at nå sammen, når sikkerhedsskærmen er åben.
- Maskinen kan være forsynet med en afstandsbjælke som erstatning for den hydrauliske lukkesikring. Afstandsbjælken kan også eftermonteres.

Afstandsbjælken påvirkes af sikkerhedslågen. Med lukket låge er bjælken løftet op over det faste opspændingsplan, således at formlukning kan ske uhindret.

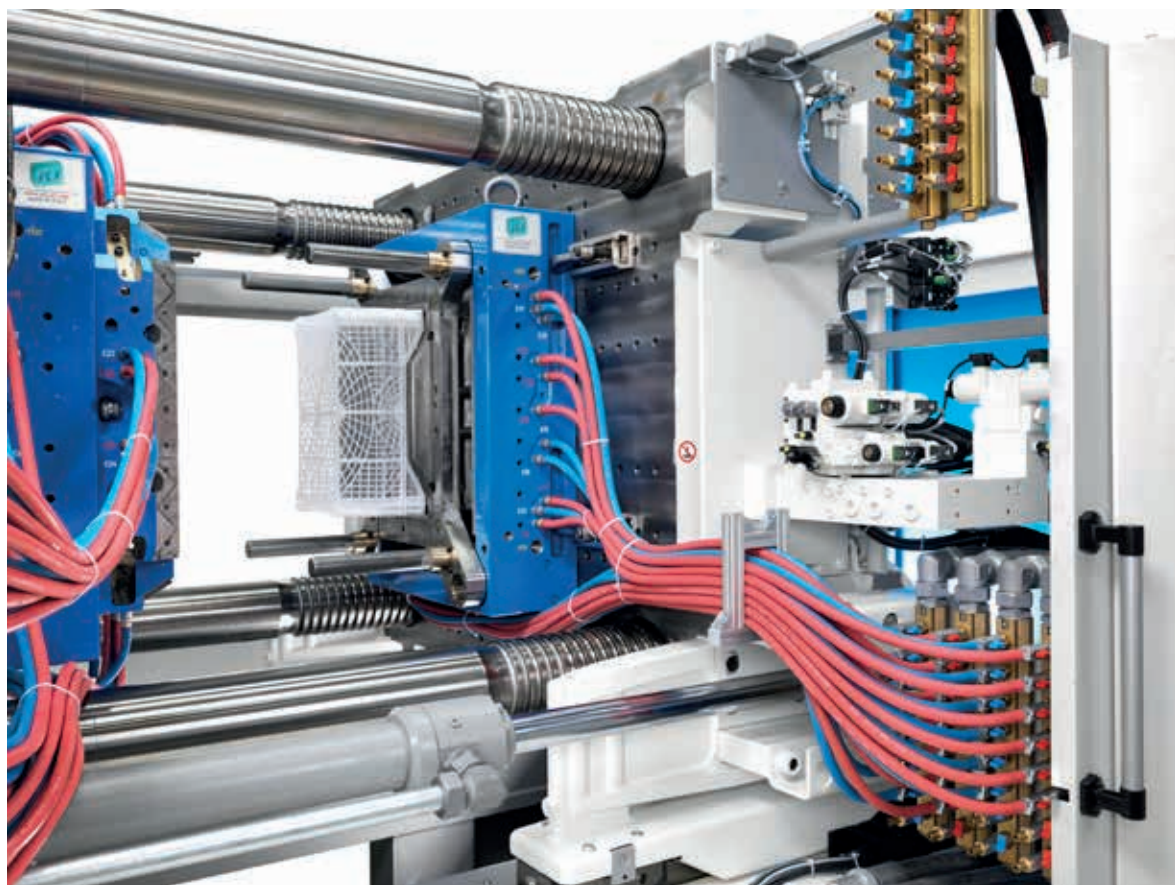
Ved åben låge falder afstandsbjælken ned og lægger sig mellem det bevægelige og det faste opspændingsplan, hvorved bjælken forhindrer formlukning. Afstandsbjælken har en længde, der umuliggør formlukning.



Mekanisk lukkesikring

Ved åben låge falder palen ned, således at den, såfremt det bevægelige opspændingsplan skulle begynde at lukke, griber ind i trapperne på afstandsbjælken.

Ved lukket låge er palen løftet, således at afstandsbjælken uhindret kan gå forbi palen og ind gennem det faste opspændingsplan og videre ind i et beskyttelseshylster.



Sprøjtøbmaskine

Kig ind i sprøjtøbmaskine med åben dør og komplekst værktøj til fremstilling af plastkasser (KraussMaffei)



Indkøring med fastlæggelse af procesparametre

Følgende afsnit er opdelt i fire dele: Første del er indledning, anden del omhandler planlægning, tredje del omhandler den egentlige systematik ved fastlæggelse af procesparametre, og fjerde del omhandler nogle let anvendelige værktøjer til at kontrollere kvaliteten af det indkørte emne.

Del 1: Indledning

Ved fastlæggelse af procesparametrene er der foruden at finde frem til en optimal cyklostid den sidegevinst, at de opnåede resultater kan afdække fejl og mangler ved både emnekonstruktion, konstruktionen af sprøjtestøbeværktøjet, maskinvalg og materialevalg. Dette bør være et grundlag for effektivt samarbejde mellem sprøjtestøbevirksomheder og værktøjsmagerne, så de samme fejl ved et værktøj ikke opstår igen.

God og grundig indkøring med dokumentation kan anvendes til undersøgelse og analyse af sprøjtestøbeværktøjets produktionsegnethed, og om der kan/bør foretages nødvendige ændringer af værktøjet, så produktionen bliver mere rentabel.

Da ikke al sprøjtestøbning nødvendigvis skal være produktionssprøjtestøbning, kan der være cyklostid at spare ved at afkorte fx eftertrykstiden, specielt når der er tale om emner med mindre tolerancekrav.

At overholde meget snævre tolerancer er normalt ensbetydende med forhøjede produktionsomkostninger, hvilket dog ved omhyggelig analyse af indkøringsforløbet med henblik på optimering af den nødvendige processtabilitet ofte kan vendes til en nedbringelse af produktionsomkostningerne.

Definitionen af præcisionssprøjtestøbning er sprøjtestøbning af emner med mål-tolerancer mindre end $\pm 0,2\%$.

Ved fastlæggelse af procesparametre er det vigtigt at have kendskab til maskiner, værktøjsopbygning, plastmaterialer, så de forhold, der påvirker indkøringens stabilitet, kan reduceres til et minimum.

Et vellykket, sprøjtestøbt emne kan kun opnås ved det rigtige samspil mellem indkører, maskine, værktøj og materiale.

Der er skrevet meget om systematisk indkøring. En af de væsentligste, danske publikationer "Systematisk indkøring af sprøjtestøbeprodukter" er forfattet af Ole Johansen, DTU. Denne publikation må ikke forveksles med nærværende afsnit, og det anbefales plastmageren eller sprøjtestøberen også at læse nævnte publikation.

Del 2: Planlægning

Indkøring kan opdeles i seks procesfaser. Da adskillelsen af de forskellige procesfaser er af stor betydning for, om indkøringen bliver en fiasko eller en succes, må indkøreren konstant holde styr på de forskellige faser i indkøringsforløbet.



De seks indkøringsserier = planlægning

1. Fyldeskudsserie
2. Eftertryksserie
3. Forseglingsserie
4. Restkøletidsserie
5. Emnevægt- og mål-stabilitetsserie
6. Udfaldsprøve og "0-serie" (derefter produktion)

Ovenstående seks indkøringsserier må holdes skarpt adskilt under indkøringsfasen. De seks indkøringsserier kan med grundig dokumentation anvendes som grundlag for bl.a. analyse af fejlkonstruktioner ved emne og værktøj, til vurdering af den tekniske, økonomiske op-timering af produktionen samt til analyse og bestemmelse af optimale procesparametre til tolerancebestemmelse.

Til adskillelse af procesfaserne kan benyttes et såkaldt "proceskort", hvorpå der kun noteres én serie på hvert proceskort, således at fyldeskudsserien holdes adskilt fra eftertryksserien osv.

Det er under indkøringen vigtigt, at der kun foretages én maskinindstilling ad gangen for gennem nogle skud at lade maskine og proces falde til ro, før næste indstilling foretages.

Såfremt maskine og proces ikke får den fornødne tid til at falde til ro mellem hver maskinindstilling, vil resultatet af indstillingerne kunne blive misvisende, hvilket yderligere bliver forværret, såfremt der foretages flere på hinanden følgende indstillinger. Processen kommer helt ud af kurs, og der kan ikke mere regnes med de opnåede resultater i forhold til de foretagne indstillinger.

Såfremt denne strenge disciplin ikke overholdes med ovennævnte maskinindstillinger under indkøringsforløbet, kan hele indkøringen blive spoleret, men, hvad værre er, der vil være risiko for overfyldning af værktøjet, hvilket kan medføre værktøjshavari.

Endvidere er det ikke muligt at overskue, hvad de enkelte maskinindstillinger har bidraget til indkøringsresultatet med, hvorfor en sådan indkøring ikke kan gentages. Næste gang værktøjet skal producere, må indkøringen startes helt fra bunden, uden at indkøringen er en gentagelse af den tidligere indkøring.

Efter en foretagen maskinindstilling vil der ved kortere eller længere maskinstop med en stigende masstemperatur til følge skulle påregnes nogen tid, før processen atter falder til ro.

Det kan eventuelt betale sig at sprøjte maskinen ud, ligesom det måske betaler sig at gentage det sidste af fyldeskudsseriens skud for at tjekke, at det er som før maskinstoppet, inden indkøringen fortsættes.

Kvalitetsstyring af en indkørt produktion

For grundlæggende at kunne håndtere kvalitetsstyring af en produktion er det væsentligt at kunne dokumentere alle indkøringens faser til mindste detalje og specielt nedenstående 11 punkter.

De fire første og væsentligste faktorer for opnåelse af optimal styring er:

1. God planlægning
2. God orden
3. God systematik og disciplin
4. Udførlig og grundig dokumentation

Efterfølgende parametre har betydning for opnåelse af god stabilitet, for korrekte tolerancer, der er en vigtig del af kvalitetsstyringen:

5. Formværktøjstemperatur
6. Massetemperatur
7. Eftertryk, der opgives som et specifikt tryk i MPa eller bar
8. Eftertrykstid
9. Modtryk, der opgives som et specifikt tryk i MPa eller bar
10. Sprøjt hastighed
11. Sprøjtetryk, der opgives som et specifikt tryk i MPa eller bar

I det daglige tales der meget om kvalitetsstyring, uden at der er bevidsthed eller klarhed om, hvorvidt der er tale om kvalitetsstyring eller kvalitetskontrol.

Kvalitetskontrol har fået det lidt kedelige kendetegn, at det er lig med at sortere sig til kvalitet og omproduktion, hvorimod kvalitetsstyring har en væsentligt bedre og moderigtig klang, idet man her styrer processen for at opnå kvalitet.

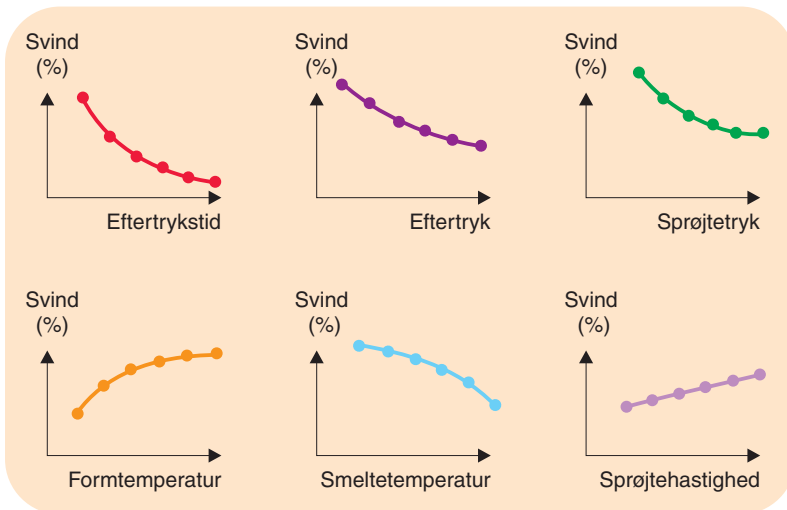
Når målet er at opnå ”en optimal teknisk, økonomisk produktion”, kan hverken kvalitetskontrollen eller kvalitetsstyringen i virkeligheden stå alene, men må og skal supplere hinanden.

Svindforhold

Plastmaterialerne svinder under og efter forarbejdning ved sprøjtstøbning. Dette svind kan opdeles og karakteriseres på følgende måde:

1. Formsvind, også kaldet størkningssvind
2. Eftersvind
3. Totalsvind, der er lig med formsvind plus eftersvind
4. Desuden tales der om lagringssvind, hvilket er det yderligere svind der sker efter totalsvind og fx seks måneder frem

De seks procesparametre, der har indvirkning på emnesvindet



Til venstre vises grafisk de seks parametre, der øver større eller mindre indflydelse på et emnes svind. Samme parametre øver også indflydelse på emneegenskaberne i både positiv og negativ retning.

Det vil være forkert at tage køletiden med i denne sammenhæng, da denne parameter ikke giver et rigtigt billede af en svindregulerende faktor, idet den udelukkende gælder på de såkaldte ”formbundne mål” og ikke på de ”ikke-formbundne mål”. Endvidere er køletid som svindparameter flygtig.

Alene det forhold, at der bliver et uens, ikke tilsigtet svindforhold mellem de formbundne og de ikke-formbundne mål, gør køletiden til en dårlig svindregulerende faktor, hvilket den dog ofte anvendes som.

Da forøget køletid medfører indefrosne spændinger i emnet, som let lader sig udløse, vil denne parameter ikke kunne anbefales.

Definition af formbundne mål

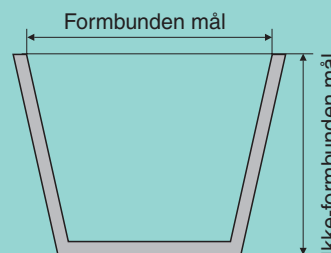
De formbundne mål holdes på plads eller styres af fx en kerne eller lignende, hvorfor emnet ikke kan svinde frit, men holdes på plads i køletiden. Derfor vil længere køletid kunne bevirke mindre formsvind på netop disse mål.

Det formbundne mål kan ikke svinde frit omkring kernen i køletiden.

Det ikke-formbundne mål kan frit svinde i formen i køletiden.

Definition af ikke-formbundne mål

De ikke-formbundne mål holdes ikke på plads af kerner eller lignende, hvorfor man siger, at emnet kan svinde frit i værktøjet i køletiden. Længere køletid vil derfor ikke have nogen indvirkning på emnets formsvind på disse mål.





Del 3: Fastlæggelse af procesparametre

Formålet med fyldeskudsserien

Fyldeskudsserien skal først og fremmest sikre relativt trykløs fyldning af værktøjet på en sådan måde, at værktøjet ikke overpakkes med eventuel beskadigelse af værktøjet til følge. Dvs. omkobling til eftertryk bør/skalske ved visuel 98 %'s formfyldning helt uden eftertryk og eftertrykstid. Herved fastlægges fyldeskudsvægten og værktøjets fyldningsgrad.

Smeltetemperatur

Sprøjtetøbeprocessen kræver en godt plastificeret og homogen smelte, hvorfor den korrekte masstemperatur, som kan opfylde disse krav, må vælges/indstilles, idet kravet om laveste, anbefalede smeltetemperatur samtidigt tilgodeses.

Varmebåndene tilfører kun materialet ca. 50 % af den energi, der kræves for at opnå smeltetemperaturen, idet de resterende 50 % af energien tilføres som friktionsvarme fra snekken, dvs. snekkeomdrejninger og modtryk.

Der må derfor ved ekstremt lav temperaturindstilling af varmembåndene påregnes, at friktionen kan blive så stor, at friktionsvarmen kan beskadige materialets molekylestruktur med forbrændinger til umiddelbar følge.

Ved at vælge laveste smeltetemperatur skal der fjernes mindst varme fra det sprøjtetøbte emne, og dermed kan der opnås den korteste køletid.

Ved indstilling af smeltetemperaturen til en konkret opgave vil det være tilrådeligt at følge råvareleverandørens anbefalinger, idet masstemperaturen kan have en stor betydning for det færdigstøbte emnes egenskaber.

Værktøjstemperatur

For at kunne fastsætte laveste, anbefalede værktøjstemperatur må der skelnes til emnets egenskaber, ligesom der må skelnes mellem amorft og delkrystallinsk materiale.

Ligesom ved indstilling af smeltetemperaturen er det den konkrete opgave, der er bestemmende for værktøjstemperaturens korrekte indstilling. Også her kan temperaturen have stor betydning for det færdigstøbte emnes egenskaber. Til en konkret opgave vil det være tilrådeligt at følge råvareleverandørens anbefalinger.

Sprøjtetryk

Sprøjtetrykket indstilles til maskinens maksimale, da formen kun skal fyldes maksimalt visuelt 98 %. Det betyder, at formen fyldes relativt trykløst, hvorfor det maksimale sprøjtetryk ikke bliver aktiveret.

På mange moderne maskiner kan det til formfyldningen anvendte fyldningstryk aflæses på skærmen, hvorfor det i forbindelse med eventuel overpakning kan være praktisk at indstille et sprøjtetryk, der fx kun er 10-15 % over det nødvendige fyldningstryk.

Bemærk i denne forbindelse, at mange maskiner kan levere et eftertryk, der overstiger det indstillede sprøjtetryk.

Sprøjtetrykket må ikke komme under den værdi, der kræves for at opnå den ønskede indsprøjtningshastighed.

Snekkeomdrejninger

Som udgangspunkt indstilles snekkeomdrejningstallet til den af materialeleverandøren anbefalede højeste periferihastighed for råvaren og ændres ikke under indkøringsforløbet.

Der bør specielt udvises forsigtighed ved materialer som PC, POM, PVC, PBT, PMMA, ABS/PC og ABS, som alle har en højeste periferihastighed på mellem 0,2 og 0,4 m/sek.

Pludseligt fald eller stigning af snækkeomdrejningstallet vil påvirke fyldeforløbet på grund af den mængde energi, snækkeomdrejningerne leverer til plastificering af materialet.

Hvis periferihastigheden er for høj, risikerer man termisk nedbrydning af materialet med forringede mekaniske egenskaber i det færdige emne og/eller overfladefejl i form af små forbrændinger (sorte prikker).

For at undgå for lang opholdstid med fuld varmepåvirkning i den forreste del af cylinderen kan der på de fleste maskiner indsættes en doseringsforsinkelse, så plastificeringen er færdig, ca. 0,5 sekund inden maskinen åbner værktøjet for at afforme.

Modtryk

Modtrykket bør vælges moderat, idet det let kommer til at virke cyklusbegrænsende.

Man følger råvareleverandørens anbefalinger ved valg af modtryk, idet det kan have stor betydning for de færdigstøbte emneegenskaber, herunder også på vægt- og målstabiliteten.

Valg af modtryk foretages med det sigte at få en plastsmelte, der er godt æltet, det vil sige godt plastificeret, godt homogeniseret, samt med en god temperaturhomogenitet - det sidste er specielt gældende for delkrystallinske materialer.

Endvidere vil modtrykket være medvirkende til, at den luft, der befinder sig imellem granulat-kornene, vil blive presset bagud i sprøjte-cylinderen og ud i det fri gennem materialetragten under opsnekkningsprocessen.

Varmefølsomme plastmaterialer fx POM opgives af råvareleverandøren til forarbejdning næsten eller helt uden modtryk.

Omkoblingspunkt

Omkoblingspunktet, der er lig med puden, vælges eventuelt ud fra et erfaringsgrundlag eller så højt, at der er tilstrækkeligt materiale foran snekkespidsen, når omkobling til eftertryk sker, at der er til både efterfyldning af emnet som kompensation for størkningsvind og til restpuden.

Det kan på forhånd være vanskeligt at forudsige, hvor meget "eftertryksvolumen" der er nødvendigt, hvorfor det kan være nødvendigt at forsøge sig frem.

Det er nemmere at forudbestemme restpuden: det materialepolster, der befinder sig foran snekkespidsen, når eftertrykstiden udløber, og emnet er forsejlet. Restpuden skal på mindre maskiner mindst udgøre 2 mm og maksimalt 6 mm. Restpuden opgives ofte af maskinleverandører i volumenprocent.

En større restpude end den her skitserede kan være medvirkende til termisk nedbrydning af råvaren, idet restmaterialet kan blive udsat for for lang opholdstid i sprøjte-cylinderen.

En mindre restpude end 2 mm bør ikke forekomme, idet det kan betyde manglende sikkerhed mod, at snekken sprøjter i bund, hvilket har eller kan få den konsekvens, at en del af eftertrykket bliver virkningsløst. I så fald siges processen at være ude af kurs, hvorved emnerne støbes med stor ustabilitet. Emnerne vil få en stor vægt- og målspredning.

For ikke at få overdoseret værktøjet er det vigtigt at få koblet om til eftertryk, senest når formen er 98 % visuelt fyldt.

Overpakning med maksimalt sprøjtetryk kan resultere i, at emnet sidder så fast i værktøjet, at det vanskeligt lader sig fjerne, eller - hvad der er værre - at det ender med et værktøjshavari.

Eftertryk

Nogle maskiner, fx regulerede maskiner, accepterer ikke et eftertryksvalg på nul bar, hvorfor der vælges laveste mulige eftertryk, fx 1 bar.

Eftertrykstid

På maskiner, der altid står med et restsystemtryk på 10-15 %, hvilket ik-ke er unormalt, må eftertrykstiden indstilles til nul sekunder, for at man kan finde emnets omkoblingsvægt ved den visuelle 98 %'s formfyldning, som skal være helt uden eftertryk.

Der er maskiner, der ikke kan acceptere en eftertrykstid på nul sekunder, hvorfor der vælges en eftertrykstid på fx 0,1-0,2 sekunder.

Indsprøjtningshastighed

Såfremt det af en eller anden grund er u hensigtsmæssigt at fylde formen ved maksimal sprøjtehastighed, må en passende, lavere hastighed vælges.

Der bør i denne forbindelse ikke vælges et højere sprøjtetryk, end hvad der kræves for optimal fyldning af emnet, da det kan virke som en sikkerhed for værktøjet, fx i forbindelse med et fler-styksværktøj, hvor et emne bliver siddende.

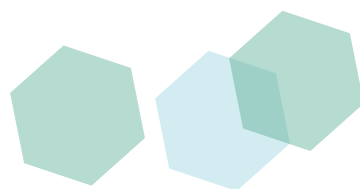
Dog skal sprøjtetrykket være afpasset efter den indsprøjtningshastighed, der ønskes, for at opnå hastigheden.

Det kan måske yderligere være hensigtsmæssigt at vælge et lavere sprøjtetryk, dog afpasset til indsprøjtningshastigheden.

Start på fyldeskudsserien

- Når værktøjet er monteret i maskinen, og der er fyldt evt. fortørret materiale på, indstilles cylindertemperaturen således, at man har den laveste anbefalede masstemperatur
- Værktøjstemperaturen indstilles ligeledes efter den laveste anbefalede værktøjstemperatur
- Formsikringen indstilles
- Åbne- og lukkeveje indstilles, så der er minimale bevægelsesveje
- Åbne- og lukkehastigheder indstilles moderat

Når dette er gjort, kan man ved vejafhængig omkobling fastlægge 98 % fyldning af værktøjet efter den på næste side viste indstillingsrækkefølge.



1. **Indstil sprøjte trykket til maksimum**
Hvis man ikke har 100 % tryk til rådighed, vil man heller ikke kunne opnå 100 % indsprøjtningshastighed.
2. **Indstil indsprøjtningshastigheden moderat**
Formålet med fyldeskudsserien er foruden fyldningsgraden også at få fastlagt indsprøjtningshastigheden. Afhængigt af sprøjtestøbemaskinens sprøjteenhed vil man i dag på moderne maskiner kunne opnå indsprøjtningshastigheder på op mod 500-1.000 mm/sek. Desuden er der i dag mange materialeleverandører, der har anbefalede indsprøjtningshastigheder til deres råvarer, da egenskaber ved råvarerne kan gå tabt ved for høje indsprøjtningshastigheder.
3. **Indstil eftertrykket til 0 bar/MPa og eftertrykstiden til 0 sek.**
Det er vigtigt, at fyldeskudsserien fastlægges uden eftertryk, da vi ellers vil få et skævt billede af fyldningsgraden.
4. **Indstil rigeligt med køletid**
Vi skal være sikre på, at emnet er formstabilt, inden vi åbner og afformer. Køletiden skal senere deles i eftertrykstid og restkøletid!
5. **Indstil doseringsforsinkelse til 4-7 sek.**
Hvis vi ikke har doseringsforsinkelse, risikerer vi, at snekkens omdrejninger og modtryk er nok til at ekstrudere materiale ind i værktøjet, hvis indløbssystemet/porten ikke er forseglet.
6. **Udregn og indstil doseringshastigheden ud fra råvareleverandørens anbefalinger**
Plastificeringen skal være færdig, ca. 0,5 sek. før værktøjet åbnes.
7. **Indstil modtrykket**
Amorfe materialer til 50-200 bar specifikt tryk.
Delkrystallinske materialer til 5-50 bar specifikt tryk. Modtrykket er en vigtig parameter for at skabe en homogen smelte, og mange materialeleverandører opgiver et anbefalet modtryk for deres materialer.
8. **Indstil omkoblingspunktet til 10-15 mm**
Hvis der er materiale nok til at efterfylde emnet, er det ikke så vigtigt, om vi kobler om ved 10 eller 15 mm, da det rettes ind senere i forløbet. Derimod er det vigtigt, at når det rettes ind, så der er en restpude på 2-3 mm, skal det gøres, så omkoblingspunktet og doseringsvejen flyttes parallelt, da det er volumen af smelten fra omkoblingspunkt til doserings slut, der fylder værktøjet 98 %.
9. **Sæt pausetiden til 1-2 sek.**
Denne minimeres, lige så snart maskinen kan afforme i fuldautomatik.
10. **Indstil doseringsvejen lavt, så værktøjet ikke overfyldes**
Lav eventuelt en doseringsberegning ved 50 % formfyldning, så vi er sikre på ikke at overfylde værktøjet. Det kan også anbefales at indstille en sprøjetidsovervågning, der er 0,5 sek. længere end den faktiske indsprøjtningstid, så hvis der er et emne der "hænger" i et flerkavitetsværktøj, er risikoen for værktøjshavari minimeret.
11. **Sprøjt ud 3-5 gange i håndbetjening**
Mens vi har foretaget indstillingerne, har det materiale, der er i cylinderen, nok fået så meget varme, at det er tæt på at være termisk nedbrudt. Derfor sprøjter vi ud, indtil materialet ser fint ud igen.
12. **Sæt maskinen i halvautomatik og start fyldeforløbet**
Husk at være meget opmærksom på processen, da emnerne skal fratages til dokumentation. Hav en sprit-tusch til emnemarkering klar.
13. **Doseringsvejen øges, til emnet er 50-75 % fyldt**
Mål masse-/værktøjstemperaturen, når maskinen har kørt nogle skud.
14. **Når maskinen kan afforme, skiftes til fuldautomatik, og pausetiden minimeres**
Pausetid er spildtid og bør sammen med afformningsvejen minimeres. Afformningshastighed maksimeres under hensyntagen til emne og værktøj.
15. **Indsprøjtningshastigheden hæves, lige indtil der opstår problemer**
Når der forekommer problemer, er det vigtigt at notere dem i dokumentationen. Problemerne i fyldeskudsserien kunne være forbrændinger, finner osv.
16. **Lad maskinen stabilisere sig i ca. 5 min**
Det er vigtigt, at processen får lov at stabilisere sig, da der altid er lidt reaktionstid på følgerne af en parameterændring. Imens kan åbne- og lukkehastigheder maksimeres, sprøjteaggregatets vandring, hvis nødvendigt, minimeres og hastigheder maksimeres.
17. **Doseringsvejen øges til emnet er ca. 95 % fyldt**
Processen skal have tid til at reagere på parameterændringen.
18. **Lad igen maskinen stabilisere sig, og justér om nødvendigt op, til emnet er 98 % fyldt**
De sidste ændringer noteres i skemaet, og værdierne overføres til eftertryksserien. Se eksemplet på udfyldelse af skemaet!

Efter 98 %'s formfyldning

Efter at formen er fyldt 98 %, er det vigtigt i forbindelse med eventuel genindkøring af værktøjet at have fuldstændigt tjek på følgende parametre:

1. Massetemperatur
2. Omkoblingspunkt og restpude
3. Omkoblingsvægt = fyldeskudsvægt
4. Formtemperatur
5. Sprøjtetrykkets "er-værdi" - dvs. manometertrykket
6. Fyldestgørende materialeangivelse (fx Hostalen PPN 1060 Y natur)

Én-kavitetsværktøj

Ved en generel betragtning vil den 98 %'s visuelle formfyldning klart udvise langt bedre vægt- og målspredning end den tekniske 98 % formfyldning.

To- eller fler-kavitetsværktøjer

Ved fler-kavitetsværktøjer, hvor kaviteterne ikke fyldes samtidigt, opnås der ved en generel betragtning den mindste vægtspredning ved en visuel 98 %'s formfyldning af det først fyldte emne, idet der ses bort fra de øvrige emner, som måske blot er fyldt 80-90 %.

Disse emner opnår som regel en rimelig og acceptabel vægt- og målspredning.

Fejl som uens fyldning af værktøjet bør altid udbedres inden endelig produktion og procesoptimering.

Såfremt der fokuseres på, at det skal være det sidst fyldte emne, der er visuelt 98 % fyldt, vil det først fyldte emne kunne karakteriseres som værende overfyldt.

Ved en generel betragtning vil alle emner ved dette synspunkt kunne risikere at opnå utilstrækkelig vægt- og målspredning.

Genindkøring

For at kunne genindkøre et værktøj til samme vægt- og målstabilitet må mindste krav være, at de tidligere nævnte seks punkter i afsnittet "Efter 98 % formfyldning" er opfyldt.

Visuel og teknisk 98 %'s formfyldning

Der skelnes mellem to former for 98 %'s formfyldning:

1. Ved teknisk 98 %'s formfyldning ser emnet ud til at være absolut fyldt. Der vil måske være nogle sugninger og indfaldssteder. Denne metode giver relativt stor ustabilitet og er ofte forbundet med relativt stor vægt- og målspredning.
2. Ved visuel 98 %'s formfyldning vil emnet tydeligt mangle en lille smule i at være helt fyldt, det kan være emnekanter, der ikke er fyldt helt ud. I denne sammenhæng er det ikke tilstrækkeligt, at emnerne kun har nogle sugninger.

Registrering

Et emne, der repræsenterer hvert trin i fyldeskudsserien, vejes på en vægt med to decimalers nøjagtighed for registrering af vægten, som herefter indføres på et proceskort.

Der kan om ønsket yderligere tegnes en graf for overskuelighedens skyld, hvor X-aksen er lig med de emner, der repræsenterer fyldeskudsseriens doseringsvej eller snekkevej i mm, og hvor Y-aksen er lig med skudvægten/emnevægten i gram med to decimalers nøjagtighed.

Dokumentation

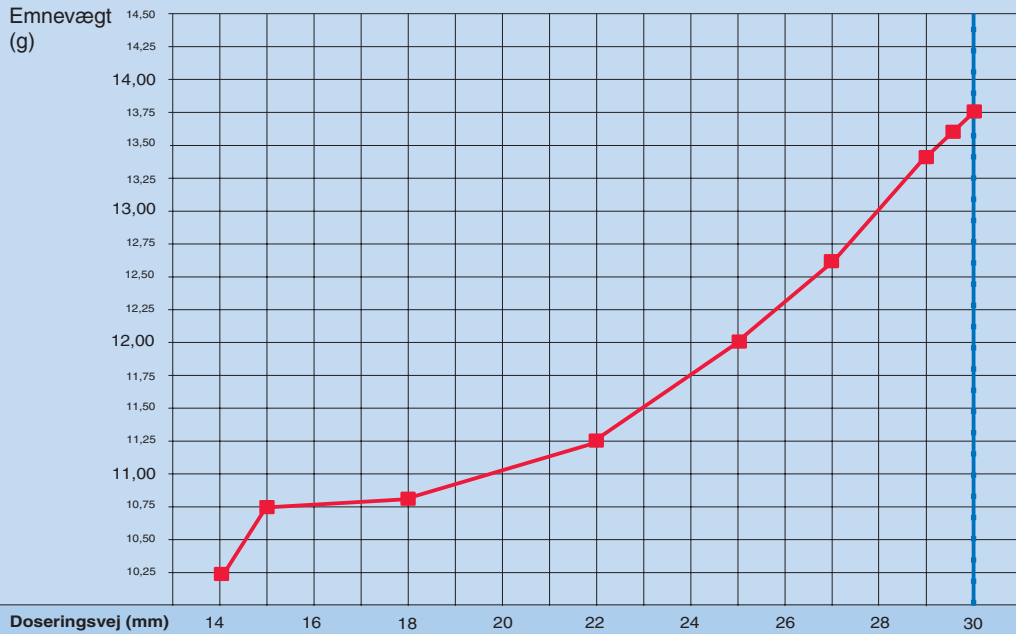
Hvert emne, der repræsenterer et trin i fyldeskudsserien, tages fra løbende, nummereres og pakkes i en plastpose for sammen med proceskort og graf at udgøre dokumentationen for fyldeskudsserien.

Fyldeskudsserie

Emne: Håndtag Type: Borealis HH315MO Dato: 30.03.2004
 Materiale: PP Operatør: C.R.N.

Fyldningsgrad/bemærkning	Emne nr.	Masstemperatur	Formtemperatur	Specifikt modtryk i bar	Doseringsvej i mm	Specifikt sprøjetryk i bar	Sprøjte hastighed i %	Omkoblingspunkt i mm	Specifikt eftertryk i bar	Eftertrykstid i sek.	Restpude i mm	Emnevægt i gram	Restkøletid i sek.	Cyklustid i sek.	Lukkekræft i kN
60 % fyldt indspr.hast. øges	1	210	23	120	14	1.640	50	10	0	0	7,3	8,45	20	34	350
	2			120	14	1.640	75	10	0	0	7,1	8,96	20	33,5	350
Finner!	3			120	14	1.640	85	10	0	0	7,0	10,21	20	33	350
Lukkekræft øges! OK	3			120	14	1.640	85	10	0	0	7,0	10,21	20	33	450
75 % fyldt	4			120	15	1.640	100	10	0	0	6,2	10,75	20	33	450
	5			120	18	1.640	100	10	0	0	6,3	10,85	20	33	450
	6			120	22	1.640	100	10	0	0	6,5	11,22	20	33	450
90 % fyldt	7			120	25	1.640	100	10	0	0	6,7	12,05	20	33	450
	8			120	27	1.640	100	10	0	0	6,8	12,61	20	33	450
95 % fyldt	9			120	29	1.640	100	10	0	0	6,8	13,46	20	33	450
Form/masstemperatur måles	10	215	35	120	29,5	1.640	100	10	0	0	6,8	13,66	20	33	450
98 % fyldt OK	11	215	35	120	30	1.640	100	10	0	0	6,7	13,72	20	33	450
Overføres til eftertryksserien	11	215	35	120	30	1.640	100	10	0	0	6,7	13,72	20	33	450

Fyldeskudsserie



Indstilling af parametre

1. Eftertrykstiden indstilles rigeligt højt.
2. Eftertrykket øges i trin af 100 bar (specifikt tryk).
For at finde manometertrykket må det specifikke tryk omregnes med omsætningsfaktoren.
3. Parametre, der allerede ved fyldeskudsserien er indstillet og korrigeret, ændres ikke ud over doseringsforsinkelsestiden, der nedsættes til fx 0,5 sek.

Registrering

Et emne, der repræsenterer hvert trin i eftertryksserien, vejes på en vægt med to decimalers nøjagtighed for registrering af vægten, som herefter indføres på proceskortet.

Der kan om ønsket yderligere tegnes en graf for overskuelighedens skyld, hvor X-aksen er lig med de emner, der repræsenterer hvert trin i eftertryksseriens indstillede eftertryk i bar, og Y-aksen er lig med emnevægten i gram med to decimalers nøjagtighed.

Dokumentation

Hvert emne, der repræsenterer et trin i eftertryksserien, tages fra løbende, nummereres og pakkes i en plastpose for sammen med proceskort og graf at udgøre dokumentation for eftertryksserien.

Formålet med eftertryksserien

Da eftertryksserien kan have en tendens til at kolliderer med forseglingsserien, må det slås fast, hvad formålet med eftertryksserien er, samt hvor den adskiller sig fra forseglingsserien.

Formålet med eftertryksserien er udelukkende at fastlægge/vælge eftertrykkets størrelse.

Formålet med forseglingsserien er at finde den eftertrykstid, hvor emnet er forsejlet.

Start på eftertryksserien

1. Doseringsforsinkelsen fjernes.
Indløbet vil forsegle i eftertryksserien, medmindre vi har for lidt tid på.
2. Restkøletiden fordeles nu over på eftertrykstid og nedsættes til svarende.
I dette eksempel fordeles de 20 sek. i forholdet 15 sek. i eftertrykstid og 5 sek. i restkøletid.
3. Eftertrykket øges nu, start lavt fx 100, 200, 300, 400 bar spec. osv. Bliv ved med at øge eftertrykket, til der opstår problemer (afformningsproblemer, finner osv.).
Notér vægten for hver serie i skemaet, og markér emnerne til dokumentation.
4. Når emnevægten er konstant, og emnerne er optisk i orden, er eftertrykket fastlagt.

Restpude

Såfremt restpuden under eftertryksserien bliver for lille, må den korrigeres eller tilrettes ved at fjerne eftertryk og eftertrykstid.

Dette betyder en kort tilbagevenden til fyldeskudsserien, hvor omkoblingsvejen og doseringsvejen hæves til et passende niveau. Se efterfølgende punkter 1-7, som følges i nummerorden. Registreringen bør ske på fyldeskudsseriens proceskort.

1. Hæv omkoblingsvejen for at opnå den fornødne restpude.
2. Kør nogle skud, hvor restpuden tjekkes. Indstil nu doseringsforsinkelsestiden til fx 6 sekunder - husk at fjerne den igen ved tilbagevenden til eftertryksserien.
3. Hæv om nødvendigt doseringsvejen tilsvarende med den vejlængde, omkoblingsvejen blev hævet.
4. Kør et passende antal skud, og tjek efterfølgende, om restpuden er blevet tilstrækkeligt stor efter den krævede efterfyldning.
5. Registrer fyldeskudsvægten, og indfør de nye data på fyldeskudsseriens proceskort.
6. Stil doseringsforsinkelsestiden tilbage til 0,5 sekund.
7. Vend nu tilbage til samme sted i eftertryksserien, og fortsæt eftertryksserien.

Valg af eftertryk

Der er mange kriterier for valg af eftertryk:

1. Råvareleverandørens oplysninger og anbefalinger om valg af eftertryk.
2. Valg af laveste, acceptable eftertryk, hvorved emnet får færrest mulige spændinger (specielt gældende for amorfe materialer).
3. Ved at vælge laveste, acceptable eftertryk antages det, at emner støbt med dette eftertryk kan accepteres af bruger/kunde.
4. Såfremt der er tale om højt belastede, tekniske emner støbt i delkrystallinsk materiale, bør råvareleverandøren tages med på råd ved valg af eftertryk, idet eftersvindet, der medfører spændinger, bør være mindst muligt.

Tendensen ved valg af eftertryk ved delkrystallinske materialer er et stort eftertryk i forhold til ved amorfe materialer.

Svind

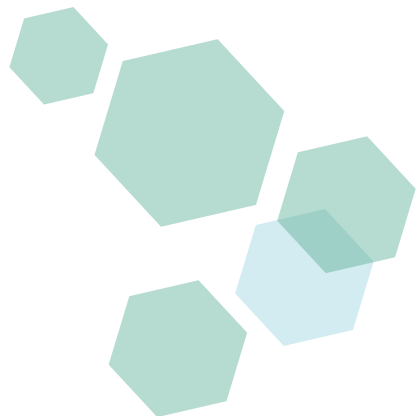
Amorfe materials svindprocent er normalt under 1. Delkrystallinske materialer har en svindprocent, der ligger noget over, typisk mellem 1 og 5.

Parametre, der løbende skal kontrolleres

1. Omkoblingspunktets stabilitet og restpude
2. Eventuelt sprøjtetrykkets "er-værdi" lig med fyldningstrykkets værdi
3. Eftertrykkets "er-værdi"
4. Værktøjstemperatur
5. Masse- eller smeltetemperatur
6. Eftertryksseriens emnevægt, dvs. skudvægten ved det indstillede eftertryk

Genindkøring

For at kunne genindkøre et værktøj til samme emnevægt må grundlaget være, at ovennævnte indkøringsparametre og registreringer er overensstemmende med den nye indkøring.

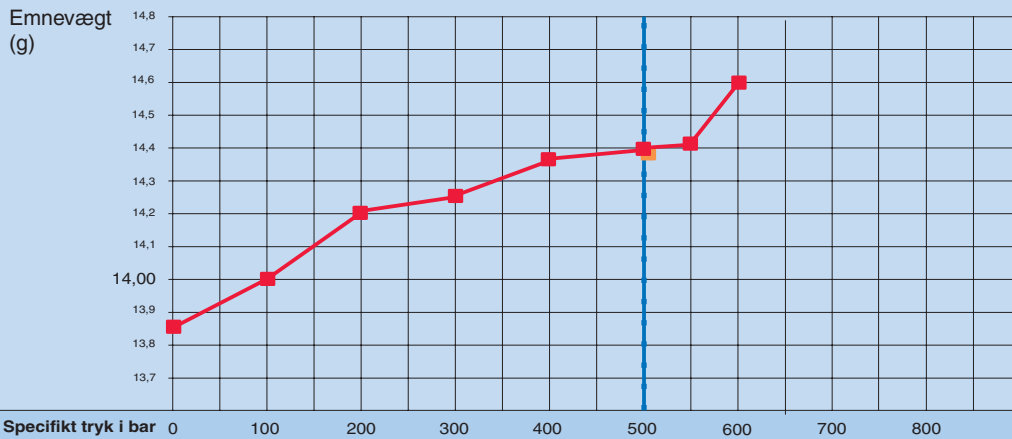


Eftertryksserie

Emne: Håndtag **Type:** Borealis HH315MO **Dato:** 30.03.2004
Materiale: PP **Operatør:** C.R.N.

Fyldningsgrad/bemærkning	Emnenr.	Massetemperatur	Formtemperatur	Specifikt modtryk i bar	Doseringsvej i mm	Specifikt sprøjtetryk i bar	Sprøjtéhastighed i %	Omkoblingspunkt i mm	Specifikt eftertryk i bar	Eftertrykstid i sek.	Restpude i mm	Emnevægt i gram	Restkøletid i sek.	Cyklustid i sek.	Lukkekræft i kN
Overført fra fyldeskudsserien	11	215	35	120	30	1.640	100	10	0	0	6,7	13,72	20	33	450
Sugning	12			120	30	1.640	100	10	0	15	6,2	13,86	5	33	450
Sugning	13								100		5,9	14,01			
Sugning	14								200		5,7	14,19			
Sugning	15								300		5,5	14,24			
Lille sugning	16								400		5,2	14,37			
OK	17								500		5,0	14,41			
Finner/afformningsproblemer	18								600		4,9	14,61			
Små finner	19								550		4,9	14,42			
Valgt tryk, målt form/massetemp.	20	215	40	120	30	1.640	100	10	500	15	5,1	14,41	5	33	
Overføres til forseglingsserien	20	215	40	120	30	1.640	100	10	500	15	5,1	14,41	5	33	450

Eftertryksserie



Registrering

Et emne, der repræsenterer hvert trin i forseglingsserien, vejes på en vægt med to decimalers nøjagtighed for registrering af vægten, hvorefter resultatet indføres på proceskortet.

Der tegnes et forseglingsdiagram - en graf, hvor X-aksen er lig med eftertrykstiden, og Y-aksen er lig med skudvægten med to decimalers nøjagtighed.

Der, hvor kurven flader ud og ikke stiger mere, er emnet/indløbet forseglet, hvorefter det ikke er muligt af efterfylde emnet mere. Lad kurven flade yderligere ud over de næste tre til fem skud, så der er sikkerhed for, at forsegling er til stede.

Vælg derefter forseglingstiden ved at gå tilbage på kurven, hvor forseglingen har fundet sted.

Dokumentation

Hvert emne, der repræsenterer et trin i forseglingsserien, tages fra løbende, nummereres og pakkes i plastpose for sammen med proceskortet og forseglingsdiagrammet at udgøre dokumentation for forseglingsserien.

Formålet med forseglingsserien

Formålet med forseglingsserien er udelukkende at finde den eftertrykstid, som er aktiv, dvs. den tid, hvor emnet endnu kan efterfyldes som kompensation for størkningssvind, inden emnet størkner eller "forsegler".

Eftertrykstid ud over denne tid er overflødig og altså rent spildtid.

Start på forseglingsserien

Når eftertrykket er fastlagt, skal eftertrykstiden fastlægges efter samme princip, som eftertrykket blev fastlagt efter.

For lang eftertrykstid er spildtid, da indløbsporten er forseglet, og dermed har eftertrykket ingen effekt på emnets vægt eller størrelse.

Igen bruges vægtoptimering til at fastlægge tiden med:

1. Der tages et halvt til et helt sekund af eftertrykstiden og lægges til restkøletiden.

Idet der er rigeligt med eftertrykstid på, tages der nu et halvt til et helt sekund af eftertrykstiden, som lægges til restkøletiden, indtil der sker et vægtfald på 5-10/100 af et gram. Herefter går et trin tilbage.

Forseglingsvægt

Ved et emnes forsegling skelnes der mellem, hvad der forsegler først; emnet, indløbspunktet eller indløbstappen.

Såfremt der er tale om en kraftig indløbstap eller en kraftig fordelerkanal i forhold til emnegodstykkelsen, bør disse ikke danne forsegling, da det kun vil betyde forøget cyklostid.

Det kan naturligvis være vanskeligt i sådanne tilfælde at vurdere, hvornår emnet kontra fordelerstrengen og/eller indløbstappen er forseglet. Det gælder derfor om ved vurdering at forsøge at finde emnets forseglingstid, således at der ikke bliver tale om tilbageløb fra emne til indløbssystem.

Parametre, der løbende skal kontrolleres

1. Eftertrykkets "er-værdi" - dvs. manometertryk
2. Formtemperatur
3. Masse- eller smeltetemperatur

Genindkøring

For at kunne genindkøre et værktøj til samme emnevægt må kravet være, at ovenstående indkøringsparametre og registrering stemmer overens med den nye indkøring.

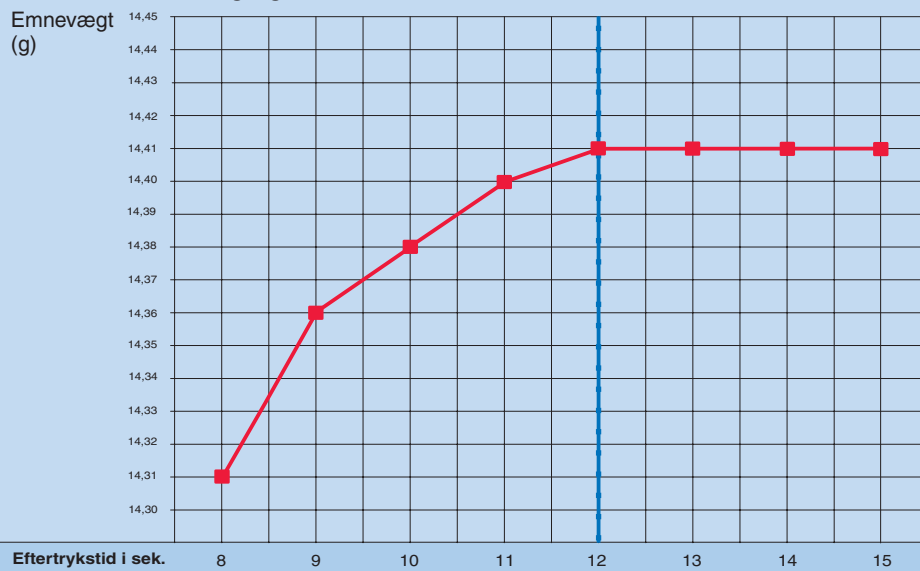


Forseglingsserie

Emne: Håndtag Type: Borealis HH315MO Dato: 30.03.2004
 Materiale: PP Operatør: C.R.N.

Fyldningsgrad/bemærkning	Emnebr.	Masstemperatur	Formtemperatur	Specifikt modtryk i bar	Doseringsvej i mm	Specifikt sprøjtetryk i bar	Sprøjt hastighed i %	Omkoblingspunkt i mm	Specifikt eftertryk i bar	Eftertrykstid i sek.	Restpude i mm	Emnevægt i gram	Restkøletid i sek.	Cyklustid i sek.	Lukkekræft i kN
Overført fra eftertryksserien	20	215	40	120	30	1.640	100	10	500	15	5,1	14,41	5	33	450
Eftertrykstid	21									14	5,0	14,41	6		
	22									13	5,0	14,41	7		
Valgt tid	23									12	5,0	14,41	8	33	450
	24									11	5,1	14,40	9		
	25									10	5,2	14,38	10		
	26									9	5,2	14,36	11		
	27									8	5,4	14,31	12		
Overføres til restkøletidsserien	23	215	40	120	30	1.640	100	10	500	12	5,0	14,41	8	33	450

Forseglingsserie



Belysning af formfyldning

Efterfølgende skema kan anvendes til indføring af beregning af den teoretiske formfyldning og fyldningsgrad.

Omkøbs- vej til eftertryk (pude)	Restpude	Emnevægt ved 98 %'s formfyld- ning	Form- temperatur	Masse- eller smelte- temperatur	Emnevægt ved forsegling
10	4,2	13,72	25	210	14,40

100 %'s teoretisk formfyldning kan beregnes til sammenligning med forseglingsvægten:

$$100 \% \text{'s formfyldning} = \frac{\text{Emnevægt ved } 98 \% \times 100}{98} \quad (\text{gram})$$

$$100 \% \text{'s formfyldning} = \frac{13,72 \times 100}{98} = 14,00 \text{ gram}$$

Forklaring til formlen

Ved at tage vægten fra fyldeskudsserien og dividere den med 98 fås 1 %, og ved at gange resultatet med 100 fås vægten for den teoretiske 100 %'s formfyldning (= forsegling).

Det fremgår af skemaet, at den virkelige forseglingsvægt er 14,40 gram, hvorimod den beregnede forseglingsvægt kun er 14,00 gram. Det fortæller, at 98 %'s formfyldning faktisk er under 98 %.

Hvis den beregnede 100 %'s formfyldning er lig med den virkelige forseglingsvægt, ville 98 %'s formfyldning ikke svare til visuel 98 %'s formfyldning, men snarere til teknisk 98 %'s formfyldning, hvorfor værktøjet rent faktisk ville være overpakket i fyldeskudsserien. Deraf kan det udledes, at den praktiske 98 % visuelle formfyldning er korrekt, men blot mindre end 98 %.

Altså, den beregnede 100 %'s formfyldning bør være mindre end den virkelige forseglingsvægt, for at værktøjet ikke skal være overpakket.

Beregning af fyldningsgrad

1. Forseglingsvægt = 100 % (sættes lig med 100 %)
2. Fyldeskudsvægt = den visuelle 98 %'s fyldeskudsvægt (fra skemaet)
3. Den reelle 98 %'s fyldning = Y % (den ubekendte)

$$\text{Fyldeskudsvægt} = \frac{\text{Forseglingsvægt} \times Y \%}{100}$$

Ved at gange på begge sider af lighedstegnet med samme faktor ændres der ikke på ligningens værdi. Ved at isolere den ubekendte på venstre side af lighedstegnet kommer ligningen til at se således ud:

$$Y = \frac{\text{Fyldeskudsvægt} \times 100}{\text{Forseglingsvægt}} \quad (\%)$$

$$Y = \frac{13,72 \times 100}{14,40} = 95,2 \%$$

Forklaring til formlen

Ved at dividere forseglingsvægten op i fyldeskudsvægten og gange resultatet med 100 fås den teoretiske = den faktiske 98 %'s formfyldning.

Den teoretiske 98 %'s formfyldning ligger normalt noget under den skønnede visuelle 98 %'s formfyldning, hvilket bestemt også er hensigtsmæssigt, altså det mest korrekte.

Såfremt vægtspredningen er større end ønsket, kan sådanne beregninger måske være en hjælp til et bedre resultat.

Vurdering af 98 %'s formfyldning

Ved at anvende den synsmæssige 98 %'s formfyldning og ikke den teoretiske 98 %'s formfyldning undgår man overfyldning af værktøjet.

Det viser sig ved generelle, praktiske eksempler, at den visuelt vurderede 98 %'s formfyldning ligger noget under den faktiske 98 %'s formfyldning, men da eftertrykket anvendes som compensation for størkningssvind, er det i denne situation ikke helt korrekt, idet eftertrykket yderligere skal bidrage til at fylde formen med den manglende fyldning op til den faktiske 98 %'s fyldning. I ovenstående eksempel er det fra 95,2 % til 98 %.

Det kan derfor slås fast, at ved den 98 %'s visuelle fyldning er det korrekt, når der ud over sugninger mangler noget af emnet i at være fyldt.

Princippet 98 %'s visuel fyldning indebærer sikkerhed mod overfyldning og som regel giver det den bedste vægt- og målstabilitet.



Indstilling af parametre

Er indstillet:

1. Eftertrykstiden er optimeret og indstillet til forsegling.
2. Restkøletiden er blevet reduceret i takt med, at eftertrykstiden blev øget i forbindelse med emnets forsegling.

Skal indstilles:

3. Restkøletiden reduceres i trin af 1 sekund, indtil emnets varmeformbestandighedstemperatur er nået, eller til emnet udviser tendens til deformation ved afformning, hvorefter der gås tilbage til en perfekt afformning.

Formålet med restkøletidsserien

Denne series formål er at optimere indkøringen ikke mindst med hensyn til køletid, men også en eventuelt manglende bevægelsesoptimering må foretages nu.

Køletid = eftertrykstilid + restkøletid.

Start på restkøletidsserien

Restkøletiden nedsættes i trin af 1 sekund, indtil emnets overfladetemperatur når materialets varmeformbestandighedstemperatur (materialets varmeformbestandighedstemperatur tages fra databladene), eller til emnet begynder at deformeres ved afformning, hvorefter der gås et eller to trin tilbage, således at emnets afformning kan ske uden problemer.

Vær opmærksom på, at inden emnet når materialets varmeformbestandighedstemperatur, kan emnet blive deformeret under afformning, da der kan være en eller anden form for modhold, manglende polering, eller der kan dannes vakuum, så afformning vanskeliggøres, hvilket betyder, at minimeringen af køletiden må stoppe her. Det kan måske være hensigtsmæssigt at få værktøjet justeret, således at den korrekte og minimale køletid kan opnås.

Hvis køletiden kommer under maskinens opsnekningstid, vil doseringsovervågningen på nogle maskiner blive påvirket til signal, og maskinen vil herefter eventuelt melde 'doseringsovervågningstid overskredet', eller maskinen vil blot gå i stå.

Hvis køletiden er væsentligt længere end doseringstiden, bør der indstilles en doseringsforsinkelsestid, således at doseringen først er tilendebragt, umiddelbart før køletiden udløber.

Det kan have betydning for det smeltede materiale, da det ikke bør opholde sig længere i sprøjtecyklinderen end højst nødvendigt, idet for lang opholdstid kan være anledning til overophedning af smelten.

Såfremt emnevægten falder under restkøletidsserien i forhold til i forseglingsserien, vil det ikke være ualmindeligt, idet materialetemperaturen kan falde, og formtemperaturen kan stige med den eventuelt noget kortere cyklustid, hvilket vil give en lavere skudvægt.

Registrering

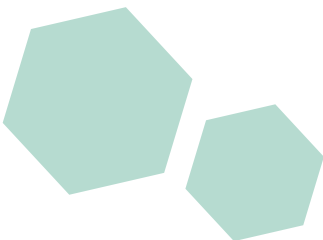
Et emne fra hvert trin i restkøletidsserien vejes på en vægt med to decimalers nøjagtighed for registrering af vægten, hvorefter resultatet indføres på proceskortet.

Der kan tegnes en graf, hvor X-aksen er lig med køletiden, emnetemperaturen og cyklustiden, og Y-aksen er lig en fælles numerisk akse for værdierne på X-aksen.

Denne graf udføres nok kun, såfremt det kan foregå automatisk i en database. Aflæsningen bør være indlysende og beskrivende.

Dokumentation

Hvert emne, der repræsenterer et trin i restkøletidsserien, tages fra løbende, nummereres og pakkes i plastpose for sammen med proceskortet at udgøre dokumentationen for restkøletidsserien.



Varmeformbestandighed

Plastmaterialernes varmeformbestandighedstemperatur kan findes i materialedatablade eller i skemaet "Generelle oplysninger om termoplastiske materialer", der er medtaget i denne bog under sprøjttestøbningens materialeafsnit.

Bestemmelsesmetoder

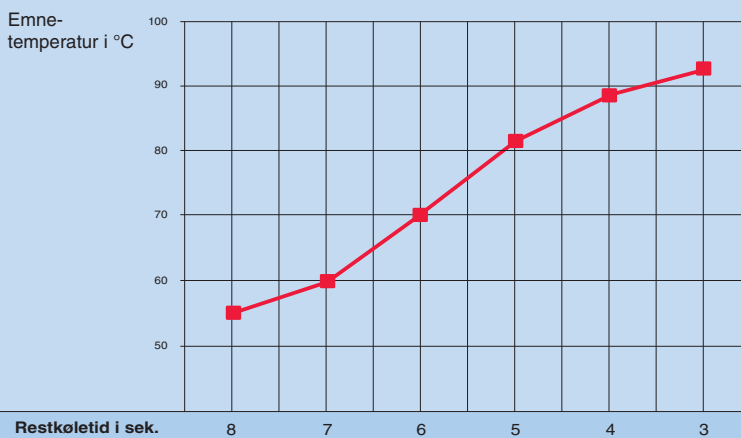
Der er to forskellige bestemmelsesmetoder afhængigt af materialetype:

- Amorfe plast prøves efter ISO 75, metode "A".
- DelkrySTALLinsk plast prøves efter ISO 75, metode "B".

Restkøletidsserie

Emne:	Håndtag	Type:	Borealis HH315MO	Dato:	30.03.2004										
Materiale:	PP	Operatør:	C.R.N.												
Fyldningsgrad/bemærkning	Emnenr.	Massetemperatur	Formtemperatur	Specifikt modtryk i bar	Doseringsvej i mm	Specifikt sprøjtetryk i bar	Sprøjt hastighed i %	Omkoblingspunkt i mm	Specifikt eftertryk i bar	Eftertrykstid i sek.	Restpude i mm	Emnevægt i gram	Restkøletid i sek.	Cyklustid i sek.	Lukkekræft i kN
Overført fra forseglingsserien	23	215	40	120	30	1.640	100	10	500	12	5,0	14,41	8	33	450
T _a for PP er ca. 100 °C															
Emnetemperatur 60 °C	24												7	32	
Emnetemperatur 70 °C	25												6	31	
Emnetemperatur 82 °C	26												5	30	
Emnetemperatur 89 °C	27												4	29	
Emnetemperatur 93 °C	28												3	28	
Dosering kan ikke afsluttes	29												2	—	
Egentlige parametre	28	215	40	120	30	1.640	100	10	500	12	5,0	14,41	3	28	450

Restkøletidsserie



Formålet med emnevægtsstabilitetsserien (vægtspredningen)

Ud fra en given produktion, der er faldet til ro og er i ligevægt, udtages med passende intervaller en serie emner som stikprøvekontrol.

For eksempel én stikprøve pr. time over fx 24 timer. En kortere tidshorisont kan naturligvis også vælges for hurtigere kontrol. Disse prøver kaldes den løbende kontrol.

Prøverne ved den løbende kontrol kan indgå i den daglige kontrolrutine (statistisk kvalitetskontrol).

For at accelerere prøven ved indkøring af et nyt værktøj i forbindelse med fx "nul-serien" kan prøveudtagningen gøres væsentligt kortere ved at udtage et minimumantal på hvert tiende af 100 skud, lig med 10 kontrolprøver.

Dette korte kontroludtag kan have betydning for hurtig indgriben eller hurtig indkøring.

Registrering

Et emne fra hver af de udtagne stikprøver vejes på en vægt med to decimalers nøjagtighed for registrering af vægt og nummereres, hvorefter vægten og klokkeslættet indføres på et proceskort. Emnerne pakkes i plastposer for sammen med graf og proceskort at fungere som dokumentation.

Der tegnes en graf, hvor X-aksen er lig med et emne i fortsat nummerering, og Y-aksen er lig med emnevægten i gram med to decimalers nøjagtighed.

Denne graf viser på en god og overskuelig måde, hvilke emner der har unormal afvigelse, hvorefter der er mulighed for hurtig indgriben for at fjerne afvigelsen. Vægtspredning større end 0,7 % kan karakteriseres som stor, og bør give anledning til overvejelse om fintrimning af procesforløbet.

Ved at anvende emnevægten som stikprøvekontrol kan der opnås hurtig emne- og proceskontrol. Egentlig målkontrol ville kræve, at der skulle ventes til 24 timer, efter at emnet er støbt. Det betyder, at produktionen kan køre 24 timer, inden der kan reageres på en opstået unøjagtighed siden sidste kontrol.

Den hurtige vægtkontrolmetode betyder derimod, at man omgående kan gribe ind, hvis der forekommer afvigelser i forhold til det planlagte.



Emnevægtspredning

Proceskort: Emnevægtspredning

Maskinnr.: 11

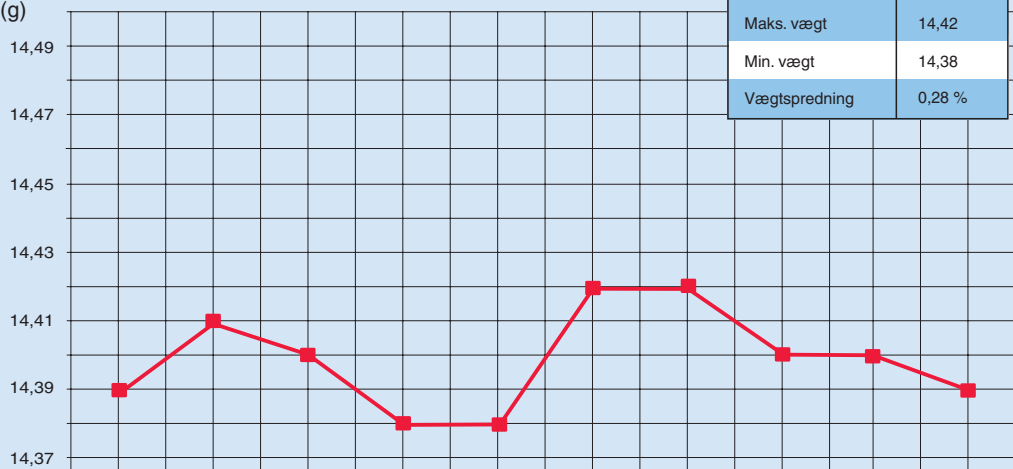
Operatørnavn:

Dato.: 15.07.00

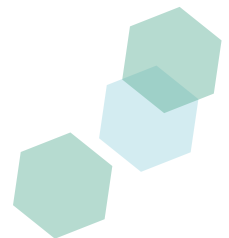
Emnenr.	Snekkevej	Modtryk	Omkobling til eftertryk	Sprøjte hastighed	Sprøjte tryk	Eftertryk	Eftertrykstid	Restpudef	Køletid	Emnevægt	Cyklustid	Udtaget kl.	Værktøjskøling	Massetemp.
1	30	10	10	15	140	60	11	4,2	2	14,39	33	9,15	Fuld	210
2								4,1		14,41		9,30		
3								4,1		14,40		9,45		
4								4,2		14,38		10,00		
5								4,2		14,38		10,15		
6								4,1		14,42		10,30		
7								4,1		14,42		10,45		
8								4,1		14,40		11,00		
9								4,1		14,40		11,15		
10								4,2		14,39		11,30		

Vægt (g)

Emnevægtspredningsdiagram



Emnenr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Emnevægt (g)	14,39	14,41	14,40	14,38	14,38	14,42	14,42	14,40	14,40	14,39



Beregning af emnevægtspredning

Emnevægtspredningen beregnes som forskellen mellem maksimum- og minimumvægten, der ganges med 100 og divideres med maksimumvægten:

$$\text{Vægtspredning i \%} = \frac{(\text{maksimumvægt} - \text{minimumvægt}) \times 100}{\text{Maksimumvægt}}$$

$$\text{Vægtspredning i \%} = \frac{(14,42 - 14,38) \times 100}{14,42} = 0,28 \%$$

At ovenstående beregning kan det ses, at vægtspredningen er relativt lille. Produktionen kan siges at være under kontrol og altså stabil.

Ved denne indkøringsmetode er der ligeledes mulighed for at opnå en relativt lille målspredning inden for selv snævre tolerancer, idet:

Der er en vis

Sammenhæng mellem emnevægt og emnemål.

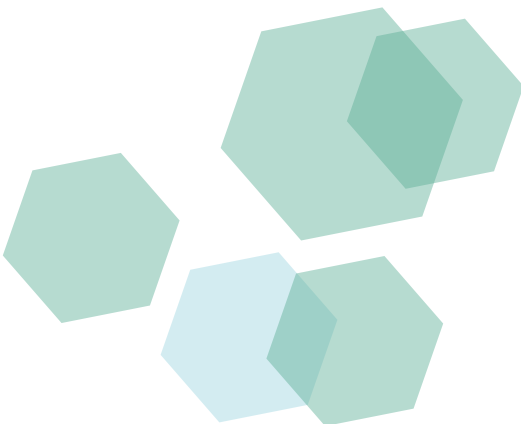
Men det skal understreges, at der ikke er en entydig sammenhæng mellem emnets mål og emnets vægt, men det kan slås fast, at:

Overvågning af skudvægten giver sikker viden om produktionens stabilitet.

Og

En stabil produktion er en forudsætning for høj kvalitet.

Ovenstående sætninger fortæller, at såfremt vægtspredningen er lille, vil processen være stabil, hvorfor sammenligning mellem emnevægt og emnemål vil give god viden om vægt- og målspredningen.

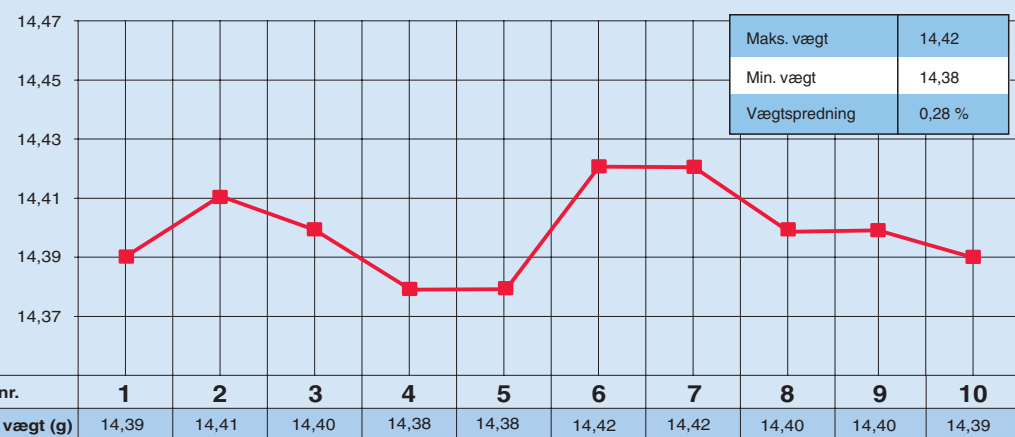


Sammenligning mellem emnemål og emnevægt

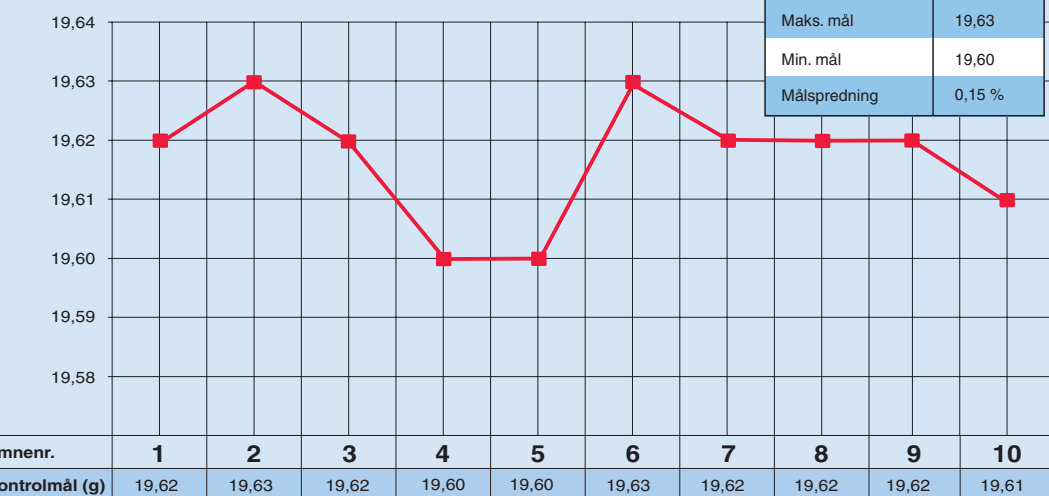
Kontrolkort: Kontrolserie Maskinnr.: 11
 Operatørnavn: Dato: 12.03.00

Emnenr.	Modtryk	Omkobling til eftertryk	Sprøjtehasighed	Eftertryk	Eftertrykstid	Restpude	Køletid	Udtaget kl.	Emnevægt	Kontrolmål
1	15	12	15	55	9	3,9	5		14,39	19,62
2									14,41	19,63
3									14,40	19,62
4									14,38	19,60
5									14,38	19,60
6									14,42	19,63
7									14,42	19,62
8									14,40	19,62
9									14,40	19,62
10									14,39	19,61

Vægt (g) Vægtspredning



Mål i mm Målspredning



Formålet med emnemålstabilitetsserien (målspredningen)

Ud fra en given produktion, der er faldet til ro og er i ligevægt, udtages med passende intervaller en serie emner som stikprøvekontrol.

Registrering

Et emne fra hver af de udtagne stikprøver opmåles med to decimalers nøjagtighed på ét eller flere fastlagte og vigtige kontrolmål. Der bør være mindst ét forbundet mål og ét ikke-forbundet mål (angående forbundne og ikke-forbundne mål, se afsnittet "De seks svindparametre").

Emnerne nummereres, hvorefter måletidspunktet og målet/målene indføres på et kontrolkort/proceskort.

Der tegnes en graf, hvor X-aksen er lig et emne i fortsat nummerering, og Y-aksen er lig med emnemålet/målene.

Denne graf viser på en god og overskuelig måde, hvilke emner der har en unormal afvigelse.

Såfremt opmålingen bliver foretaget umiddelbart efter produktion, fx 1 time efter, kan det fortælle noget om processens målstabilitet, og om nødvendigt kan der gribes ind i processen hurtigt, frem for at vente til efter de tidligere omtalte 24 timer.

For at få en fuldt pålidelig opmåling bør den normale opmåling først foretages 24 timer efter produktionen. Først da er man sikker på, at eftersvindet er tilendebragt.

Denne sidste opmåling er vigtig at sammenholde med de først foretagne opmålinger for at hente erfaringer om eftersvindets størrelse og tendenser.

Det er naturligvis ligeledes vigtigt at kunne drage sammenligninger mellem vægt- og målspredning (herom senere).

Til denne stikprøvekontrol anvendes i praksis de samme emner, der blev udtaget og anvendt ved emnevægtsstabilitetsserien. Dvs. der anvendes samme emner, eller der fratages det dobbelte antal emner ved vægtspredningsserien.

Beregning af emnemålspredning

Emnemålspredningen beregnes som forskellen mellem maksimum- og minimummålet, der ganges med 100 og divideres med maksimummålet:

$$\text{Målspredning i \%} = \frac{(\text{maksimummål} - \text{minimummål}) \times 100}{\text{Maksimummål}}$$

$$\text{Målspredning i \%} = \frac{(83,54 - 83,49) \times 100}{83,54} = 0,06 \%$$

Af denne beregning kan det konstateres, at målspredningen i dette eksempel er meget lille, hvorfor produktionen må siges at være stabil.

Det vil derfor være muligt at opnå en smal målspredning inden for selv snævre tolerancer med et tilpasset tolerancespænd.

Som det fremgår af kurverne, er der tale om et emne med relativt stort eftersvind, ligesom forskellen i målspredningen er relativt stor mellem de to kurver for måltagningen henholdsvis 1 og 24 timer efter støbningen.

Dette forhold kan variere mere, specielt når der er tale om delkrystalinske plasttyper. Det her viste eksempel er for et amorft plastmateriale.

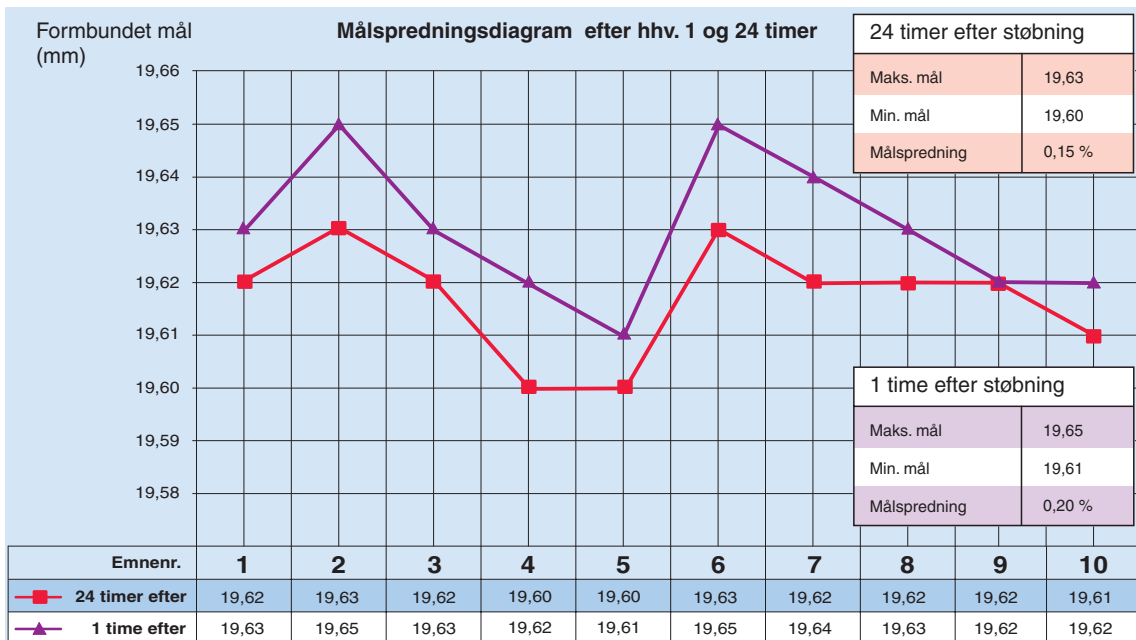
Men kurverne fortæller, at det er vigtigt med en vis disciplin med hensyn til, hvornår opmålinger foretages. Opmålinger 1 time efter støbningen skal alle foretages på samme tid præcis 1 time efter støbningen, idet der vil kunne komme store variationer i opmålingsresultatet, såfremt tiden skrider, idet det store størkningssvind ligger fra umiddelbart omkring støbetidspunktet og til 1 time efter støbningen.

Sammenholdt med den tidligere viste graf over vægtspredningen ses det, at vægtspredningen og målspredningen udviser de samme tendenser i kurverne. Altså er der i dette eksempel en vis sammenhængende variation i vægt- og målspredning.

Målspredning

Proceskort: Målspredningsserie Maskinnr.: 11
 Operatørnavn: Dato: 15.07.00

Emnenr.	Snekkevej	Modtryk	Omkobling til eftertryk	Sprøjtehastighed	Sprøjtetryk	Eftertryk	Eftertrykstid	Restpude	Køletid	Emnevægt	Emnemål (24 timer efter)	Emnemål (1 time efter)	Værktøjskøling	Massetemp.
1	30	10	10	15	140	60	11	4,2	2	14,39	19,62	19,63	Fuld	210
2								4,1		14,41	19,63	19,65		
3								4,1		14,4	19,62	19,63		
4								4,2		14,38	19,60	19,62		
5								4,2		14,38	19,60	19,61		
6								4,1		14,42	19,63	19,65		
7								4,1		14,42	19,62	19,64		
8								4,1		14,40	19,62	19,63		
9								4,1		14,40	19,62	19,62		
10								4,2		14,39	19,61	19,62		



Definition af pude, eftertryksvolumen og restpude

Pude

= snekkens position, hvor omkobling til eftertryk sker.

Eftertryksvolumen

= det materialevolumen, der bruges til efterfyldning af formen som kompensation for størkningssvind.

Restpude

= det materialevolumen, der stadig befinder sig foran snekken, når eftertrykstiden udløber.

Omkobling til eftertryk

Det er vigtigt at få koblet om til eftertryk rettidigt, og det er vigtigt, at der befinder sig en vis mængde materiale foran snekken, når eftertrykstiden udløber.

For at kunne vurdere disse forhold er det nødvendigt at kunne skelne mellem udtrykkene pude, eftertryksvolumen og restpude.

Del 4: Kvalitetsværktøjer

Selv om en sprøjtetøbeproduktion, der er indkørt, ser ud til at være stabil, skal den til stadighed overvåges fx med stikprøvekontrol, idet der kan forekomme mange former for forstyrrelser af processen, så stabiliteten reduceres.

Inden for statistisk kvalitetskontrol betragter man ofte grafisk en række måleresultaters variation fra en produktion, der er stabil, ud fra en fordelingsfunktion, der kaldes "normalfordelingen" eller "Gauss-kurven" efter den person, der grundlagde fejlteorien.

Ud fra normalfordelingen kan der foretages mange statistiske beregninger for fastlæggelse af bl.a. tolerancer eller kontrolgrænser.

Normalfordelingskurven fortæller, at de fleste normalfordelte måleresultater indlagt i en grafisk model vil ligge symmetrisk omkring kurvens midterakse.

Såfremt fordelingen er skæv, betyder det, at processen er ude af kontrol og må justeres. Der skelnes mellem systematiske og tilfældige variationer. Ved systematiske variationer vil måleresultaterne ligge til samme side i forhold til kurvens midterakse, hvorimod der ved tilfældige variationer ikke ses noget klart billede af fordelingen i forhold til kurvens midterakse.

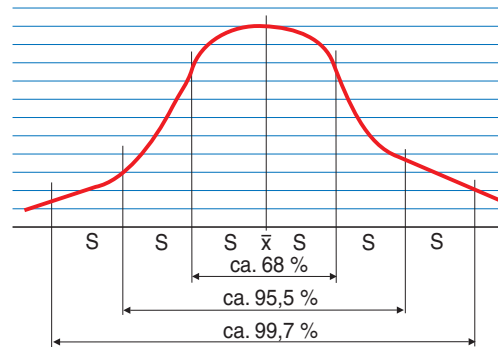
Systematiske variationer kan opstå, ved at der fx kommer et nyt materiale på maskinen med et andet smelteindeks end det tidligere anvendte materiale. Altså en pludselig variationsårsag, som er kendetegnet for de systematiske variationer.

Tilfældige variationer kan karakteriseres som snigende fejlårsager fx maskinslid.

Normalfordelingskurven opererer med følgende værdier:

- Standardafvigelsen, der benævnes S
- Middelværdien, der benævnes \bar{x} (udtales x-streg)

Normalfordelingskurven
(Gauss-kurven)



Normalfordelingen angiver, at:

- 68 % af et emnes mål ligger inden for $\pm 1 \times S$
- 95,5 % af et emnes mål ligger inden for $\pm 2 \times S$
- 99,7 % af et emnes mål ligger inden for $\pm 3 \times S$

Standardafvigelse eller korttidsstabilitet

Standardafvigelsen kan beregnes på en lommeregner med statistiske funktioner, hvor emnevægtens variationer/emnevægtsspredning indtastes og middelværdien \bar{x} udregnes.

Eksempel på beregning af korttidsstabilitet

Der indtastes som vist:

1. Indtast:	33,99 Σ +	regnemaskinen viser	n = 1
2. Indtast:	33,97 Σ +	regnemaskinen viser	n = 2
3. Indtast:	34,05 Σ +	regnemaskinen viser	n = 3
4. Indtast:	34,04 Σ +	regnemaskinen viser	n = 4
5. Indtast:	34,01 Σ +	regnemaskinen viser	n = 5
6. Indtast:	34,02 Σ +	regnemaskinen viser	n = 6
7. Indtast:	34,02 Σ +	regnemaskinen viser	n = 7
8. Indtast:	34,04 Σ +	regnemaskinen viser	n = 8
9. Indtast:	34,02 Σ +	regnemaskinen viser	n = 9
10. Indtast:	34,04 Σ +	regnemaskinen viser	n = 10
11. Indtast:	2^{nd}		
12. Indtast:	\bar{x}	regnemaskinen viser	34,02 (middelværdien \bar{x})
13. Indtast:	2^{nd}		
14. Indtast:	$\sigma \times n - 1$	regnemaskinen viser	0,02494438 (standardafvigelsen S)
15. Indtast:	$x \times 3 =$	regnemaskinen viser	0,07483315 (3 \times standardafvigelsen)

3 \times standardafvigelsen vil sige, at 99,7 % af emnerne vejer 34,02 \pm 0,075 g

Målspredning

Denne beregning af standardafvigelser foretages på samme måde, uanset om der er tale om emnevægt- eller emnemålspredning, eller variationer som det ofte benævnes.

Dette afsnit kommer ikke nærmere ind på statistisk kvalitetskontrol, men for virksomheder, der bestræber sig på at opnå god produktionskvalitet, medfører det håndtering af store datamængder, som i dag let håndteres og behandles på edb.

Det kommende afsnit viser nogle af de muligheder, der er ved at anvende standardafvigelsen ved fremstilling af emner med et forud planlagt eller fastlagt kvalitetsniveau.

Som dokumentation for en række emners korttidsstabilitet kan modelskemaet "Kontrolskema til vægt- og målspredning" anvendes.

Bemærk, hvor stor variation der er på korttidsstabiliteten for henholdsvis vægt og mål.

Kontrolskema til vægt- og målspredning

Korttidsstabilitet

Emnebetegnelse:	Tegning nr.:			Værktøjsnr.:		
Prøve udtaget kl.	Emnenr.	Prøve A, vægt	Prøve B, vægt	Prøve A, mål	Prøve B, mål	Notater vedr. prøverne
	1	33,99		83,49		Prøverne er udtaget hver
	2	33,97		83,49		½ time direkte fra maskinen.
	3	34,05		83,53		
	4	34,04		83,54		Opmåling er foretaget
	5	34,01		83,52		næste dag.
	6	34,02		83,52		
	7	34,02		83,53		
	8	34,04		83,54		
	9	34,02		83,53		
	10	34,04		83,53		
Middelværdi vægt og mål \bar{x}		34,02		83,52		
Standardafvigelse S		0,025		0,018		
3 \times standardafvig.		0,075		0,054		
Tolerance \pm		0,075		0,054		
Korttidsstabilitet		0,22 %		0,07 %		

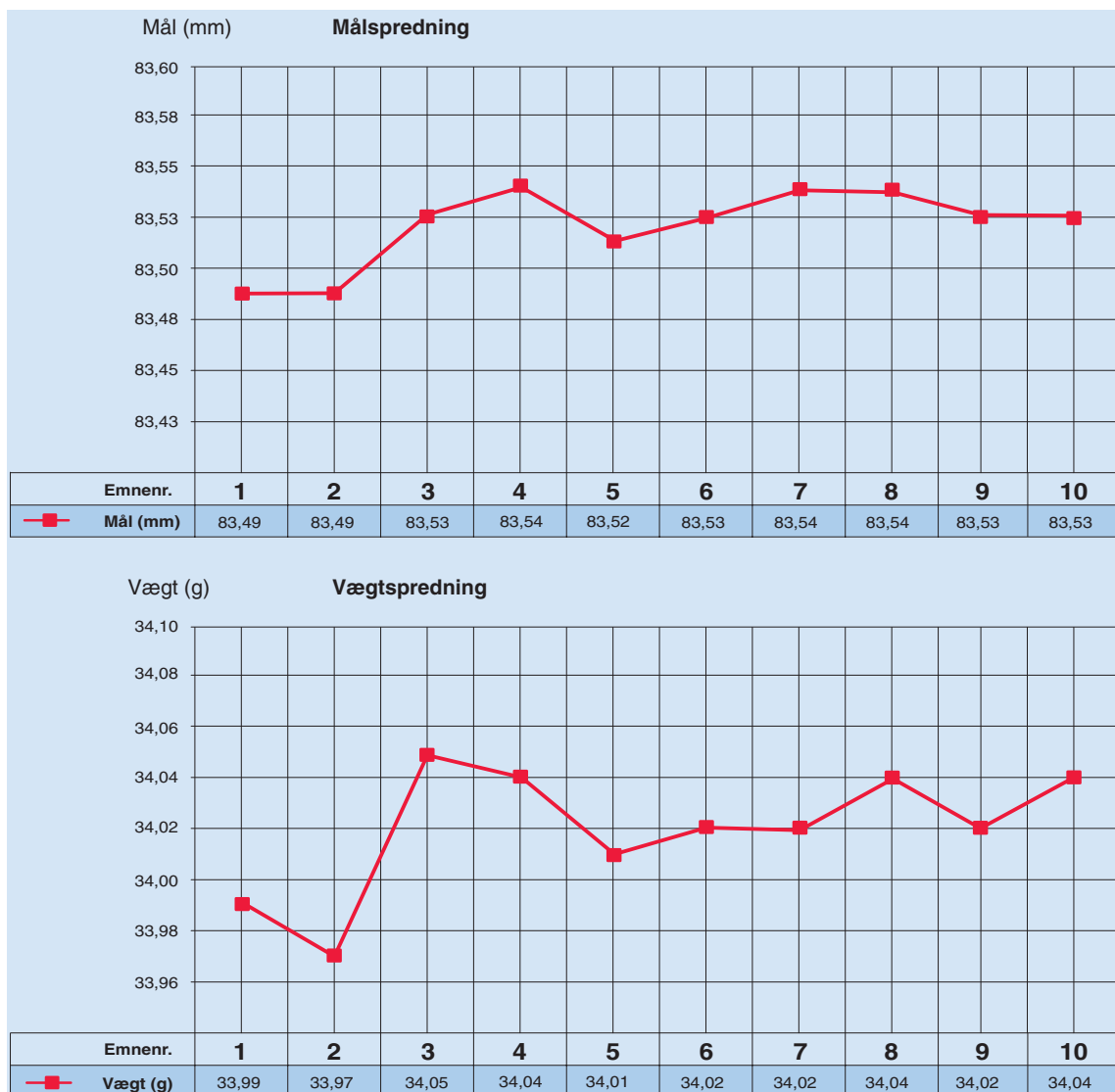
Af kontrolskemaet fremgår det, at:

- 99,7 % af de producerede emner vejer 34,02 gram \pm 0,075
- 99,7 % af de producerede emner måler 83,52 mm \pm 0,054

Såfremt en kvalitetsprøjtetøbning skal placeres med en variation inden for 0,2 %, kan det knibe med vægtspredningen, som udgør 0,22 %, hvorimod målspredningen er så fin som 0,07 %.

Sammenligning mellem emnemål og emnevægt

Prøvenr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vægt (g)	33,99	33,97	34,05	34,04	34,01	34,02	34,02	34,04	34,02	34,04
Mål (mm)	83,49	83,49	83,53	83,54	83,52	83,53	83,54	83,54	83,53	83,53



Tolerancebestemmelse

Ud fra principperne i systematisk indkøring kan der opstilles forskellige modeller til bestemmelse af et sprøjtestøbeværktøjs tolerancespænd.

Da det kan blive ret omfattende, er det vigtigt inden igangsætning at lave en plan for, hvorledes indkøringen gribes an, derigennem hvilke parametre der skal indgå i tolerancefastsættelsen.

Den planlægning, der er anvendt til nedenstående tolerancebestemmelse, er udvalgt ved en produktion af et emne betegnet som "skive" produceret i POM.

De parametre, der har størst indflydelse på et emnes svind, kan indgå i planlægningen, men hvis alle parametre anvendes, vil det blive en temmelig voldsom planlægning, hvorfor nedenstående tre parametre udvælges.

Planlægning:

1. Eftertryk
2. Massetemperatur
3. Værktøjstemperatur

De øvrige parametre vil ikke umiddelbart kunne anvendes, uden det blev i en modificeret form.

Hvis fx eftertrykstiden skulle indgå, ville det forudsætte, at det blev fastlagt, hvorledes eftertrykstiden kunne eller skulle afkortes.

Ud fra de tre punkter, der indgår i planlægning og indkøring, vil det være formålstjenligt med en opdeling i to hovedgrupper og med tre indkøringer = undergrupper i hver hovedgruppe, hvor de tre undergrupper har hver deres eget eftertrykstrin.

Fælles for hovedgruppe 1 og 2 er de tre eftertrykstrin:

1. Et stort eftertryk = 525 bar
2. Et middelstort eftertryk = 323 bar
3. Og et lille eftertryk = 120 bar

Bemærk middelstort eftertryk er bestemt som summen af det store og det lille eftertryk divideret med 2.

Specielt for gruppe 1:

1. Værktøjstemperatur = 75 °C
2. Massetemperatur = 190 °C

Specielt for gruppe 2:

1. Værktøjstemperatur = 45 °C
2. Massetemperatur = 215 °C

Resultatet af indkøringerne kan ses på de følgende sider. Der kan dog laves mange andre kombinationer, fx kan værktøjstemperaturen ombyttes i de to grupper, hvorefter massetemperaturen ligeledes også kan ombyttes osv.

Bestemmelse af optimale procesparametre til tolerancebestemmelse

Mål b, tegn 112.098	42,7 ±0,2		
Maks. mål	42,9	Tegn. nr.	19.027
Min. mål	42,5	Emnebenævnelser:	Skive
Parametre serie A		Parametre serie B	
Værktøjstemperatur	75 °C	Værktøjstemperatur	45 °C
Massetemperatur	190 °C	Massetemperatur	215 °C

Eftertryksvalg ved målstabilitetsserie

A

	Min. P	Middel P	Maks. P
Prøve nr.	120 bar	323 bar	525 bar
1	42,68	42,70	42,75
2	42,65	42,69	42,73
3	42,72	42,71	42,76
4	42,73	42,71	42,74
5	42,69	42,70	42,78
6	42,75	42,72	42,72
7	42,60	42,72	42,73
8	42,55	42,70	42,74
9	42,65	42,69	42,75
10	42,69	42,73	42,70
Middelværdi (\bar{x})	42,671	42,707	42,74
Standardafvigelse (S)	0,0610	0,0134	0,022
3 × S	0,183	0,040	0,066
Tolerance ±	0,183	0,040	0,066
Korttidsstabilitet i %	0,429	0,094	0,155
99,7 % af emnerne			
måler	42,671 ±0,183	42,707 ±0,040	42,74 ±0,066
Maks. mål	42,854	42,747	42,806
Min. mål	42,488	42,667	42,674
Tolerancemål maks.	42,9	42,9	42,9
Tolerancemål min.	42,5	42,5	42,5
Eftertryk	120 bar	323 bar	525 bar
Min. mål uden for tolerance	Falsk	Nej	Nej
Maks. mål uden for tolerance	Nej	Nej	Nej

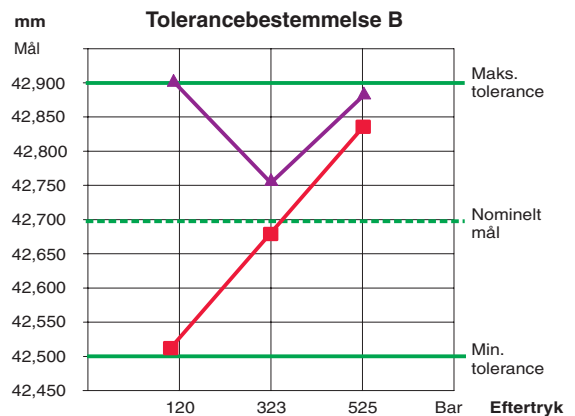
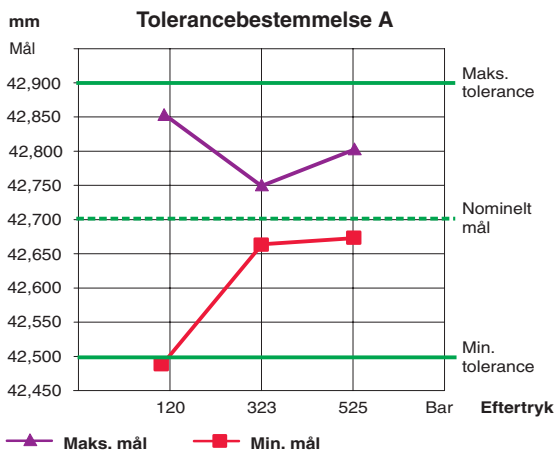
Eftertryksvalg ved målstabilitetsserie

B

	Min. P	Middel P	Maks. P
Prøve nr.	120 bar	323 bar	525 bar
1	42,71	42,71	42,85
2	42,68	42,70	42,86
3	42,75	42,72	42,88
4	42,76	42,72	42,87
5	42,72	42,71	42,86
6	42,78	42,73	42,87
7	42,63	42,73	42,86
8	42,58	42,71	42,85
9	42,68	42,70	42,86
10	42,78	42,74	42,86
Middelværdi (\bar{x})	42,707	42,717	42,862
Standardafvigelse (S)	0,0658	0,0134	0,009
3 × S	0,198	0,040	0,028
Tolerance ±	0,198	0,040	0,028
Korttidsstabilitet i %	0,4625	0,094	0,0643
99,7 % af emnerne			
måler	42,71 ±0,198	42,72 ±0,040	42,86 ±0,028
Maks. mål	42,905	42,757	42,890
Min. mål	42,509	42,677	42,834
Tolerancemål maks.	42,9	42,9	42,9
Tolerancemål min.	42,5	42,5	42,5
Eftertryk	120 bar	323 bar	525 bar
Min. mål uden for tolerance	Nej	Nej	Nej
Maks. mål uden for tolerance	Falsk	Nej	Nej

Middelværdierne \bar{x} for tolerancegrupperne A og B fra skemaet til tolerancebestemmelse er indsat samlet som et punkt i tolerancebestemmelseskurverne A og B.

Til belysning af tolerancebestemmelseskurverne A og B kan følgende vigtige oplysninger uddrages og kommenteres med hensyn til indkøringsresultatet.



1. Gruppe A, Min. P = 120 bar

Værdierne for "Min. P" = 120 bar udviser en ret stor variation omkring nominelt mål, der er 42,7 med tolerancen $\pm 0,2$, med minimummålet uden for tolerance:

- Minimummålet er uden for toleranceområdet (42,488)
- Maksimummålet er i den øvre ende af toleranceområdet (42,854)
- Korttidsstabiliteten = 0,429 % er en relativt stor variation
- Korttidsstabilitetstolerancen udgør $\pm 0,183$ mm, skal ikke kommenteres

Denne indkøring, som er uden for toleranceområdet, kan derfor ikke accepteres.

2. Gruppe A, Middel P = 323 bar

Værdierne for "Middel P" = 323 bar udviser en meget lille variation omkring nominelt mål, der er 42,7 $\pm 0,2$:

- Både minimum- og maksimummål er inden for tolerancen (hhv. 42,667 og 42,747)
- Begge mål ligger tæt på begge sider omkring nominelt mål
- Korttidsstabiliteten = 0,094 % er en meget lille og fin variation
- Korttidsstabilitetstolerancen på $\pm 0,04$ mm er rigtig flot

Denne indkøring, som er inden for toleranceområdet og meget flot placeret til begge sider omkring det nominelle mål uden den store afvigelse og med en meget lille variation i stabiliteten, kan derfor rent tolerancemæssigt vælges som meget egnet. Det er den bedste af alle indkøringerne.

3. Gruppe A, Maks. P = 525 bar

Værdierne for "Maks. P" = 525 bar udviser en meget lille variation, som fordeler sig tæt på begge sider af nominelt mål og i god afstand fra toleranceområdet, der er 42,7 $\pm 0,2$:

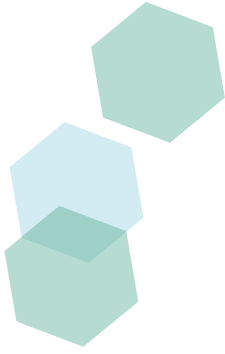
- Både minimum- og maksimummål er inden for toleranceområdet (hhv. 42,674 og 42,806)
- Målene ligger tæt omkring nominelt mål
- Korttidsstabilitet = 0,155 % er en lille og flot variation
- Korttidsstabilitetstolerancen på $\pm 0,066$ mm er meget flot

Denne indkøring er inden for tolerancen med en lille variation i stabiliteten, men er ikke den af de indkøringer i gruppen, der skal anbefales, men rent tolerancemæssigt ville produktionen være udmærket at køre, altså i orden.

4. Gruppe B, Min. P = 120 bar

Værdierne for "Min. P" = 120 bar udviser en ret stor variation på begge sider af nominelt mål, der er 42,7 $\pm 0,2$, med maksimummålet uden for tolerancen:

- Maksimummål er uden for toleranceområdet (42,905)
- Minimummål er inden for toleranceområdet, men i den nedre ende
- Både minimum- og maksimummål ligger med store variationer placeret på begge sider af nominelt mål, men i udkanten af minimum- og maksimumtolerancen
- Korttidsstabilitet = 0,463 % er en relativt stor variation
- Korttidsstabilitetstolerancen på $\pm 0,198$ mm skal ikke kommenteres



Denne indkøring, som er uden for toleranceområdet, kan derfor rent tolerancemæssigt ikke accepteres, idet maksimummålet er uden for tolerancen.

5. Gruppe B, Middel P = 323

Værdier for "Middel P" = 323 bar udviser en meget snæver variation omkring nominelt mål, der er $42,7 \pm 0,2$:

- Både minimum- og maksimummål er inden for tolerancen (hhv. 42,677 og 42,757)
- Både minimum- og maksimummål ligger med en meget lille variation tæt omkring begge sider af nominelt mål
- Korttidsstabilitet = 0,094 % er en meget lille og fin variation
- Korttidsstabilitetstolerancen på $\pm 0,04$ mm er rigtig flot og en meget lille variation

Denne indkøring, som er inden for toleranceområdet uden den store afvigelse og med en meget lille variation i stabiliteten snævert omkring nominelt mål, kan derfor rent tolerancemæssigt anbefales. Den er den næstbedste af indkøringerne.

6. Gruppe B, Maks. P = 525 bar

Værdier for "Maks. P" = 525 bar udviser en meget snæver variation, som desværre ligger meget langt over nominelt mål, men både minimum- og maksimummål er inden for tolerancen, men på samme side af nominelt mål. Toleranceområdet er $42,7 \pm 0,2$:

- Både minimum- og maksimummål er inden for tolerancen (hhv. 42,834 og 42,890)
- Både minimum- og maksimummål ligger over nominelt mål med en meget lille variation
- Korttidsstabilitet = 0,064 % er en meget lille og flot variation
- Korttidsstabilitetstolerancen på $\pm 0,028$ mm er en yderst flot variation

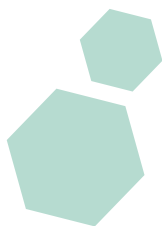
Denne indkøring ligger inden for tolerancen med en meget lille variation i det øvre toleranceområde. Indkøringen kan ikke anbefales, da der skal en meget lille variation til at bringe produktionen uden for tolerancen.

Såfremt den indkøring vælges på grund af dens lille variation, skal målet korrigeres ned til nominelt mål.

De seks indkøring i skemaet "Bestemmelse af optimale procesparametre til tolerancebestemmelse" belyser inden for de opstillede parametre det sprøjttestøbte emnes tolerancespænd, som vil kunne danne baggrund for valg af toleranceområde. Dermed bestemmes, hvilke indkøringsparametre der bør vælges til den endelige produktion.

Såfremt produktionen ønskes produceret i et af de områder, der ikke kan anbefales, vil denne analyse kunne fortælle noget om, hvorledes værktøjet skal korrigeres for at få emnets mål tæt på det nominelle mål, hvis det vel at mærke kun drejer sig om det rent tolerancemæssige.

I mange indkøringssituationer vil man helt kunne undgå korrigerende af værktøjet, idet indkøringen kan vise tolerancespændet med en sådan bredde, at produktionen ville kunne indkøres til at have emnevariationerne liggende tæt omkring nominelt mål og alligevel komme til at foregå på en økonomisk optimal måde.



Værktøjer og hjælpeudstyr

Værktøjsfremstilling

Værktøjer til sprøjttestøbning er forholdsvis dyre, hvorfor økonomiske beregninger ofte sætter en grænse for, om et værktøj skal fremstilles.

Er beslutningen om at få fremstillet et værktøj truffet, vil en vellykket produktion forudsætte flere kvalifikationer, hvor den første forudsætning er et effektivt og godt værktøj.

Inden fremstilling af et sprøjttestøbeværktøj er der foregået en langvarig proces, hvor begreber som produktmodning og produktudvikling er gennemgået i dybden.

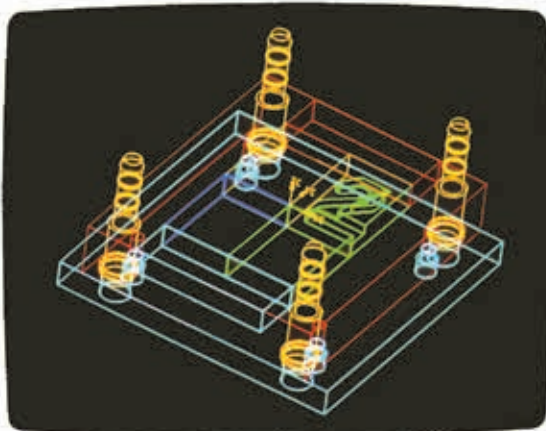
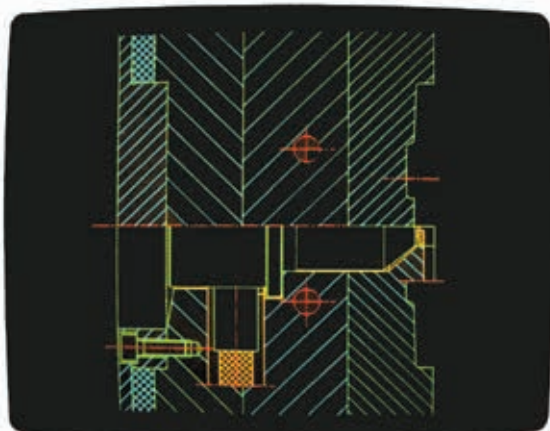
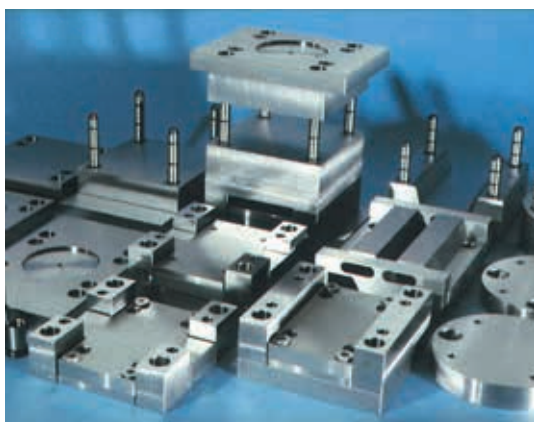
Til denne fase i udviklingen af et nyt produkt, som ofte skal matche andre emner til en komplet konstruktion, hører også undersøgelser af produktbehov og salg.

Hertil kommer produktprisen, som skal være konkurrencedygtig. Før produktet kan blive til noget, skal emneprisen være i orden, dvs. der skal laves en kalkulation af værktøjs- og emnepris. Disse to priser hænger nøje sammen, idet emneprisen er direkte afhængig af det rigtige værktøj. Når de økonomiske forhold er afklaret med et positivt resultat, vil emneudvikling, emnekonstruktion og eventuelt prototypefremstilling tage sin begyndelse.

Prototypefremstilling, afprøvning og godkendelse er ofte en meget lang, tidskrævende, men ofte nødvendig proces, som den endelige emneudformning skal gennemgå.

Når denne proces er afsluttet med grønt lys for igangsætning af den endelige emne- og værktøjskonstruktion, skal emnekonstruktionen trods en grundig afprøvning af prototypen gennemgå udvikling og granskning, så emnet bliver optimalt egnet til sprøjttestøbning.

Værktøjseksempler
(Hasco, Japanica A/S)



Kalkulationsafhængige punkter

ved emne- og værktøjskonstruktion

Nedenstående punkter er opdelt i to grupper. Gruppe 1 hører direkte til det kalkulationsmæssige, og gruppe 2 hører til emnekonstruktionen, som gennemgås, inden værktøjskonstruktionen igangsættes. Disse punkter er kun nogle få af de punkter, emnekonstruktøren skal forberede, ud over de grundlæggende regler som ”ingen skarpe, indvendige hjørner” osv.

Gruppe 1

- Materialebestemmelse (fra prototype)
- Produktionsantal (fra prototype)
- Indfarvningsmuligheder og -ønsker (fra prototype)
- Antal formkaviteter
- Indløbsplacering
- Indløbstype, herunder hvilken dyse der skal anvendes, evt. varmekanal.
- Flydelængde
- Godstykkelser
- Sammenflydningsømme
- Luftindeslutninger, eventuelt midt i emnet
- Slip- og afformningsmuligheder
- Køling/temperering og tilslutning
- Maskinvalg, lukketryk og dosering
- Efterbearbejdning - eller kan og skal emnet færdigstøbes uden efterbearbejdning.
- Eventuelt kernetræk, luftblæsning, robot

Gruppe 2

Korrekt emneudformning følger generelle konstruktions- og udformningsregler:

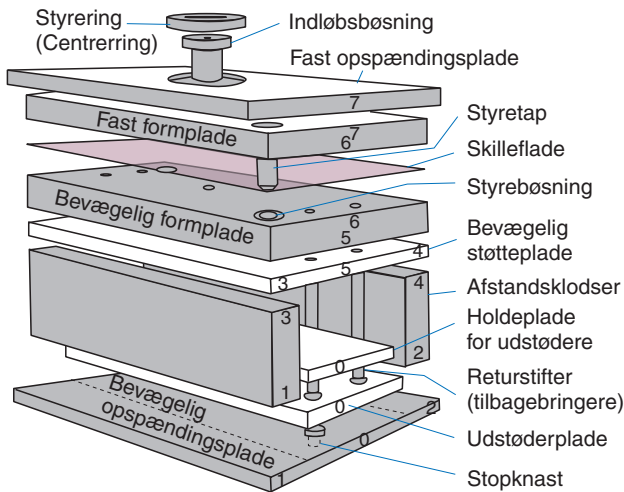
- Der skal tilstræbes en ensartet godstykkelse overalt og en så enkel emneudformning som muligt, dvs. emnet skal være frit for godsansamlinger og store variationer i godstykkelsen. Den minimale godstykkelse afhænger ikke alene af de nødvendige styrkekrav til emnet, men også af den flydevej, som smelten skal gennemløbe.
- Emnet bør være frit for skarpe hjørner og kanter. Det vil sige, at rundingsradier skal være så store som muligt. Da godstykkelsen i hjørner øges med større radier, bør indvendige og udvendige radier følges ad.
- For at undgå kast skal emnet udformes, så virkningen af indre spændinger og molekyleorientering minimeres. Det vil dog eventuelt også være muligt at udnytte molekyleorienteringen til gunst for emnets funktion.
- Huller tæt på emnets kanter bør så vidt muligt undgås.
- Emnet skal udformes med tilstrækkeligt slip, så gnidningsfri afformning af emnet er mulig.
- Dekorationer, bogstaver, bomærker eller anden udsmykning bør undgås på ikke plane flader.
- Gevind, der løber direkte ud til kanten af emnet, bør undgås ved at lave en frigang og rounding, der samtidig vil virke som fang for gevindet.
- Forsænkede skruehuller bør undgås.
- Kernetræk, mekanisk eller hydraulisk, vil øge værktøjsomkostningerne betydeligt, hvorfor en anden konstruktion af emnet måske kan være ønskelig.
- Lange huller, dvs. huller med et længde/diameter-forhold større end 5, uden understøtning af kernen bør undgås. Når understøtning anvendes, kan længde/diameter-forholdet øges til maksimalt 15.
- Irregulære former, som træder frem på emnets overflade, bør undgås.
- Store metalindstøbninger, som kan forårsage spændinger på grund af forskelle i termisk sammentrækning, bør undgås.
- Tolerancer bør være så store som muligt for at reducere værktøjs- og emneomkostningerne.
- Ved varierende godstykkelser bør det tilstræbes, at indløbet placeres i det tykkeste gods, og at godstykkelsen er faldende væk fra indløbet.

Forudsætninger for konstruktion af sprøjtstøbeværktøjer

Sprøjtstøbeværktøjet er kun en del af det produktionsudstyr, der er nødvendigt for at fremstille sprøjtstøbte plastemner.

Værktøjet må foruden de primære krav, der stilles til det, nøje være tilpasset den øvrige del af produktionsudstyret samt det eller de materialer, der tænkes anvendt til fremstilling af det foreliggende plastemne.

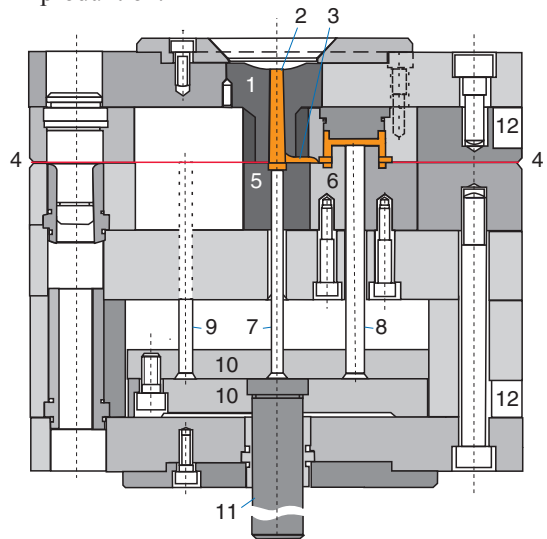
Der eksisterer altså en række bindinger såsom den cykliske sprøjtstøbeproces, som det er nødvendigt at have overblik over, inden den egentlige emne- og værktøjskonstruktion påbegyndes.



Benævnelser på sprøjtestøbeværktøjets enkelte dele samt eksempel på værktøjspladernes nummerering. Det lille flade mellem den faste og den bevægelige formplade skal antyde sprøjtestøbeværktøjets skilleflade - det sted, hvor værktøjet skilles, når maskinen åbnes.

Snitbillede af et simpelt, almindeligt to-pladeværktøj

- 1 Indløbsbøsning med styrestift
- 2 Indløbstap
- 3 Fordelerkanal
- 4 Formskilleflade
- 5 Bevægelig formplade
- 6 Segment (formindsats)
- 7 Central udstøder
- 8 Udstøderstift
- 9 Returstift
- 10 Udstøderplader
- 11 Udstøder (tap)
- 12 Indfræsning for opspænding



- Værktøjet er fremstillet uden fremstående opspændingsplader (flanger), dvs. værktøjet er glat. Opspændingsflangerne er for den faste forparts vedkommende fræset ind i den faste formplade, og for den bevægelige forparts vedkommende er opspændingsflangerne fremkommet, ved at der i afstandsklodserne er lavet en indfræsning.
- Styrelingen holder indløbsbøsningen på plads, så den ikke bliver skubbet bagud af sprøjte tryk under indsprøjtning. Styrelingen i den bevægelige formpart ser man ikke hos ret mange sprøjtestøbevirksomheder, men den er en stor sikkerhed for optimal centrering under et produktionsforløb.

Denne bagerste styring er relativt vanskelig for værktøjsmageren at fremstille, da centreringsen er vanskelig og skal være noget nær 100 procent nøjagtig.

- Indløbsbøsningen er af en styrestift forhindret i at dreje rundt. Såfremt indløbsbøsningen drejer rundt, vil eventuelle indløbskanaler blive blokeret.
- Styretappe, styrebøsninger og centreringsbøsninger er monteret i ét og samme pasningshul, der er gennemgående i alle værktøjets plader. Disse gennemgående huller udbores i én arbejdsgang med alle værktøjspladerne samlet. Denne fremstillingsmetode betyder, at sprøjtestøbeværktøjet altid lukkes og åbnes let og nøjagtigt.

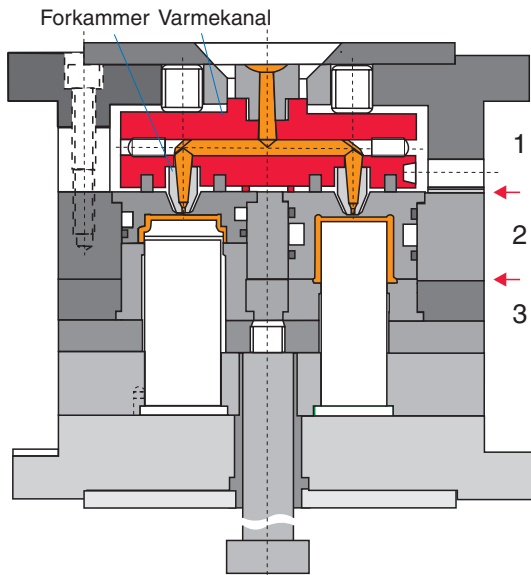
- Udstødertappen (11) er udstyret med en styre- eller glidebøsning, hvilket bevirker, at den ikke kæntrer.
- Udstøderstiften, der er placeret midt i emnet, har et stort udstøderareal, men burde om muligt have været placeret på emnets kanter for at give den bedste afformning.
- Selve emnerne er ilagt formindsatse, hvilket sikrer relativt billig reparation ved beskadigelse. Med anvendelse af emneindsatse skal det øvrige værktøj ikke hærdes, hvorved man undgår skævheder og kast i værktøjet på grund af hærdespændinger.

Sprøjtestøbeværktøjets opbygning og hovedbestanddele

Ved adskillelse og samling af sprøjtestøbeværktøjet er det vigtigt og nødvendigt med en opmærkning af de enkelte værktøjsplader. Den viste opmærkning på tegningen til venstre er en meget benyttet og god opmærkningsmetode.

Sprøjtestøbeværktøjets styring dimensioneres til at passe til styrehullet i den mindste sprøjtestøbemaskine, det vil komme til at køre i. Eventuel opdimensionering af styringen sker ved hjælp af omsætningsringe eller med udskiftelige styringer.

Styringens funktion er at styre værktøjet på plads i maskinen under værktøjsopstillingen samt at sørge for værktøjets centrering i forhold til sprøjteenhedens maskindyse. Sammen med spændejernene sørger styringen også for, at værktøjet ikke glider ned ad maskinplanet under produktion.



Snitbillede af værktøj med varmekanal og forkammerdyser

Værktøj til to forskellige emner.

Ved produktionsstop på grund af problemer i varmekanalen kan skillefladen mellem 1 og 2 aktiveres for reparation.

Ved maskinåbning vil værktøjet åbnes i skillefladen mellem 2 og 3, hvorefter emnerne afformes med afriverplade.

Indløbstyper, placering og dimensionering

Indløbstyper samt deres placering og dimensionering er af stor betydning for både plastemnet og selve fyldningen af værktøjet. Der kræves derfor stort kendskab til dette område ved værktøjskonstruktion.

Indløb og indløbsport skal være udført i overensstemmelse med de krav, det valgte materiale stiller. Er strømningsmodstanden i indløbssystemet (porten) stor, vil materialet på grund af friktion blive varmet op. Eksempelvis vil et trykfald på 100 bar, forårsaget af

indløbsporten, for ABS bevirke en stigning i masstemperaturen på 7 °C. En lille indløbsport kan begrænse indsprøjtningshastigheden samt muligheden for at efterfylde emnet, idet en lille indløbsport fryser relativt hurtigt. Derimod kan efterbearbejdning af indløbet næsten være overflødig.

En stor indløbsport vil gavne efterfyldningen, men kan være uønsket på emnet, da det normalt vil kræve efterbearbejdning.

Der kan i mange situationer ofte være tale om modstridende ønsker, når indløbssystem, type og placering skal vælges.

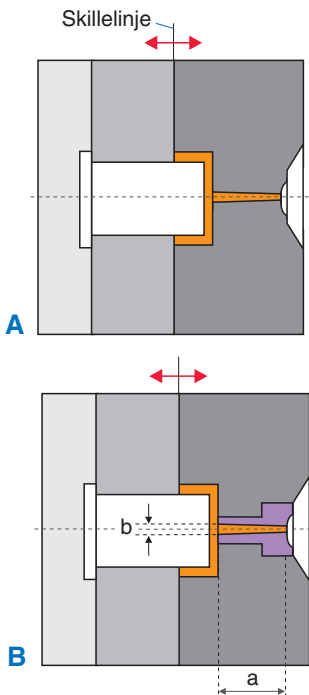
Det simpleste indløb er tapindløbet, hvor indløbstappen munder direkte ud i emnet. Dette indløb giver god adgang til emnet og ideelle forhold ved efterfyldning. Dette tapindløb er dog kun anvendeligt til én-kavitet-værktøjer.

Værktøjskonstruktioner med tapindløb A direkte i den faste formplade kan kun anbefales til små serier.

Tapindløb B med indløbsbøsning egner sig bedre til større serier.

Punktindløbet er et populært indløb, som ofte anvendes på steder, hvor det endda ikke er teknisk korrekt. Ved anvendelse af punktindløbet overflødiggøres så godt som al efterbearbejdning, idet selve punktindløbet typisk er mellem 0,8 og 2 mm i diameter.

Punktindløbet anvendes ofte i forbindelse med forkammerdyser eller i forbindelse med tre-pladeværktøjer.



A. Tapindløb uden indløbsbøsning

B. Tapindløb med indløbsbøsning

Denne konstruktion egner sig bedre til større serier.

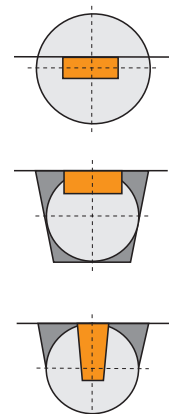
Indløbstappens længde a bør være så kort som mulig.

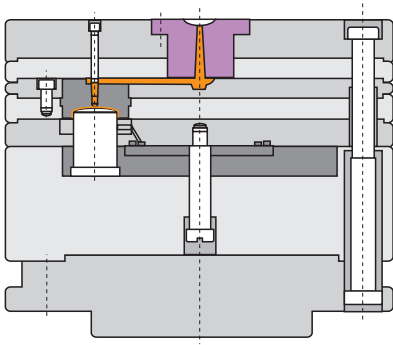
Indløbstappens diameter kan fastlægges i forhold til emnets godstykkelse: Retningsgivende dimensionering for b = emnets godstykkelse.

Koniciteten er typisk 1-1,5°.

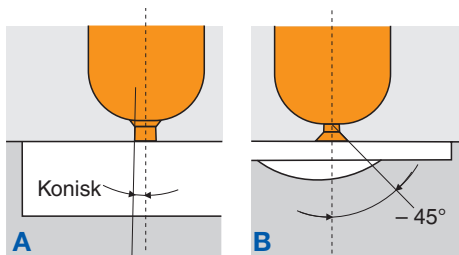
Punktindløbets placering og dimensionering i fordelerkanalen

Tegningen øverst viser et punktindløb, der ligger i centrum for fordelerkanalen, hvilket bevirker, at netop denne konstruktion, i relation til den viskose sjæl, har et flydende tværsnit noget længere end ved de to nederste tegninger, idet den del af tværsnittet, der ligger uden for den indskrevne cirkel, ikke er med til at holde indløbet flydende.





Tre-pladeværktøj med punktindløb



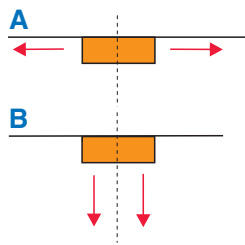
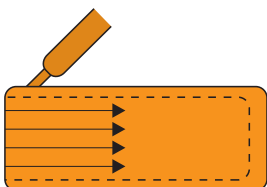
Punktindløbets udformning i forbindelse med tre-pladeværktøjer som en videreførelse af fordelekanalen

De viste konstruktioner anvendes nok lige meget.

- En effektiv indløbskonstruktion, idet det koniske stykke af punktindløbet forhindrer punktindløbet i at brække af og derved blive siddende som en prop, der blokerer indløbet til næste skud.
- En simpel konstruktion, idet punktindløbet er fremstillet med et pinolbor. Det cylindriske stykke af punktindløbet kan naturligvis bearbejdes konisk ved slibning, såfremt det har tendens til at brække af ved overgangen mellem det koniske 45° hul og det cylindriske hul.

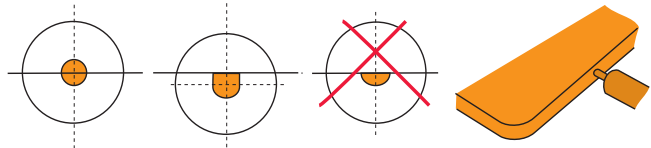
Under indløbet er der placeret en koldbrønd, som blot er en afrundet fordybning i værktøjet.

Fristråleeffekten undgås, ved at smelten afbøjes, umiddelbart efter at den kommer ind i formhulrummet.



Reguleringsmulighederne med punktindløb i værktøjsskillefladen

- Punktindløbets bredde giver indsprøjtningens mængde, men et sådan indløb fryser hurtigt.
- Punktindløbets dybde betyder mere efterfyldning, idet indløbet ikke fryser så hurtigt.



Punktindløb, hvor værktøjsskillefladen ligger symmetrisk på begge sider af emnet

Denne konstruktion giver ikke nogen speciel fordel, ud over at det er en elegant konstruktion samt at indløbet, når det brækkes eller klippes af, ikke beskadiger emnekanten.

Punktindløbet er her cylindrisk, men kunne lige så godt have været rektangulært.

Fristråleeffekt

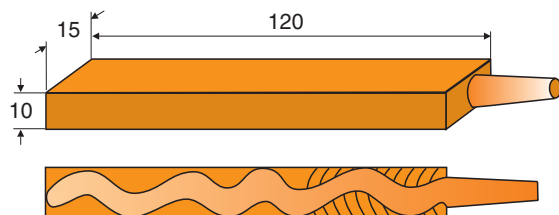
Et punktindløb eller et tapindløb direkte ind i et ubrudt, frit rum (kavitet) vil give en fristråleeffekt. Når det indsprøjtede materiale ikke møder modstand, lægger det sig som en bølgende slange eller pølse i formen.

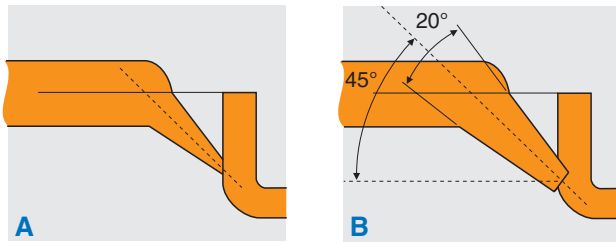
Denne fristråleeffekt har mange forskellige navne fx pølse-sprøjtestøbning eller stråleeffekt.

Denne effekt fremstår mere eller mindre tydeligt på det færdigstøbte emne og er praktisk taget umuligt at køre væk. Problemet kan løses, hvis indløbet flyttes, så det indsprøjtede materiale møder modstand.

Fristråleeffekt

De indtegnede ringe i formkaviteten skal forestille den "efterkvældende smelte", som omslutter det pølseformede, først indsprøjtede materiale (herfra navnet pølsesprøjtestøbning).





To typer tunnelindløb

- A. Dette tunnelindløb giver størst mulighed for efterfyldning og har mindre tendens til fristråledannelse. Indløbet, der afskæres fra emnet under afformning, står ikke med et skarpt skær. Derfor trækkes der ved seje materialer ofte en indløbsrest med af emnet.
- B. Tunnelindløb, hvor tunnelen er fremstillet konisk fx ϕ 1,8/2,5, som i en vinkel på 45° gennembyder formhulrummet, hvorved klippekanten bliver "nymåneformet" og meget skarp.

Tunnelindløbet B er teknisk set mere korrekt end A.

Det nymåneformede indløb er omtrent rektangulært, hvilket indebærer, at indløbets størrelse kan forøges uden at ændre på indløbets størkningstid ved regulering af rektanglets lange side.

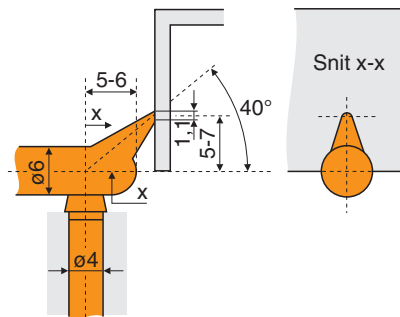
Såfremt der ønskes længere størkningstid (og dermed længere eftertrykstid), kan det løses ved at ændre rektanglets korte side.

Tunnelindløb

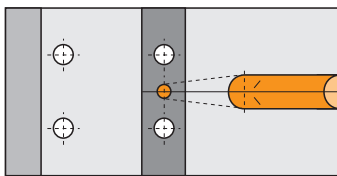
Et populært indløb er tunnelindløbet - også kaldet dykket indløb, submarine (undervandsbåd) eller selvskærende indløb.

En af grundene til at denne indløbsform er blevet så populær, er, at indløbet ved afformning friskæres fra emnet, så det praktisk talt ikke kan ses på emnet, hvor indløbspunktet befinder sig.

Det neddykkede indløb efterlader dog et sårbart sted i værktøjet (broen), som ved hærdede værktøjer let kan brække af, og som desværre ikke umiddelbart lader sig reparere igen.

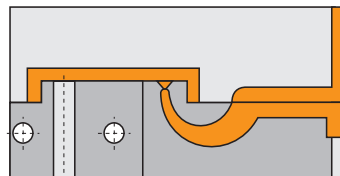


Det traditionelle tunnelindløb med en vinkel på 40°, som er den ideelle vinkel for tunnelindløbets neddykning og ikke mindst med hensyn til afformning.

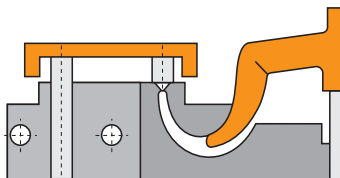


Snabelindløb set ovenfra

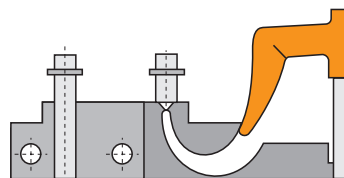
Bemærk indsatsens deling i snablens centerlinje. Det giver let ad-skillelse ved produktionsstop.



Værktøjet er lukket og klart til indsprøjtning.



Første fase af emne- og indløbsudstødning



Snablen deformeres i deformeringszonen under sidste fase af udstødningen.

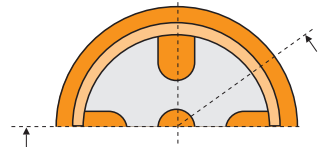
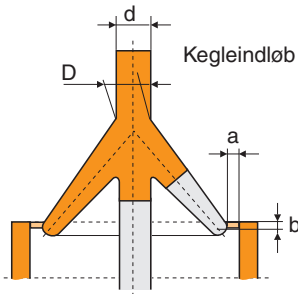
Snabelindløb

Snabelindløbet egner sig til tyndvæggede emner med store krav til udseende og til fuldautomatisk produktion.

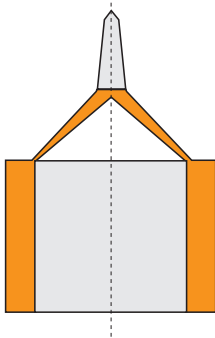
Dette system muliggør placering af indløbet på ikke-synlige steder eller andre hensigtsmæssige områder.

Til hjælp for afrivning kræves rigeligt med slip på snablen, der også skal have mulighed for deformation ved overgang mellem snabel og fordelerkanal.

Ved lange snabler kan lokal reduktion af fordelarlængde være til hjælp under udstødningen, ligesom placeringen og længden af udstøderen understøtter indløbet under udstødningsbevægelsen.



Kegleindløb

**Kegleformet skærmindløb**

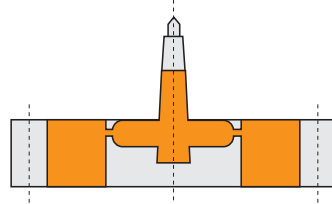
Anvendes specielt til emner, hvor der stilles store krav til efterfyldning. Indløbet skal afdrejes eller afstikkes.

Kegleindløb

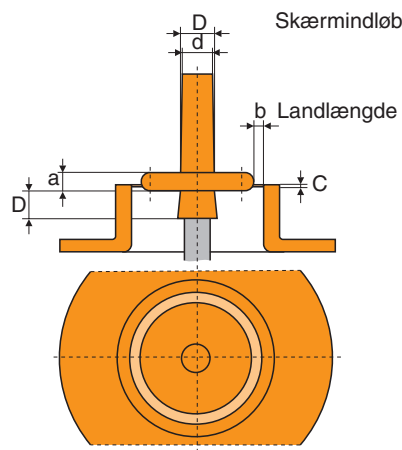
Et kegleindløb udmærker sig ved god flydning rundt om den runde kerne, ligesom det yder god styring af kernen, så den ikke vælter.

Skærmindløb

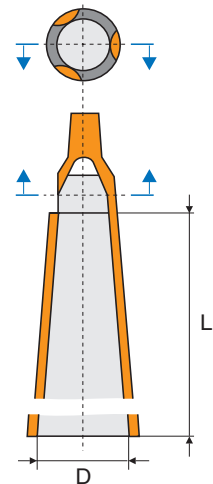
Skærmindløbet anvendes til cylindriske emner, hvor sammenflydningsømme ikke kan accepteres. Skærmindløbet giver optimal rundhed. Efterbearbejdning af skærmindløbet er nødvendig.



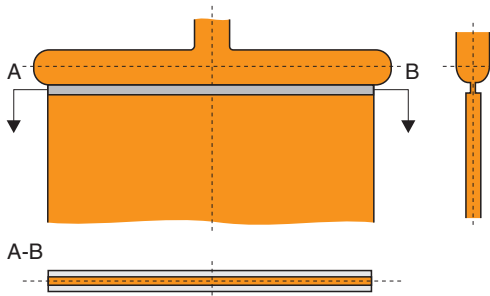
Skærmindløb i forbindelse med et tandhjulsværktøj, hvor skærmen ligger et stykke nede i tandhjulsnæv, hvilket betyder, at kernen skal være todelt. Indløbet skal drejes ud.

**Skærmindløb**

Landlængden (b), også kaldet indløbsstærsklens bredde, anbefales at være mellem 0,5 og 1 mm. De øvrige mål tilpasses emnets dimensioner.

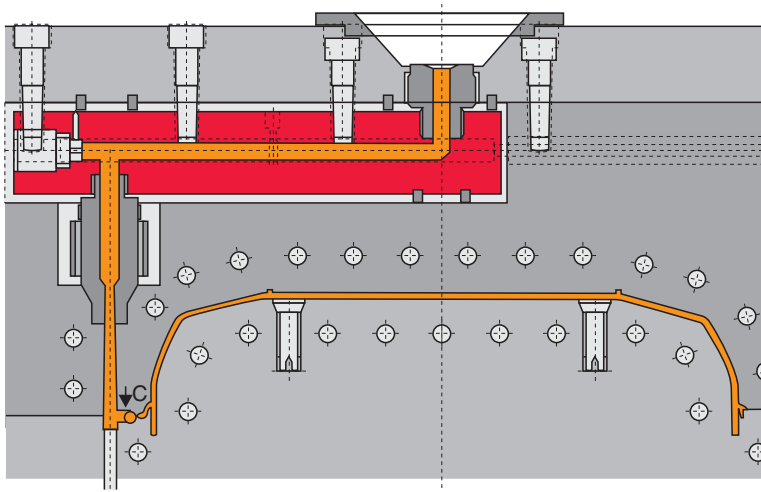
**Falsk skærmindløb med tre indløbsstrege**

Når kernehøjden i et cylindrisk eller konisk emne overstiger $5 \times$ diameteren, skal kernen støttes. Det kan gøres ved at udfræse tre spor og lade indløbshullet i den faste forpart omslutte og støtte den lange kerne. Indløbet eller indløbene kan klippes af.

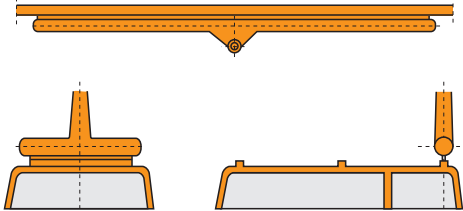
Filmindløb**Filmindløb**

Denne indløbstype tillader ideel fyldning af værktøjet. Under indsprøjtning fyldes hele den tykke, tværgående kanal, der yder mindst modstand mod fyldning. Først når kanalen er fyldt, trænger smelten ind over filmtærskelen og ind i formhulrummet, som fyldes under helt ideelle flydeforhold, dvs. jævn fyldning i hele emnets bredde.

Ulempen ved denne type indløb, der ofte ønskes benyttet til store emner, er, at emnet kommer til at ligge ucentrert til den ene side af maskinens midterlinje, hvorved der dannes en uheldig balance for sprøjtøbmaskinens søjler.

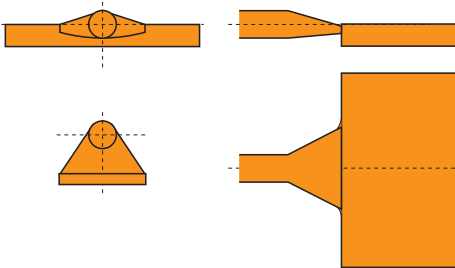


C set fra oven



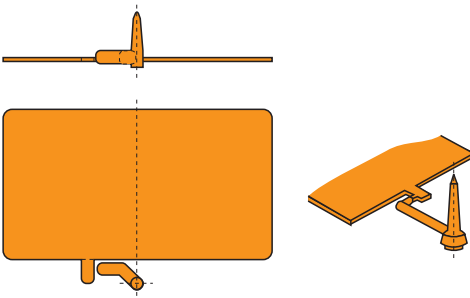
Løsning af centreringsproblematikken ved at anbringe filmindløbet som et tapindløb
Filmindløbet er ucentreret, men kan flyttes, således at det centrerer.

Ulempen ved denne konstruktion er, at filmindløbet skal integreres i et kæbeværktøj, hvilket gør konstruktionen relativt kostbar.



Vifteindløb

Stropindløb



Filmindløb anvendes bedst i forbindelse med en varmekanal (hot-runner), idet varmekanalen tillader den ideelle centrering af værktøjet.

Denne værktøjsløsning er noget dyrere end et værktøj med det konventionelle tapindløb i toppen af emnet, som ikke kan accepteres på alle emner.

Der kan kun skabes balance i værktøjet ved et to-emners værktøj eller ved at lade indsprøjtningen gå ind fra siden og gennem værktøjets skilleflade, idet filmindløbet ellers må kombineres med en varmekanal.

Vifteindløb

Vifteindløbet kan kaldes et modificeret filmindløb.

Den store runding ind mod formhulheden modsvarer den aftagende indløbstykkelse, således at store mængder materiale kan transporteres ind i formhulheden i løbet af kort tid.

Vifteindløbet anvendes hovedsageligt til store emner med lange, udstrakte flader.

Stropindløb

Stropindløbet er et punktindløb kombineret med et udligningskammer.

Punktindløbets ulemper i form af stærk materialeorientering omkring indløbspunktet (lamining) holdes med denne strop uden for det egentlige emne.

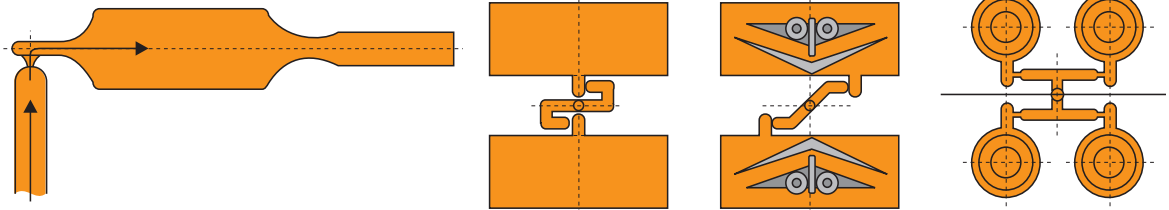
Stroppen eller udligningskammeret skal fjernes mekanisk efter støbningen.

Når udligningskammeret benævnes som sådan, skyldes det, at når punktindløbet er størket, og emnet derefter fortsætter med at størkne og svinde i formen, kan emnet trække stadig flydende materiale ud fra udligningskammeret, således at indfaldssteder (sugninger) på emnet til en vis grad undgås.

Stropindløbet anvendes hovedsageligt, hvor man skal fremstille emner med minimum af overfladefejl i området omkring indløbsstedet.

Derudover anvendes stropindløbet til indstøbning i kanter, hvor man ikke kan anvende filmindløb. Stropindløbet giver bedre flydeforhold end det direkte indløb.

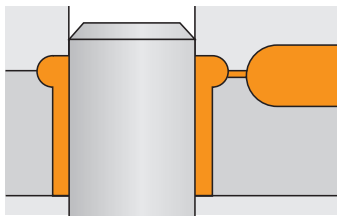
Stropindløbet udføres, således at punktindløbet føres ind i stroppen i en vinkel på 90° med stroppens flyeretning. Stroptykkelsen skal være større end emnets godstykkelse.



Forskellige konstruktioner med stropindløb

Stropindløbet anvendes fx meget ved sprøjtestøbning af knapper, platter og linser i fx akrylplast. På sådanne emner må der ikke være spor af indløbet. Ved maskinel fjernelse af strop-indløbet får man en fejlfri emneoverflade.

Sådanne akrylplast-emner efterbehandles ofte med lak eller vakuumbelægning, og det kræver en absolut fejl- og spændingsfri overflade.

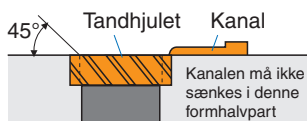


Ringindløb med ringen som en integreret del af emnet

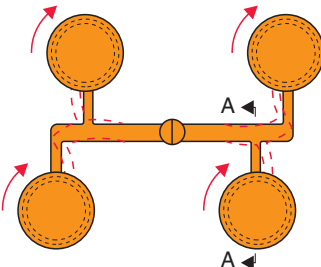
Et fire-kavitet sværktøj til sprøjtestøbning af tandhjul i materialet POM

Det er vigtigt, at fordelerkanalerne ligger i modsatte side af emnerne på grund af vridninger fra svindeffekten, som kunne deformere de støbte emner inden afformning.

Bemærk fordelerkanalernes voldsomme vridning, der kan forårsage deformationer på emnet, såfremt indløbskanalerne ikke er placeret i den faste form-part.



Snit A-A Udstødning



Ringindløb

Ringindløbet anvendes ved cylindriske eller rektangulære emner, der er konstrueret med en fortykket ring på emnets omkreds.

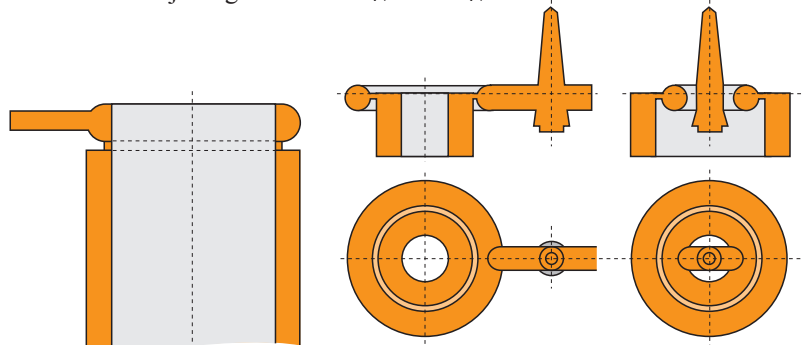
Der er to principper for ringindløb. Ved det første princip er emnet forsynet med en fortykket ring som en blivende, integreret del af emnet. Ved det andet princip er emnet af hensyn til indløbet forsynet med en midlertidig, fortykket ring, som efter støbningen fjernes ved efterbearbejdning af emnet.

Indsprøjtningen kan foregå gennem et almindeligt punktindløb eller et rektangulært indløb til den tykke ring, og da smelten først fylder det område i formen, der yder mindst modstand, vil den fortykkede ring blive fyldt, inden smelten flyder ind i emnet i hele omkredsen samtidigt.

Sammenflydningsømme optræder sædvanligvis kun i selve ringpartiet, der som følge af tykkelsen er stærkere end den øvrige del af emnet, hvorfor en sammenflydningsøm ikke er kritisk her.

Ringindløbet erstatter ikke skærmindløbet, men hvor skærmindløbet almindeligvis anvendes ved én-kavitet sværktøjer, er ringindløbet velegnet til fler-kavitet sværktøjer. Ringindløbet benyttes i øvrigt på samme måde som skærmindløbet.

Efterbearbejdning er nødvendig ved ringindløb.



Ringindløb med midlertidig fortykket ring

Et indvendigt og et udvendigt ringindløb

Varmekanalfordeler med nåleventil

Ved varmekanaler forstås man separate, elopvarmede indløbskanaler i værktøjet. Overfladetemperaturen ligger i samme temperaturområde som plastsmelten, altså væsentligt over formtemperaturen.

Varmekanaler har til opgave at lede smelten så vidt muligt uden varmetab fra maskindyse til indløbspunkt.

I modsætning til den normale fordelerkanal forbliver plastmaterialet flydende i varmekanalen. Kanalens indhold af smeltet plast bliver derfor ikke afformet sammen med emnet og skal ikke regnes med til skudvolumenen

Varmekanalfordeler**med nåleventil (Husky)**

Denne model er med pneumatisk styring af nålens åbne- og lukke-bevægelser.

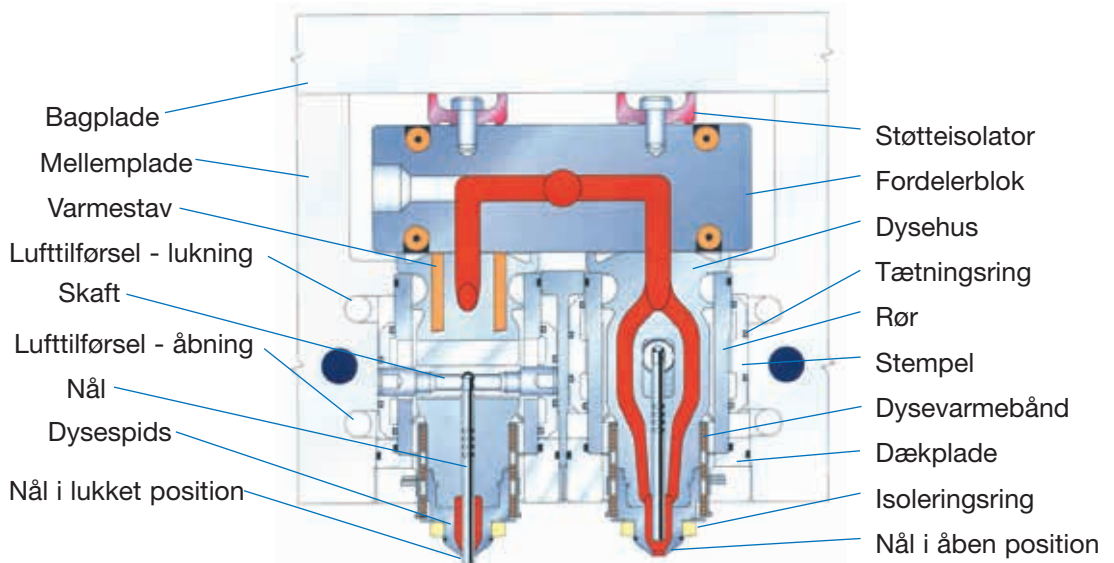
- undtaget ved første opstart og efter rensning af kanaler fx ved materiale- eller farveskift.

Varmekanal kan betragtes som en forlængelse af maskindysen til formhulrummet.

Et af grundproblemerne ved anvendelse af varmekanalssystemer består i at opretholde termisk adskillelse mellem den varme kanal og det koldt tempererede værktøj, når kravene til intet eller minimalt varmetab samtidigt skal tilgodeses.

Selve værktøjets opspændingsplader bør afisoleres fra maskinens opspændingsplaner med specielle isoleringsplader, der kan tåle lukketrykket, således at værktøjets varme ikke forsvinder over i maskinplanerne.

Der findes mange forskellige systemer af nåleventiler til varmekanaler, hvor det specielt er nåleventilens styring, der varierer. Nåleventilen kan ved simple varmekanaler åbne for indsprøjtningshullet under sprøjte-trykkets indvirkning og lukke igen, når sprøjte-trykket aftager. Ved andre systemer kan nåleventilens åbning og lukning styres med hydraulik eller pneumatik.

**Nåleventil**

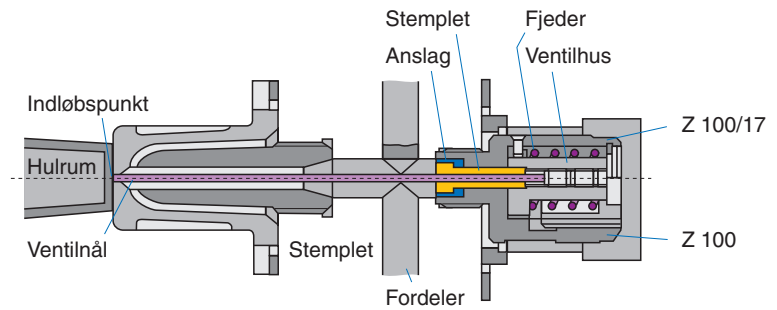
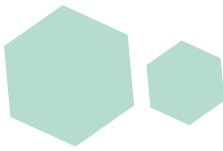
På næste side vises en særlig type nåleventil. Nåleventilen monteres, ved at dens forkammer skrues ind i varmekanalblokken (kanalblokken) bag emnets indløbspunkt.

Fordele ved denne type nåleventil er:

- Emnets indløbspunkt (sår) bliver automatisk glittet af ventilnålens fjedertryk.
- Temperaturstyringen i indløbspunktet bliver forenklet, idet der kun tages hensyn til en passende masstemperatur, idet udflydning og trådtrækning undgås med nåleventilens fjedertryk, som lukker indløbspunktet helt tæt.

Ved meget sejtflydende plastmaterialer tilpasses størrelsen af indsprøjtningens åbning og nåleventilen til dette.

- Nåleventilens små byggemål muliggør små afstande mellem formkaviteterne.
- Eksisterende varmekanalblokke lader sig let ombygge eller reparere til dette system.



Indsprøjtningforløb

Inden indsprøjtningen er ventilnålen af fjederen omkring ventilhuset trykket ind i indløbspunktet, således at indløbspunktet er fuldstændigt lukket.

Sprøjtetrykket trykker stemplet tilbage til anslag, hermed er indløbspunktet åbent, og emnehulrummet kan fyldes.

Så snart sprøjte- og eftertrykket ophører (dekompression), trykker fjederen ventilnålen ind i indløbsåbningen, hvorved emnets indløbsår glittes, hvilket betyder at udjævne, således at indløbsåret omtrent kan blive usynligt.

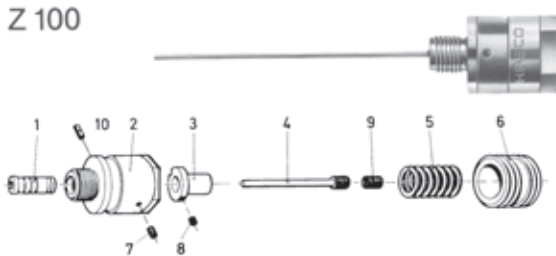
Z 100/17 og Z 100 er bestillingsnumre.

Nåleventilerne Z 100 og Z 100/17

(Hasco, Japanica A/S)

Begge nåleventiler er nogle meget kompakte og enkle enheder, der let lader sig indbygge i eksisterende varmekanalblokke.

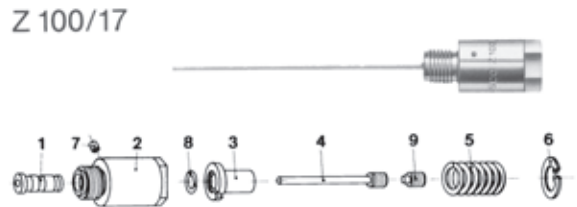
Z 100



Z 100

- 1 Glider
- 2 Ventilhus
- 3 Nåleholder
- 4 Ventilnål
- 5 Specialtrykfjeder
- 6 Bundskruer
- 7 Låseskruer
- 8 Låseskruer
- 9 Kontraskruer
- 10 Styrestift

Z 100/17



Z 100/17

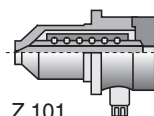
- 1 Glider
- 2 Ventilhus
- 3 Nåleholder
- 4 Ventilnål
- 5 Specialtrykfjeder
- 6 Låsering
- 7 Styrestift
- 8 Holderring
- 9 Kontraskruer

Varmedyser

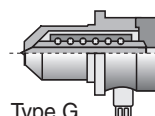
Der findes flere principper for varmedyser til direkte indsprøjtning i emnet.

Varmedysetyper

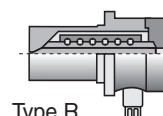
Varmedysen tilpasses med anlægsflade til maskindysen.



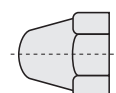
Z 101
Z 103
Z 104



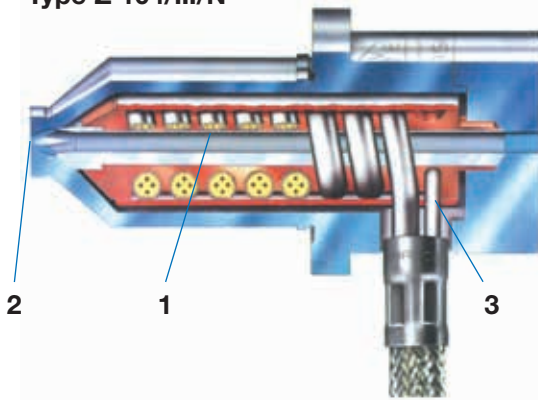
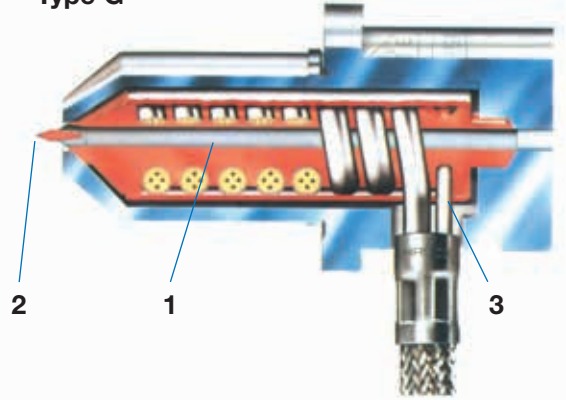
Type G



Type R



Maskindyse

Type Z 104/.../N**Type G****To forskellige varmedyser til direkte indsprøjtning i emnet**

(Hasco, Japanica A/S)

Type Z 104/.../N går helt frem til kaviteten og danner en ringmarkering (dysens kontur) omkring punktindløbet.

Type G kan monteres tilbagetrukket i forhold til kaviteten og giver således ingen ringmarkering, idet selve punktindløbet er indbygget i formen, hvor så den varme nål (2) holder indløbspunktet åbent.

Begge varmedyser er åbne dyser til direkte indsprøjtning, og de kan i let modificeret form anvendes i forbindelse med varmekanalværktøjer.

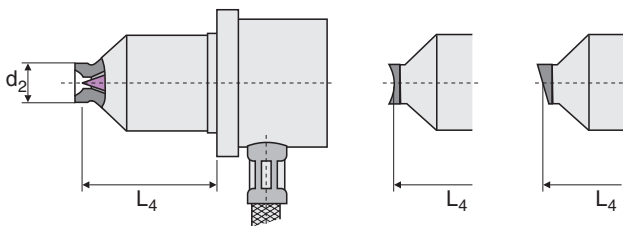
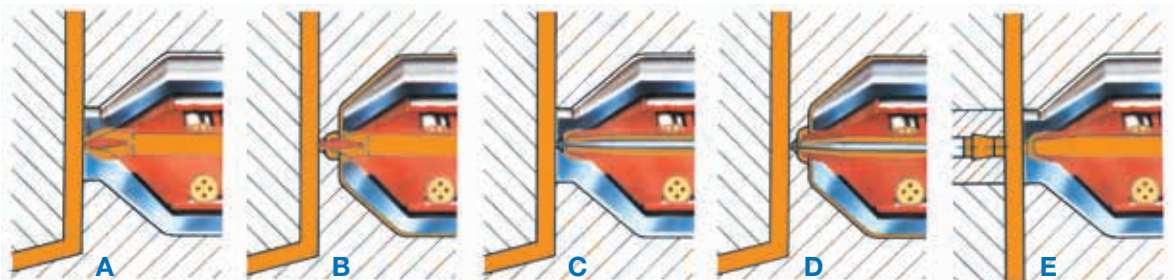
Varmedyserne er meget strømningsbegunstigende og er indvendigt opvarmet med et specielt varmelegeme (1). Indløbspunktet holdes åbent af den opvarmede nålespids (2), og opvarmningen styres af en integreret termoføler (3).

Indløbspunktets størrelse (diameter) vælges ud fra materialetype og skudvolumen.

Forskellige varianter af punktindløb med varmedyser til direkte og indirekte indsprøjtning

(Hasco, Japanica A/S)

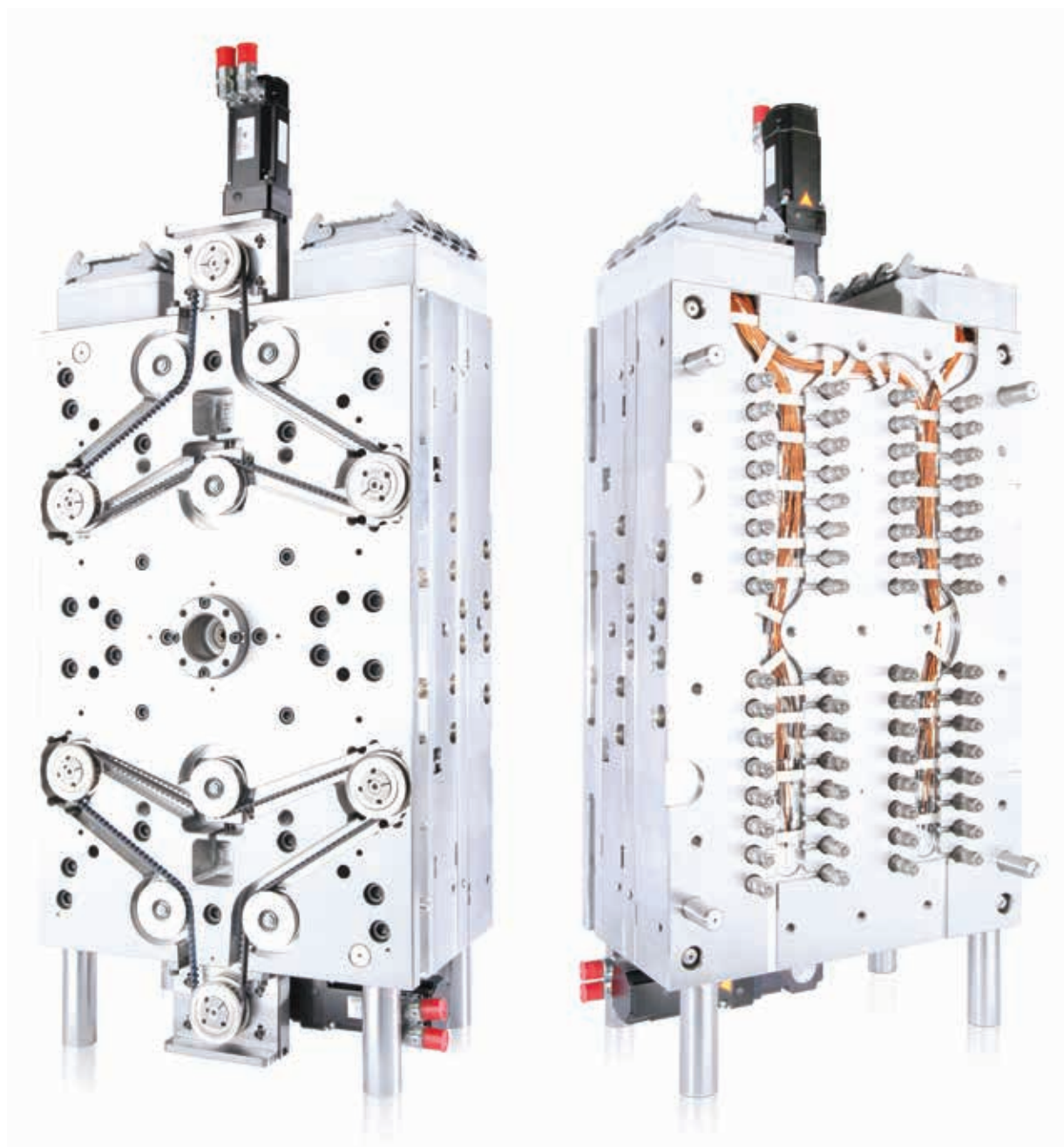
- A. Punktindløb med ringmarkering
- B. Punktindløb uden ringmarkering
- C. Punktindløb med nåleventil med ringmarkering og glittet indløbspunkt
- D. Punktindløb med nåleventil uden ringmarkering og med glittet indløbspunkt
- E. Åben dysse for specialtilpasning af emnekontur eller overflade



Eksempel på åben varmedyse, der tilpasses efter emnets kontur eller overflade omkring indløbspunktet.

Denne dysetype egner sig til specielle formål og er en ægte åben varmedyse.

64 kavitets Hot-Half med servo-elektrisk synkron plade til nålelukning (Englmayer)



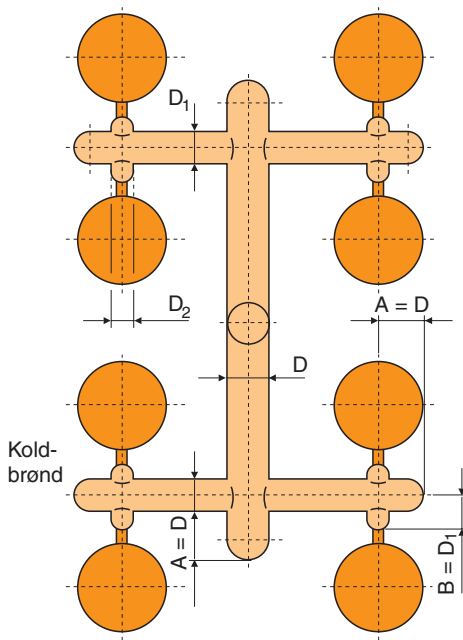
Billede til venstre viser:

2 servo-moter som trækker hver en tand rem, på hver af tand rems hjulene er der monteret en ball-screw som får Synkron pladen til at Åbne/Lukke nålene samtidige.

Billede til Højre viser:

64 dyser som er klar til at få monteret emne kavitets pladen.

Det kunne eksempelvis være til et kapsels eller Medicinal emne.



Symmetriske, velproportionerede fordelerkana- ler til et ottestycks værktøj

Bemærk indløbssystemets nedtrapping fra tapindløbet (cirklen i midten) og hen til kaviteternes indløbspunkter.

Fordelerkanaler eller indløbskanaler

Det normale indløbssystem til fler-emnesværktøjer er direkte indarbejdet i formpladerne og føres ikke i separat opvarmede fordelerblokke eller dyser.

Temperaturen på indløbskanalernes overflade svarer derfor til formtemperaturen, hvorfor den plastmasse, der er til stede i indløbssystemet, størkner efter indsprøjtningforløbet og må efter hvert skud afformes sammen med emnet.

Indløbet indgår altså i skudvægten, men kan principielt regenereres og genanvendes.

I fler-styksesværktøjer med primære og sekundære fordelerkana-
ler anbefales det at lade alle kanalerne gå ud i en koldbrønd. Kanallængden skal gøres så kort som muligt.

Hvor der kræves små emnetolerancer i fler-styksesværk-
tøjer, skal fordelersystemet afbalanceres, således at alle kaviteterne fyldes samtidigt - og så nær 100 % som muligt.

Fordelerkanalerne skal holdes så små som muligt, dog således at de netop tillader, at kaviteten med sikkerhed fyldes, og at indløbet størkner før indløbskanalerne.

Indløbsplacering

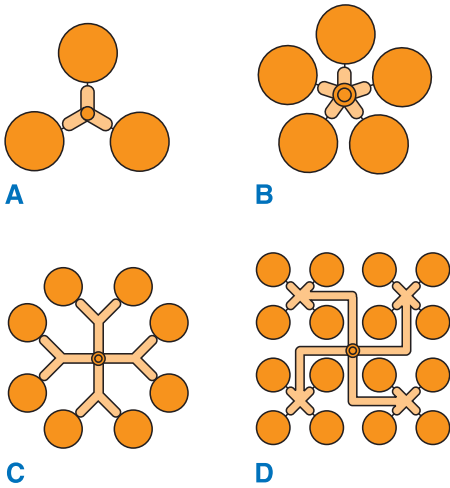
Når der vælges indløbsplacering, skal der tages hensyn til følgende punkter:

- Indløbet bør placeres, således at den indstrømmende smelte støder direkte på værktøjsvæggen eller mod en kerne for at modvirke fristråleeffekt.
- Smelten bør løbe i retning af luftafgangene, således at indesluttet luft i størst mulig udstrækning undgås. Luftindeslutninger bør helt undgås.
- Indløbsstedet skal om muligt placeres i forbindelse til den største godstykkeelse.
- Under placeringen af indløbet bør det overvejes, hvor sammenflydningslinjerne vil forekomme, og om emnets svaghed i sammenflydnings sømmen kan accepteres. Indløbsstedet bør placeres, så emnet får sammenflydnings sømme der, hvor emnet vil få de mindste belastninger og slag.
- Overvej lettest mulig løsning for efterbearbejdning og afgratning af indløbet.
- For emner, der kræver lang eftertrykstilid (sædvanligvis tykvæggede emner), er det enkleste indløb et direkte stangindløb placeret på emnets største godstykkeelse.
- Indløbskanalerne bør udformes, således at afstanden fra tapindløbet til alle emner er nøjagtigt lige lang. Endvidere bør indløbspunkterne være således, at de kan justeres på en sådan måde, at alle emnerne fyldes samtidigt og ens.

I to-styksesforme kan der ikke være megen tvivl om indløbskanalens placering, når først indløbspunktets placering på emnet er bestemt.

Er der derimod tale om fler-styksesforme, fx en 16-styksesform, vokser mulighederne for indløbskanalernes placering og udformning. Det er derfor vigtigt hele tiden at have for øje, at kanalerne skal udformes, således at alle kaviteterne fyldes ens og samtidigt, dvs. at indsprøjtning- og eftertrykket skal nå alle kaviteterne med samme tryk og på samme tid.

Sker der i stedet det, at de enkelte kaviteter fyldes i etaper fra indløbet



- A. Simpel tre-styksfordelerkanal
 B. Simpel fem-styksfordelerkanal
 C. Simpel otte-styksfordelerkanal
 D. 16-styksfordelerkanal på minimal plads

Simpel 12-styksfordelerkanal

Denne konstruktion giver mindst spild, dvs. regenerat, men kræver megen afbalancering, idet indløbene gøres større med afstanden fra indløbsbøsningen.

Seks-styksfordelerkanal, arrangeret for flere styks i værktøj med kulisser eller kæbe

Denne konstruktion giver også et minimum af spild. Konstruktionen kan udvikles på den måde, at indsprøjtningen kan ske i centrum af emnerne, idet fordelerkanaalen kan omslutes af kulisserne eller kæberne.

12-styksfordelerkanal, hvor indløbspunkterne er arrangeret i samme afstand fra formens centrum

Konstruktionen er meget pladskrævende (arealkrævende). Afbalanceringen er ret simpel, da materialets flydeveje er lige lange. Der kræves derfor kun afbalancering af indløbspunkterne.

16-styksfordelerkanal

Indløbspunkterne har ikke samme betingelser, idet konstruktionen ikke har tilsikret lige lange flydeveje.

Afbalanceringen vil være yderst kompliceret.

Otte-styksfordelerkanal, hvor indløbspunkterne er arrangeret i samme afstand fra formens centrum

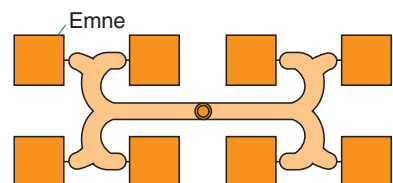
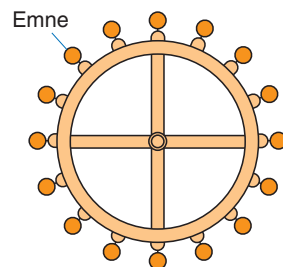
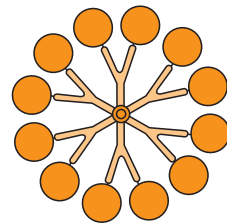
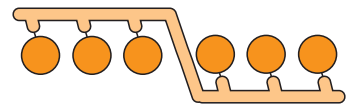
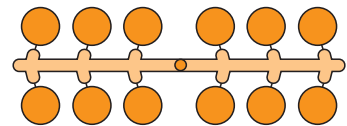
Afbalanceringen er ret simpel, da materialets flydeveje er lige lange. Der kræves derfor kun afbalancering af indløbspunkterne.

og udefter, kan resultatet blive, at plastmaterialet er delvist størknet under et stort tryktab, før smelten når ud til de yderste områder i kaviteterne.

Skulle alle kaviteterne blive fyldt, vil de under alle omstændigheder være fyldt så uensartet, at måltolerancer på emnerne vil afvige fra det emne, der er først fyldt, til det sidst fyldte emne.

Ved afbalanceringen af formfyldningen må man som udgangspunkt gå ud fra, at hver enkel kanal skal yde nøjagtigt samme modstand mod materialestrømmen, hvilket kun er muligt, såfremt kanallængder og kanaltværsnit er symmetriske og ensartede, således at det kun er indløbsåbningen, der skal afstemmes ved prøvekørslen.

Her vises forskellige, afbalancerede fordelerkanaaler til fler-styksforme. Indløbskanaalerne er symmetriske og lige lange. Det må bemærkes, at der kun er koldbrønde, hvor det har været muligt.



Tværsnit af fordelerkanal

Fordelerkanalens tværsnit har indflydelse på den hastighed, hvormed smelten i kanalen størkner, samt på smeltens flydehastighed og flydevej, altså flydelængde, og dermed på hele sprøjtestøbecyklusen.

Den cirkelrunde fordelerkanal er den mest korrekte, idet den giver det maksimale tværsnit for en given omkreds. Sagt på en anden måde giver den cirkelrunde fordelerkanal mindre køleflade end den kvadratiske fordelerkanal.

Fordelerkanal med cirkulært tværsnit

Denne fordelerkanal er forholdsvis svær at fremstille, da der skal fræses ned i begge forparter. Den cirkulære fordelerkanal er den mest effektive, da den giver det maksimale tværsnit for den viskose sjæl.

Ved afformning skal indløbet, som har en tendens til at blive siddende i den faste forpart, udføres med modhold i udkastersiden for at trække indløbskanalen med over i udkastersiden til afformning.

Fordelerkanal med trapezformet tværsnit

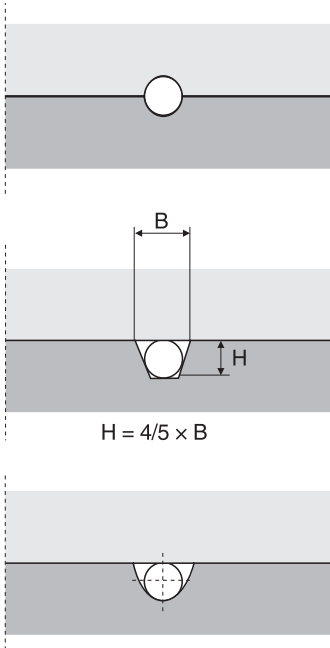
Fordelerkanalen er let at fremstille, da den kun skal nedfræses i den ene af forparterne - som oftest udkastersiden.

Næst efter den cirkulære er denne fordelerkanal den mest effektive.

Arealet uden for den indtegnede cirkel størkner, inden formfyldningen er afsluttet, og er således ineffektiv.

Fordelerkanal med afrundet, trapezformet tværsnit

Denne fordelerkanal er mindre effektiv end den cirkulære og den trapezformede. Arealet uden for den indtegnede cirkel er nemlig større end ved almindelige trapezformede tværsnit, og dette område størkner, inden formfyldningen er afsluttet.



A. Fordelerkanal med halvrundt tværsnit

Denne fordelerkanal er den mindst effektive og bør ændres til en af de tre ovenstående.

B. Fordelerkanal med kvadratisk tværsnit

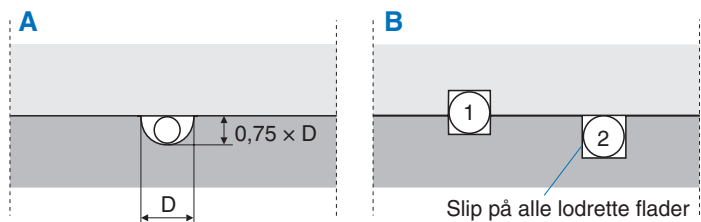
Med hensyn til effektivitet kommer denne fordelerkanal efter den trapezformede.

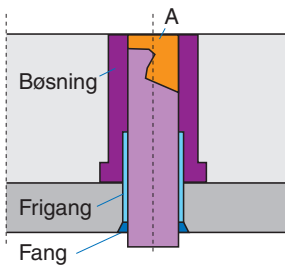
Fordelerkanalen kan nedfræses i begge forparter (1) eller man kan nøjes med at nedfræse den i fx udkastersiden (2). Under alle omstændigheder skal kanalen have den nødvendige slipvinkel, som afhænger af kanalens overfladeruhed og af materialetypen.

I enhver profil, der holdes flydende, er det kun det cirkulære tværsnit, der kan indtegnes, idet hjørnerne af fx det kvadratiske tværsnit størkner og hermed er ude af stand til at yde et bidrag til formfyldningen, ud over at det isolerer den viskose sjæl fra den kølede formvæg.

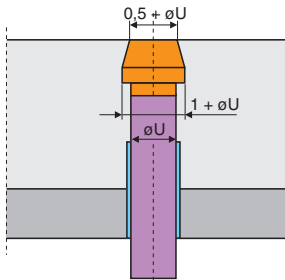
At den cirkulære fordelerkanal ikke anvendes i alle værktøjer, kan ikke skyldes vanskeligheder med at fremstille den. De fleste arbejder i dag med præcise CNC-styrede maskiner, der nemt kan fremstille cirkulære kanaler ved at nedfræse en halvcirkel i hver formplade, der passer præcist over for hinanden.

Vægten af fordelerkanal har i visse tilfælde nogen betydning, når der støbes mindre emner i 50-60-styks værktøjer, hvor vægten af fordelerkanal kan udgøre lige så meget eller mere end alle emnerne tilsammen. Her vælges ofte det trapezformede tværsnit.

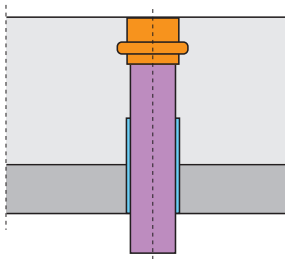




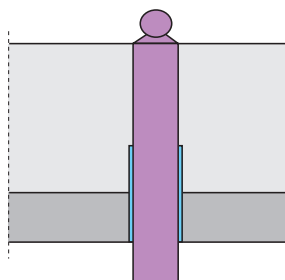
Hæklenål



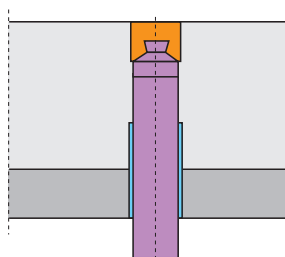
Konisk modhold



Rillemodhold



Kuglemodhold



Keglemodhold

Centraludstøder/indløbsudtrækker

Der er udviklet mange forskellige centraludstødere eller indløbsudtrækere, alle til forskellige formål og nogle bedre end andre.

Begge benævnelser bruges, idet de har begge funktioner:

1. Når værktøjet åbnes, trækker de indløbet ud af indløbsbøsningen.
2. Når emnet stødes ud, vil indløbsudtrækkeren virke som indløbsudstøder.

Hæklenål

Denne hører nok til de mest udbredte centraludstødere - eller indløbsudtrækere, som den måske burde hedde, da det er en væsentlig del af dens funktion.

For bedst mulig funktion bør åbningen (A) vende nedad altså i udfaldsretningen, således at indløbet vil slippe hæklenålen ved udstødning. Derfor bør den sikres mod at dreje rundt.

Frigangen sikrer centraludstøderen mod for stor friktion. Fanget skal sikre mod let fang ved montering.

Konisk modhold

Denne centraludstøder er nok den mest udbredte.

Det er væsentligt, at modholdets diameter er større end udstøderens, da den ellers ved blødere materialer vil have tendens til at træde igennem, dvs. trykke hul i modholdet. Overmålene er materialebestemt.

Rillemodhold

Denne centraludstøder er nok ikke den mest udbredte.

Det er væsentligt, at modholdets diameter er større end udstøderens, da den ellers ved blødere materialer vil have tendens til at træde igennem, dvs. trykke hul i modholdet.

Overmålene er materialebestemt. På tegningen er rillemodholdet stærkt overdrevet, da det ikke bør være dybere end 0,2-0,5 mm.

Kuglemodhold

Denne centraludstøder er ikke særligt udbredt.

Efter at indløbet er trukket med over i udkastersiden, skal centraludstøderen have hjælp fra almindelige udstødere til udstødning af fordelerkanal, dvs. der bør være to-trins-udstødning.

Kuglemodholdet anvendes især i forbindelse med bløde materialer.

Keglemodhold

Denne centraludstøder er ikke særligt udbredt.

Efter at indløbet er trukket med over i udkastersiden, skal centraludstøderen have hjælp fra almindelige udstødere til udstødning af fordelerkanal, dvs. der bør være to-trins-udstødning.

Det er væsentligt, at modholdets diameter er større end udstøderens, da den ellers ved blødere materialer vil have tendens til at træde igennem.

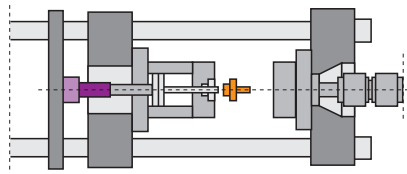
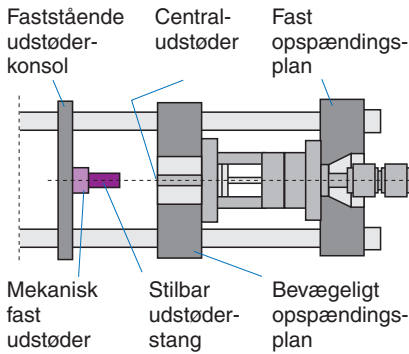
Overmålene er materialebestemt.

Udstøderkonstruktioner

Efter at emnet er støbt og blevet formstabil, skal det afformes (udstødes), dvs. emnet skal fjernes fra formhulrummet, som er konstrueret således, at emnet bliver siddende i udkastersiden.

Såfremt emnet ikke naturligt vil blive siddende i værktøjets udkasterside, må der fx tilføjes en mindre underskæring eller lignende til emnet.

Lukket form under støbning (A)

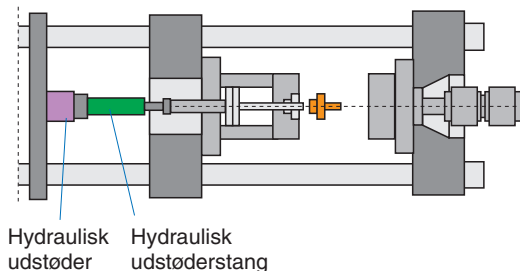
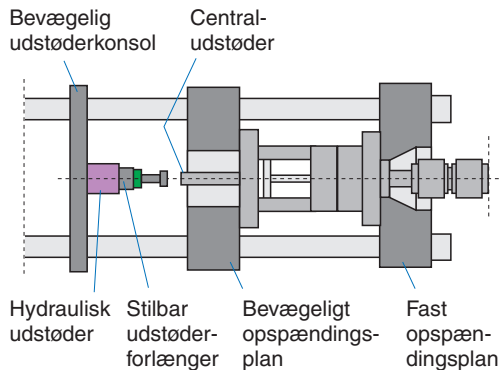


Efter støbning og under afformning (A)

Den mekaniske, faste udstøder påvirkes af værktøjets åbnebevægelse til udstødning af emnet gennem værktøjets centraludstøder.

Lukket form under støbning (B)

Den bevægelige udstøderkonsol følger maskinens åbnebevægelse.



Mekanisk udstødersystem (A)

Maskinens udstødersystem kan være et simpelt, mekanisk udstødersystem, der fortrinsvis anvendes på knæledsmaskiner (A), eller et hydraulisk udstødersystem (B).

Det mekaniske udstødersystem er med en faststående, stilbar udstøderstang, der alene ved maskinens åbnebevægelse påvirker værktøjets afformningssystem.

Systemet er udmærket til visse opgaver, men har mangler til mange og forskelligartede opgaver, idet den eneste regulering af udstøderhastigheden sker over maskinens åbnehastighed, hvilket for mange emner kan være en ublid behandling. Det kan da ofte være nødvendigt at forlænge køletiden for at opnå større afformningsstabilitet.

Hydraulisk udstødersystem (B)

Den hydrauliske udstøder er regulerbar både med hensyn til hastighed, tryk og udstødervej, men kan også stilles til at udstøde på ethvert sted på maskinens åbnevej. Den kan også indstilles til flere udstøderslag for at sikre, at emnet i kritiske situationer virkelig bliver afformet. Den hydrauliske udstøder er langt bedre end den mekaniske, faste udstøder.

Krav til udstøderkonstruktion

Værktøjets udstøderkonstruktion skal nøje afpasses til:

- Sprøjttestøbemaskinen
- Emnet
- Formål, dvs. fx driftsform fuldautomatisk

Ved fuldautomatisk produktion er det vigtigt, at afformning af emnerne sker problemfrit. Sprøjttestøbemaskinens udstødersystem er konstrueret ”idiotsikkert”, dvs. såfremt udstøderen ikke er kørt helt tilbage efter et udstøderslag, vil maskinen ikke kunne lukke. Det gælder dog ikke for den faste, mekaniske udstøder.

Ikke kun maskinens, men også værktøjets udstødermekanisme bør være konstrueret ”idiotsikkert”, hvilket betyder, at der til visse konstruktioner må forebygges mod havari ved fx at indbygge mikrokontakter på udstøderpladen for at sikre, at udstøderen står i den korrekte position, før en anden værktøjsfunktion igangsættes.

Fx er det i forbindelse med lukning af et sprøjttestøbeværktøj med kulissetræk over skråtappe vigtigt, at værktøjets og ikke kun maskinens udstødermekanisme melder, at den korrekte position er nået. Den indbyggede mikrokontakt på udstøderpladen skal fortælle, at udstøderen er tilbage, således at den hydrauliske kulisser kan lukkes. Samme funktion kunne opnås med sammenkobling af sprøjttestøbemaskinens og sprøjttestøbeværktøjets udstøder.

Efter støbning og under afformning (B)

Ved åbning af værktøjet vil den hydrauliske udstøder få et signal til at gå frem og udstøde emnet med en passende kraft og hastighed for nænsom afformning.

Udstøderareal og slipvinkler

Emnet er indtegnet med slipvinkler på alle æskens flader i udstøderretningen. Endvidere er formen vist med fire forskellige udstøderarrangementer, som giver ret store udstøderarealer.

● Med de gule pindudstødere vil det til små æsker være nok med én udstøder i hvert hjørne.

Til større æsker kan der suppleres med flere udstødere langs æskens sider og med de grønne stiftudstødere i æskens bund.

● Med de grønne udstødere indvendigt vil en udstøder i hvert hjørne være tilstrækkeligt til selv store æsker, men udluftning af æskens kerne mod vakuum er nødvendig.

■ Denne fladudstøder giver et godt, stort udstøderareal med en udstøder på to sider af æsken.

■ Med otte fladudstødere på æskens sider vil selv meget store æsker have tilstrækkeligt stort udstøderareal.

Med disse fladudstødere skal kernen udluftes mod vakuum.

Afformningsfunktion

Afformningselementerne stifter, rørudstødere, afriverringe og afriverplader skal overføre passende store, mekaniske kræfter til emnet, således at det kan stødes ud af formen.

Høje og længe virkende eftertryk vil naturligvis besværliggøre afformningen (emnet sidder hårdere fast i kaviteten), ligesom tynde emnevægge (godstykkelser), specielt ved brudfølsomme og bløde materialer, kan have vanskeligt ved at overføre de nødvendige totale afformningskræfter til hele emnet.

Udstødere må derfor fortrinsvis placeres på sådanne steder, hvor hjørner, sidevægge, ribber og lignende på den ene side besværliggør afformning og på den anden side gennem deres afstivende virkning kan lede afformningskræfterne ind i emnet. Udstødere skal i øvrigt placeres, således at deformationen af emnet under afformningen bliver mindst mulig.

Enhver udstøder efterlader et mærke på emnet, hvilket der må tages hensyn til, når udstødertype, antal, størrelse og placering bestemmes.

For at undgå finner omkring udstøderen skal der være god pasning mellem udstøder og føringshul (g6/H7), pasningen skal kun strække sig over 10-15 mm, resten af huldybden skal udbores med god frigang.

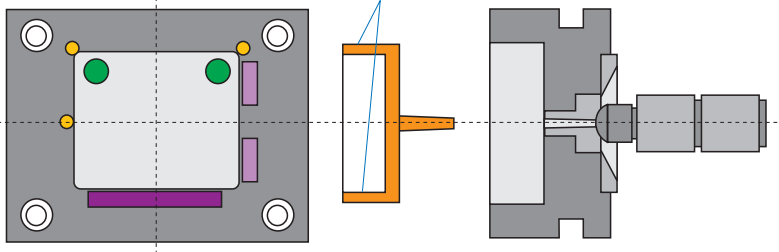
Formslip

Gennem vekselvirkning mellem formhulrumsudvidelse og den afkølede plastmasses svind kommer der relativt større fladekræfter mellem emne- og formvæg, hvilket betyder, at der optræder store gnidningskræfter (frikationskræfter), der skal overvindes ved afformning.

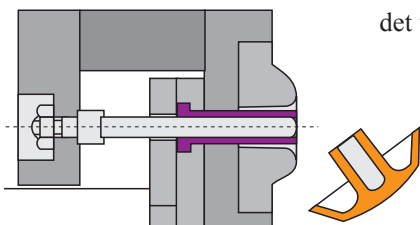
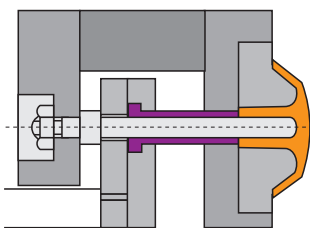
For at reducere disse kræfter skal alle flader, der ligger i afformningsretningen, forsynes med slipvinkler. Slipvinklen afhænger af plastmaterialestype samt kavitetens overfladebeskaffenhed. Vejledende for glatte overflader opgives slipvinkler på mellem 0,5 og 3°, og ved struktureret (fx gnistet)

overflade skal tillægges et ekstra slip på 1,5° pr. 0,02 mm ruhedsdybde.

Slipvinkler for glatte flader 0,5-3°



Almindelig rørudstøderkonstruktion



Stiftudstøder og fladudstøder

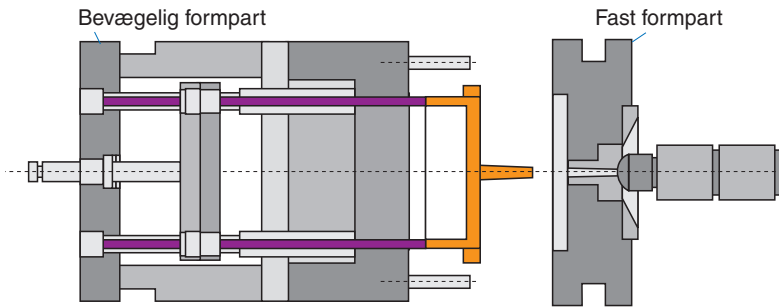
Såfremt almindelige stiftudstødere kan give tilstrækkeligt stort udstøderareal, er det den nemmeste og billigste form for udstøderarrangement.

Kantudstøderen er som en brudt afriverring. En afriverring er en relativt dyr løsning på et udstødersystem til et firkantet emne, hvorimod det er en relativt billig løsning til et rundt emne.

Afriverringen og kantudstøderen giver et forholdsvis stort udstøderareal, men må ofte suppleres med stiftudstødere til udluftning af kernen mod det vakuum, der opstår ved afformning.

Rørudstøder

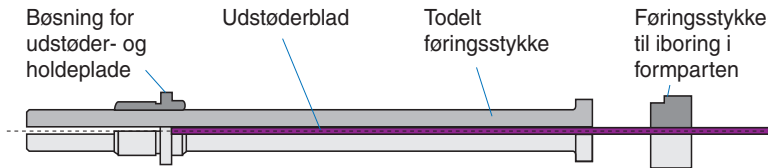
Rørudstøderen anvendes, især hvor der er dybe, rørlignende materialeansamlinger på emnet. Sådanne materialeansamlinger vil have tilbøjelighed til at brække af, såfremt der anvendes almindelige stiftudstødere på emnets kappeflade.



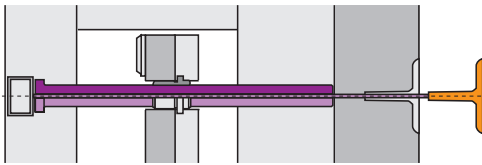
Formkonstruktion med special bladudstøder

Bladudstøder

Tynde bladudstødere kan sammenlignes med rørudstødere, idet materialeansamlingen er en dyb sprække i den bevægelige formpart. Såfremt udstødningen skulle foregå med runde pindudstødere, ville de blive meget tynde og dermed meget sårbare. Endvidere ville de ikke kunne give tilstrækkeligt stort udstøderareal som den tilsvarende bladudstøder.



Den specielle bladudstøders benævnelser



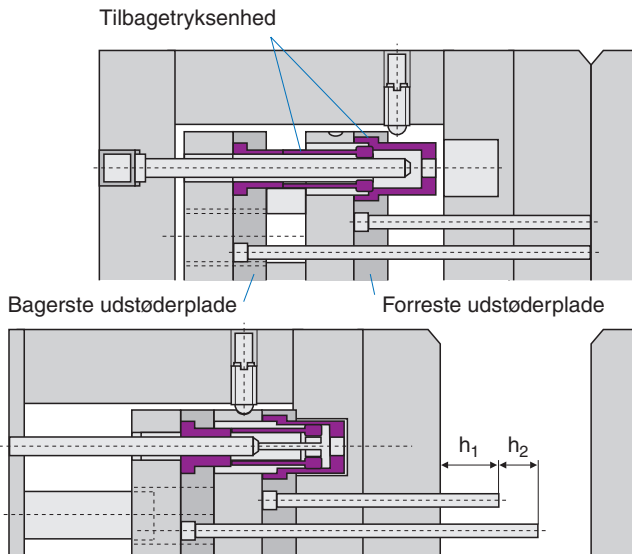
Bladudstøderens funktion

Udstøderbladet aktiveres af en bøsning, som er monteret i formens udstøder- og holdeplade.

Føringssegmenterne skal være monteret, således at udstøderbladet styres i hele dets længde for at undgå, at det knækker.

Ved anvendelse af den delte føring er det kun nødvendigt at udføre borearbejde ved montering af bladudstøderen.

To-trins-udstødning med tilbagetrykshenhed



To-trins-udstødning med tilbagetrykshenhed

Princippet i to-trins-udstødning med tilbagetrykshenhed vises på figuren til venstre.

Den øverste tegning viser værktøjet lukket, og der er afstand mellem de to holdudstøderplader. Ved aktivering af maskinens hydrauliske udstøder går først den bagerste udstøderplade frem - udstødningens første trin, hvorved indløbet afformes - hvorefter den skubber den forreste udstøderplade med videre fremad.

Når den bagerste udstøderplade er så langt fremme, at stiften i tilbagetrykshenheden slipper tilbagetrykshenheden, vil dens kæber blive klemt sammen, således at den kan fortsætte videre frem i bøsningen, idet den bagerste og den forreste udstøderplade følges ad til udstødningens andet trin, hvorved emnet afformes.

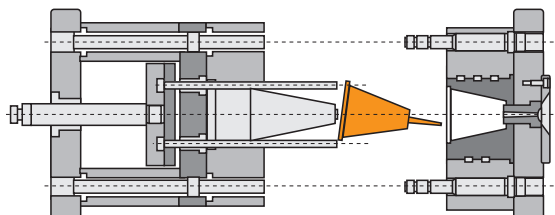
Lukning af værktøjet sker i modsat takt.

Værktøjsindbygningshøjder og forskellige udstødersystemer

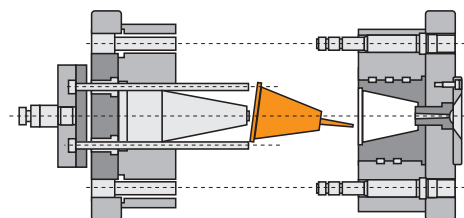
Ved konstruktion af et sprøjtøbeværktøjs udstødersystem til høje, kop-lignende emner er der nogle vigtige forhold at tage højde for:

- Maskinens minimale og maksimale indbygningshøjde
- Maskinens åbnevej og maksimale afstand mellem opspændingsplanerne
- Udstødersystemet og den nødvendige udstødervej

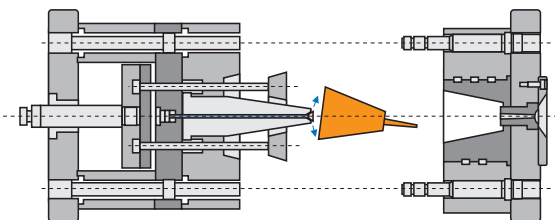
Udstødersystem med almindelige stiftudstødere og udstøderkasse



Udstødersystem med almindelige stiftudstødere og uden udstøderkasse



Udstødersystem med almindelige stiftudstødere og afkortet udstøderkasse



Udstødersystem med almindelige stiftudstødere og med udstøderkasse

Værktøjet er opbygget med en udstøderkasse til udstøder- og holdeplade ved hjælp af afstandslinæler. Denne konstruktion kræver en sprøjtøbemaskine med en stor indbygningshøjde, stor åbne- og lukkevej, samt en lang udstødervej, såfremt emnet er et højt bæger som her.

Denne værktøjskonstruktion kræver en større maskine, end emnet retteligt burde fremstilles i.

Udstødersystem med almindelige stiftudstødere og uden udstøderkasse

Værktøjskonstruktionen er ændret, ved at udstøderkassen er fjernet, således at udstødersystemet er placeret bag den bevægelige opspændingsplade.

Udstødersystemet må ved denne konstruktion kunne gå ind i det bevægelige formplans styrehul. Derved spares indbygningshøjde, hvorved maskinens åbne- og lukkevej på en fuldhydraulisk sprøjtøbemaskine automatisk bliver tilsvarende længere.

Værktøjet vil kunne indbygges i en noget mindre maskine end den maskine, som værktøjet med udstøderkassen kræver, altså en mere passende størrelse maskine i forhold til emnet (lukkekraftbehov).

Udstødersystem med afriverplade og afkortet udstøderkasse

Værktøjskonstruktionen er ændret, idet udstøderkassen igen er påbygget værktøjet, men ved denne

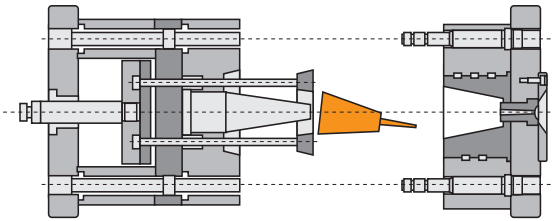
konstruktion er den kortet noget ned.

Udstødersystemet kan ved denne konstruktion ikke gå så langt frem, som emnet reelt kræver, hvorfor der til hjælp for afformning er indbygget en luftventil, som skal blæse emnet af kernen ved afformning. Herved spares udstødervej og indbygningshøjde, hvorved åbnevejen på en fuldhydraulisk sprøjtøbemaskine automatisk bliver tilsvarende længere.

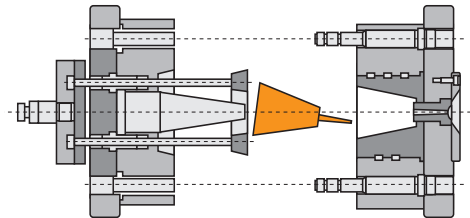
Værktøjet vil kunne indbygges i en noget mindre maskine end den, som værktøjet med hel udstøderkasse kræver, men maskinen skal være større end ved værktøjet uden udstøderkasse, men en passende størrelse maskine i forhold til emnet.

Udstødersystem med afrivering og med udstøderkasse

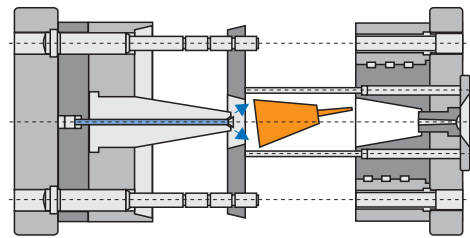
Dette system giver en effektiv trykflade på emnet, hvorved godstykkelsen kan minimeres, i forhold til hvis der anvendes stiftudstødere. Alt i alt kan det måske betyde materiale- og cyklusbesparelse.



Udstødersystem med afriverring og med udstøderkasse



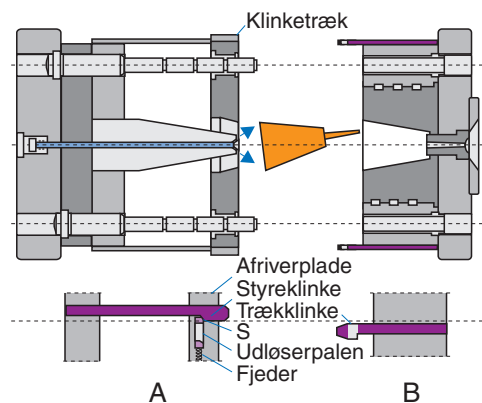
Udstødersystem med afriverring og uden udstøderkasse



Trepladeværktøj med fire trækstænger eller stopstænger

Funktionsbeskrivelse af klinketrækket

Klinketrækkets hus er monteret på afriverpladen. Trækklinken er monteret på den faste forpart. Styrelinken er monteret på den bevægelige forpart. Udløserpalen er monteret fjederbelastet i klinkehuset.



Værktøjet er opbygget med en udstøderkasse med afstandslinealer, hvor udstøder- og holdepladen er godt beskyttet mod støv og slag. For at få tilstrækkeligt lang udstødervej, må kassen være så høj, som bagerets udstødervej kræver.

Denne konstruktion kræver en sprøjtestøbemaskine med stor indbygningshøjde, lang åbnevej og lang udstødervej, såfremt emnet er et højt bæger som her.

Værktøjskonstruktionen kræver en større maskine, end emnet retteligt burde fremstilles i.

Udstødersystem med afriverring og uden udstøderkasse

Værktøjskonstruktionen er ændret, ved at udstøderkassen er fjernet, således at udstødersystemet er placeret bag det bevægelige opspændingsplade.

Udstødersystemet må ved denne konstruktion kunne gå ind i det bevægelige opspændingsplans styrehul. Derved spares indbygningshøjde, hvorved åbnevejen på fuldhydrauliske sprøjtestøbemaskiner automatisk bliver tilsvarende længere.

Værktøjet vil kunne indbygges i en noget mindre maskine end den maskine, som værktøjet med afriverring og med udstøderkasse kræver, altså en passende størrelse maskine i forhold til emnet.

Trepladeværktøj med fire trækstænger eller stopstænger

Når værktøjet åbnes, vil emnet, som sidder relativt fast på kernen, holde på afriverpladen, indtil trækstængerne når deres fulde udtrækningslængde, hvorefter emnet vil blive trukket af kernen, idet afriverpladen via trækstængerne vil blive stående sammenkoblet med den faste forpart. Maskinens åbnevej skal reguleres, således at afriverpladen ikke slipper styretappene i den bevægelige forpart, såfremt værktøjet ikke er konstrueret til det.

Værktøjskonstruktionen er uden udstøderkasse, idet emnet afformes via afriverpladen og trækstængerne. Som hjælp til afformningen er der påbygget en luftventil til støtteluft.

Støtteluften sørger for, at der ikke dannes vakuum under afformning. Ofte vælger man en kortere udstødervej og lader støtteluften sørge for den endelige afformning. Det er lettere at bygge værktøjet med støtteluft fra starten end at skulle lave det bagefter.

Værktøjet vil kunne indbygges i en noget mindre maskine end den maskine, værktøjet med afriverring og med udstøderkasse kræver, altså en passende størrelse maskine i forhold til emnet og lukkekraftbehovet.

Trepladeværktøj med klinketræk

Ved maskinens åbning af formen åbnes først formdelelinje A, indtil den skrå flade "S" på styrelinken



udløser palen, hvorved delelinje B frigøres. Emnet er afformet, og maskinen kan fortsætte med den videre åbnebevægelse.

Det, at åbnebevægelsen kan fortsætte, betyder, at afstanden mellem afriverpladen og den faste formpart kan tilpasses en bedre frihøjde for emnet end værktøjskonstruktionen ”Trepladeværktøj med fire trækstænger eller stopstænger”, der for så vidt er låst af trækstængernes længde.

Afriverpladens bevægelse afpasses til ønsket åbnevej ved regulering af længden af styreklinken.

Værktøjskonstruktionen er uden udstøderkasse, idet emnet afformes via afriverpladen og klinketrækket. Som hjælp til afformningen er der påbygget en luftventil til støtteluft.

Formen vil kunne indbygges i en noget mindre maskine end den maskine, som værktøjet med afrivering og med udstøderkasse kræver, altså en passende størrelse maskine i forhold til emnet og lukkekraftbehovet.

Temperaturregulering

For at kunne fremstille et sprøjtøbt emne i et termoplastisk materiale må plastråmaterialet først smeltes. Smelten ledes ind i formhulrummet under tryk, hvor det afkøles, indtil emnet bliver formstabilt inden afformning.

Formen tempereres til en temperatur, der er lavere end materialets varmeformbestandighedstemperatur, eller lavest muligt set ud fra en økonomisk betragtning.

Selve processen består i at:

- Plastmaterialet tilføres varme (plastificering)
- Under indvirkning af tryk indsprøjtes den viskose masse i formhulrummet, hvor materialet får den ønskede facon
- I løbet af en bestemt tid (køletiden) skal der igen fjernes så megen varme fra det støbte emne, at det kan afformes uden at deformeres (varmeformbestandighedstemperaturen)

Disse tre punkter gennemløbes i en bestemt tidscyklus under fremstillingsprocessen, der forløber fuldautomatisk. Det fremgår altså heraf, at form og maskine i fremstillingsprocessen er én enhed, og enhver variation i formens temperatur (køletiden) vil påvirke fremstillingsforholdene, lige såvel som variationer i sprøjtecyklinders temperatur vil påvirke fremstillingsforholdene.

Strukturen i emnets yderste, størknede lag afhænger af formens starttemperatur, mens dens gennemsnitlige temperatur ingen indflydelse har.

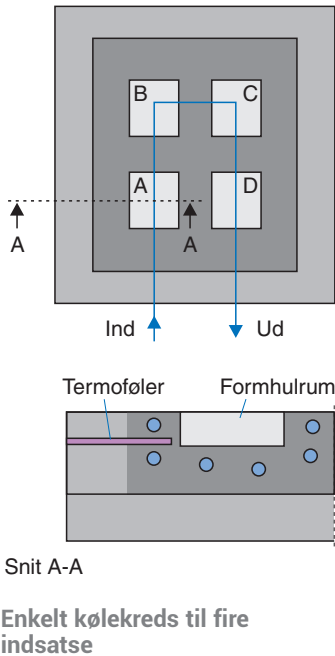
Delkrystallinske materialer vil fx få en udpræget amorf struktur i emneoverfladen ved voldsom og hurtig afkøling (lav form-starttemperatur).

Ved langsom afkøling (høj form-starttemperatur) vil strukturen hovedsageligt blive krystallitisk. Krystallitdannelse kræver høj formtemperatur.

Under alle omstændigheder er det af stor betydning, at en konstant formtemperatur opretholdes for at holde en ensartet overfladestruktur på de støbte emner.

Ved fastlæggelse af form-starttemperaturen skal der ud over overfladestrukturen tages hensyn til eventuelle støbefejl. For lav formtemperatur kan bl.a. resultere i lagdeling og sammenflydningsømme. For høj formtemperatur kan bl.a. resultere i sugninger og blærer.

Det er vigtigt at fastlægge den rigtige form-starttemperatur, men det er lige så vigtigt at holde denne temperatur under hele procesforløbet og under hele produktionen.

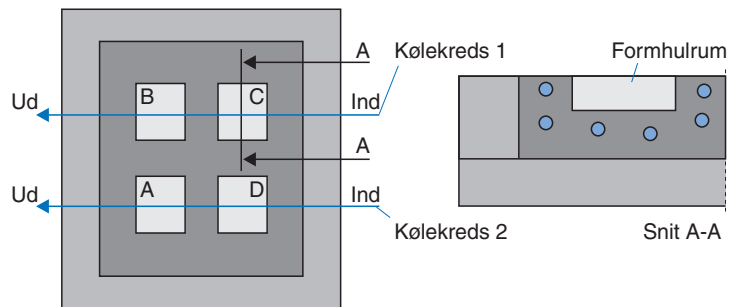


Figuren til venstre viser en fire-styks-form, hvor kølevandet cirkulerer gennem indsatsene med tilgang i A og afgang fra D. For at holde samme temperatur i indsats D skal kølevandet have samme temperatur, som når det strømmer ind i A. Kølemidlet har imidlertid allerede optaget varme fra A, B og C, inden det ankommer til D. Det vil derfor ikke være muligt at holde samme temperatur i alle de fire indsatsse.

En mulighed for at opnå mindre temperaturforskelle er hurtigere cirkulation af kølevandet.

En anden mulighed for at mindske temperaturforskellen mellem de fire indsatsse kunne være at opdele formen i to sæt separate kølekredse. Cirkulationen af kølemidlet sker således separat fra indsats D til A og separat fra C til B.

To sæt separate kølekredse til fire indsatsse



Formtemperaturens indvirkning på emnet

Svind

Jo højere formtemperaturen holdes, des større vil formsvindet på emnet blive, idet der ses bort fra eftersvindet, som tilsvarende bliver mindre. Skal svindet afpasses til emnet, må det vælges, hvilket svind der giver de mindste ulemper, idet det ofte vil være et kompromis.

Holdes der lav formtemperatur, vil materialets flydeevne blive tilsvarende begrænset.

Kast

Oftentimes ligger årsagen til kast og vridning i emnet alene i ujævn formtemperatur. Det er de stærkest afkølede emneområder, der vil have mindst formsvind ved afformning, hvorimod emnets varmere områder vil fortsætte med at svinde efter afformning. Derved får emnet spændinger, der kan udløses i kast og vridning i det færdigstøbte emne.

Overfladeglans

For at opnå flot overfladeglans på det færdigstøbte emne skal formtemperaturen holdes høj.

Fremstillingstid

Den normale opfattelse er, at lav formtemperatur giver den korteste cyklostid, idet emnet størkner hurtigere, hvorved det tidligere kan afformes. Det er normalt gældende for en lang række materialer, lige bortset fra delkrystallinske materialer, der ved dannelse af krystalitter ved høj formtemperatur lader sig afforme tidligere end ved lav formtemperatur, hvor materialet bibeholder dets amorfe struktur.

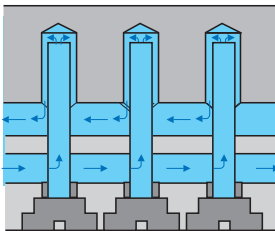
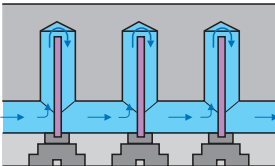
Tapindløbet kan ofte være dimensioneret således, at det ikke køles i samme takt som emnet, hvorfor der eventuelt laves en separat kølekreds netop omkring tapindløbet.

Størkning af indløbspunktet

Når indløbspunktet størkner, kan der ikke efterfyldes mere materiale til emnet. Formtemperaturen har naturligvis indvirkning på indløbspunktets størkningstid, hvorfor det er vigtigt at holde den korrekte formtemperatur, men også at holde en konstant formtemperatur omkring indløbspunktet.

For at holde en konstant formtemperering for at opnå ideelle tolerancer samt bedste emnekvælitet vil et godt og effektivt tempereringsudstyr være nødvendigt. Men et ideelt tempereringsudstyr kan ikke rette op på forkert borede eller forkert anbragte kølekanaler, hvorfor det ved formkonstruktionen er yderst vigtigt at tage hensyn til dette.

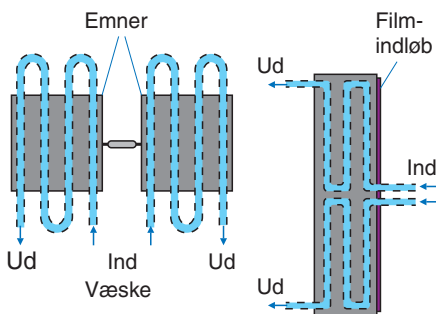
Gennemgående labyrintkøling



Kølesystemer

Det kan ofte af pladshensyn være meget vanskeligt at få anbragt formkølingen korrekt, idet der skal tages hensyn til mange andre forhold ved værktøjskonstruktionen, bl.a. at udstødersystemet (udstøderne) anbringes mest hensigtsmæssigt, ligesom det forhold at emnets godstykkelse bør være ens på hele emnet.

Forskellige eksempler på formkøling



To forskellige værktøjer, der hver har to separate kølekredse

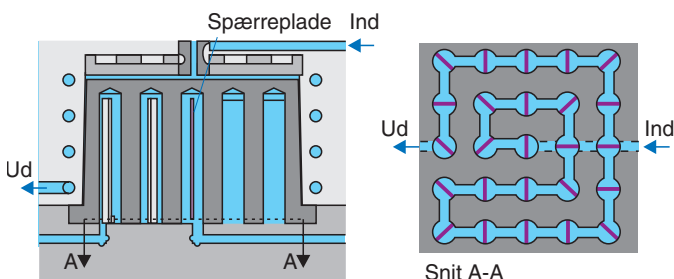
- Værktøjet er et to-styks-værktøj, hvor hvert emne har sin egen separate kølekreds.
- Værktøjet er med filmindløb, hvor kølingen ligeledes er opdelt i to separate kølekredse.

Bemærk, at begge kølesystemer er forsynet med to indgange og to udgange, naturligvis i begge formparter.

Formkøling

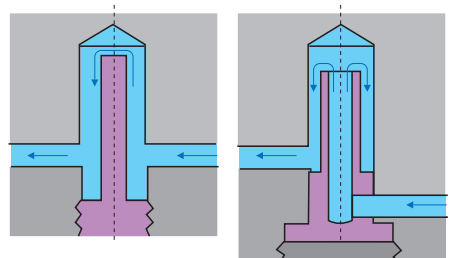
Det her viste eksempel på formkøling har en separat kølekreds mellem kernekøling og den udvendige formkøling.

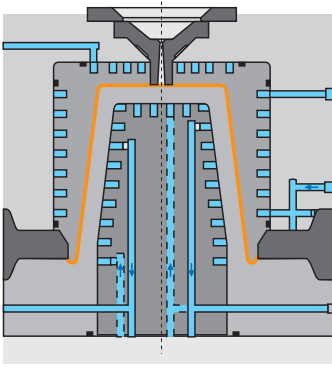
Kernekølingen foregår ligesom i en labyrint, hvor kølemidlet via fingerkølinger med blændplader ledes fra det ene køletårn til det næste og fra indgang til udgang.



To eksempler på fingerkøling

- Skilleplader er sat op i de borede kølehuller, hvor kølemidlet bliver ledet op på den ene side af skillepladen og ned på den anden side og fortsætter så videre til næste køletårn.
- Skillepladerne er erstattet med et rør, hvor kølemidlet bliver ledet indvendigt i røret og videre udvendigt på røret.





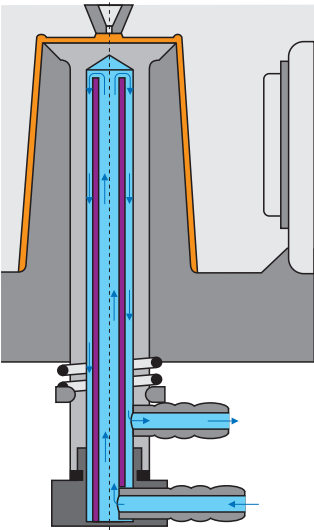
En effektiv og meget grundigt konstrueret formkøling

Formen er fremstillet med en køleindsats til kernekølingen og med to separate kølesystemer.

Bunden af bægeret, der får tilført megen varme fra det direkte indsprøjtede, meget varme materiale, er forsynet med sit eget separate køleafsnit for at give netop denne del af formen en effektiv og god køling.

Resten af kernen forsynes ligeledes adskilt fra den øvrige køling gennem sit separate kølesystem.

Den udvendige køling er ligeledes opdelt i to separate kølesystemer; et til bunden af bægeret som den varme del af formen, og et til bægerets udvendige del.



Ventiludstøder med fingerkøling

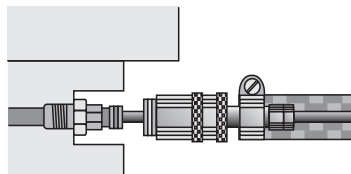
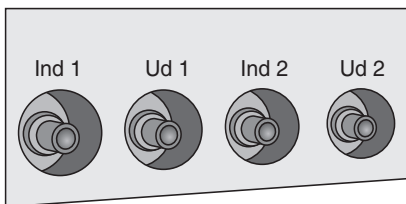
Denne mere komplicerede køling må ofte anvendes, når emnet skal udstødes med ventiludstøder.

Ventiludstøderen er den stærkest opvarmede del af formen, idet den er placeret lige over for indsprøjtningsstedet.

Ventiludstøderen skal naturligvis have en forholdsvis kold overflade, da en meget varm ventiludstøder ville påvirke udstødningen til længere køletid for ikke at deformere emnet ved ellers blot at trænge igennem bægerets bund.

Ventiludstøderen er ofte forsynet med udvendige luftkanaler til hjælp ved afformningen.

Almindelige standardslangestutse, der er undersænket i formsiden



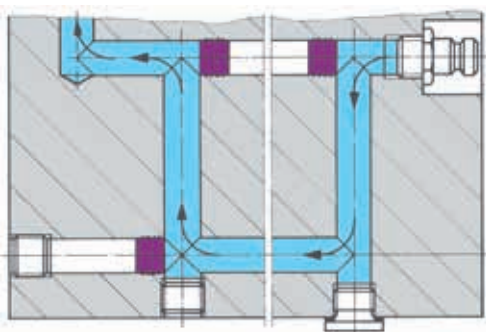
Kølemedietslutning

For at minimere risikoen for at få køletilslutningerne beskadiget kan de forsænkes i værktøjet.

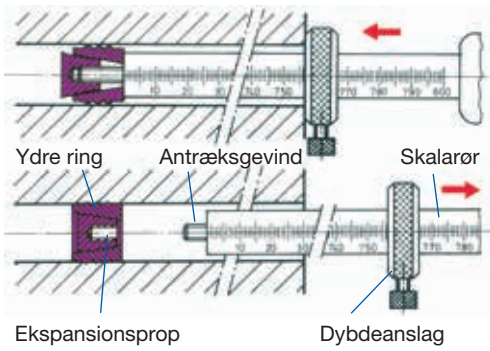
Brudte eller afblændede kølekanaler

Hvis kølekanalerne skal afblændes et stykke inde i selve kølekanalen, indsættes specielle lukkepropper i kølekanalen.

Til montering af disse specielle lukkepropper findes der et specialværktøj, som også hjælper til med at få den korrekte placering i kølekanalen.



Indsatte lukkepropper til afblænding af kølekanaler



Specialværktøj til indsætning af lukkepropper

Lukkeproppen, der består af to elementer, den ydre ring og ekspansionsproppen, indsættes i kølekanalen ved hjælp af skalarøret, der er forsynet med et dybdeanslag.

Efter placeringen trækker antræksgevindet ekspansionsproppen ind i den ydre ring, hvorved den ekspanderer og udfylder kølekanalen.

Tætning af køleindsatse

Nye værktøjer, der ankommer direkte fra værktøjsmageren, eller værktøjer, der har været adskilt, viser sig ofte at være utæt for kølevand. Det viser sig som oftest først, når værktøjet sidder i maskinen, hvorefter det må afmonteres og repareres, inden produktionen igen kan fortsættes.

Der er flere ting, der kan gøres for helt at forhindre så-danne kedelige og dyre produktionsstop:

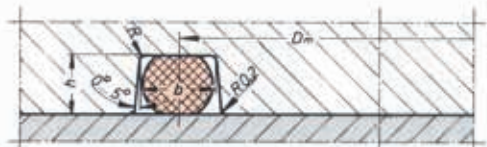
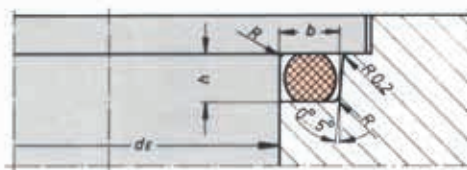
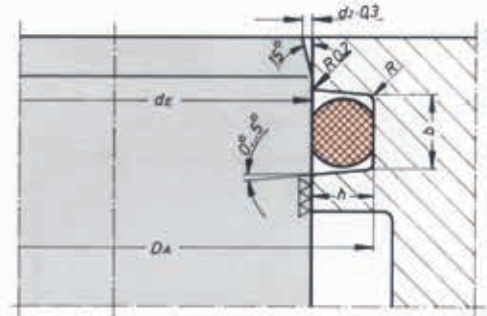
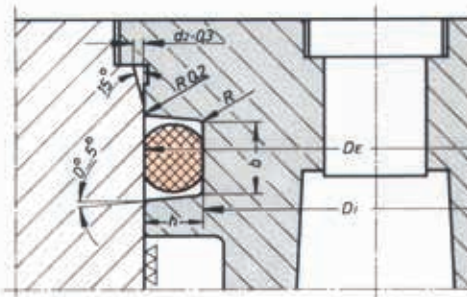
- Trykprøvning af værktøjet inden opstilling
- Montering af korrekte størrelser O-ringe
- Tjek af, om O-ringstiller er korrekt udført

Det vil i øvrigt være en god ide at anskaffe et O-rings-katalog og en monteringsvejledning, hvor de nødvendige mål er fyldestgørende.

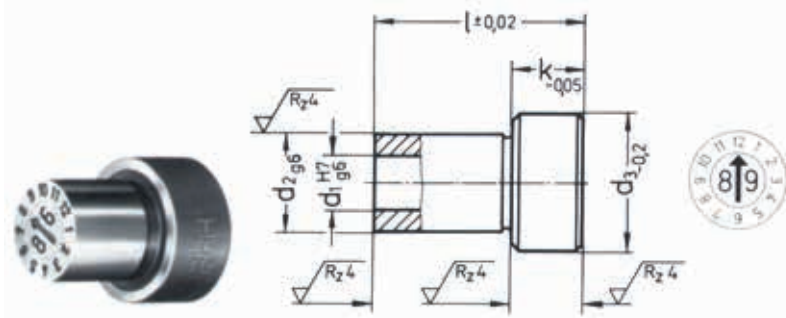
Når disse forhold er i orden, undgås tillige den ofte sete fejl, at en O-ring bliver beskadiget under monteringsarbejdet.

Forskellige tætningseksempler med O-ringe

De her viste eksempler er uden mål.



Eksempel på en indsats, hvor den indvendige kerne er drejbar for at vise den enkelte produktionsmåned. Den indvendige kerne skiftes efter årstal.



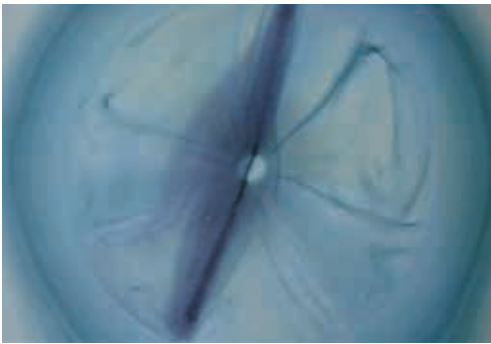
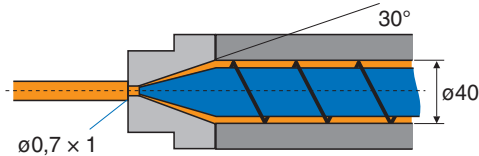
Datomærkning

Det er ofte vigtigt for sprøjtstøberen at kunne bestemme, hvornår et bestemt emne er fremstillet - fx i forbindelse med overgang fra én type materiale til en anden, eller i forbindelse med en reklamation på en tidligere fremstillet vare.

Til dette datomærkningsformål findes der forskellige færdigfremstillede indsats til indbygning i værktøjet.

Transporten af materialet sker fra en $\varnothing 40$ mm cylinder ud gennem et hul på $0,7 \times 1$ mm og ud til en cylinder på $\varnothing 4$ mm. For at denne passage er mulig, må molekylerne strækkes for umiddelbart efter passagen igen at trække sig sammen.

Man siger, at plastmaterialer på grund af kædemolekylerne og disses egenskaber har en for-bav-sende evne til at "huske" de tidligere stadier af processen.



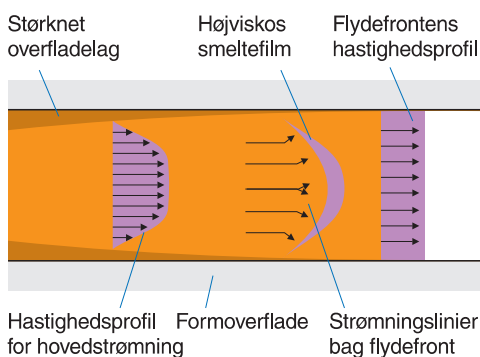
Sprøjtetøbt emne fremstillet under farveskift fra grøn til koksgrå

Emnet viser lidt om den måde, sprøjtetøbe-maskinen plastificerer plastmaterialet på, idet der på emnet faktisk er et aftryk af snekken.

Laminar

om væskes bevægelse, når væskepartiklerne bevæger sig i tynde lag, der glider forbi hinanden uden at blandes og uden at danne hvirvler (modsat turbulent).

Flydning af plastsmelte



Materialer

Dette afsnit omhandler plastmaterialernes proces tekniske forhold i forbindelse med sprøjtetøbe-processen og er alene baseret på denne proces.

Der vil blive set på materialehåndtering før, under og efter forarbejdningen på sprøjtetøbe-maskinen samt farvestoffers og additivs indflydelse på processen og til det færdige emne. Derimod vil den grundlæggende materiale teori ikke være at finde her, da den er beskrevet i bogens indledende kapitler.

Formgivning

Formgivning ved sprøjtetøbning medfører en ofte lang transport af materialet fra materialetragten og til det yderste sted i værktøjet. Den forudgående opvarmning og plastificering giver materialet den rette konsistens og muliggør den ønskede transport.

Plastificeringen ved sprøjtetøbning sker som i en ekstruder. Forskellen er blot, at ved ekstrudering står snekken stille, og ved sprøjtetøbning arbejder snekken sig baglæns gennem plastmaterialet, hvorved det smeltede materiale transporteres frem og lejrer sig foran snekkespidsen inden indsprøjtning i værktøjet.

Molekylerne i plastmaterialer kan betragtes som fibre med meget små fysiske dimensioner, som under formgivning glider mod hinanden.

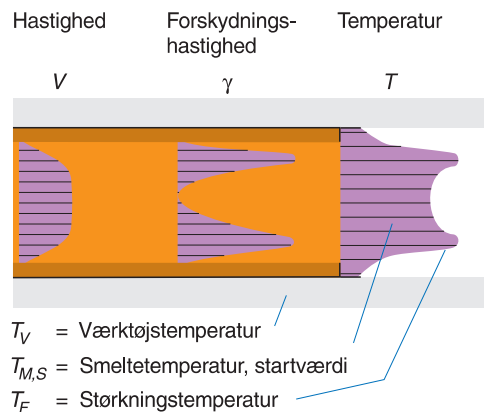
Ved sprøjtetøbning presses plastmaterialet gennem et lille dysehul, når det sprøjtes ind i værktøjet. For at passagen gennem dysehullet er mulig, må molekylerne strækkes for umiddelbart efter passagen igen at trække sig sammen.

Når man som her eller på anden vis flytter rundt på molekylerne, tilføres de en vis orientering. En sådan orientering kan ikke umiddelbart fjernes, så molekylerne igen ligger i en tilfældig struktur.

I en kanal med cirkulært tværsnit vil smelten flyde med en "kvældende laminar strømning", hvor hastigheden er lavest ved kanalens vægge og størst i midten.

Den laminare strømning vil fremkomme ikke alene i fordelerkanal og indløb, men også i selve værktøjskaviteten.

Den resulterende profil for hastighed, forskydnings-hastighed og temperatur ved flydning af plastsmelte





Smelten omslutes i flyderetningen af en tynd film, der er koldere end smelten. Denne film gendannes igen og igen af den smelte, der strømmer frem i midten, og som derved presser smeltefilmen ud mod den kolde formvæg, hvor den omgående størkner.

Denne størknede film eller fastfrosne lag vil under det uafbrudt fremstrømmende materiale stadig vokse i tykkelse som en funktion af materialets varmeafgivelse til den kølende formoverflade.

På grund af smeltefrontens form vil molekylerne i den størknede film være biaksialt orienteret. Laget lige under filmen orienteres stærkt i flyderetningen, men molekylerne kan i en vis udstrækning relaxere (afspændes) som følge af den noget langsommere afkøling.

I midten af tværsnittet er afkølingen så langsom, at molekylerne har tid til at relaxere fuldstændigt (se afsnittet ”Den viskose sjæl”).

Molekyleorienteringen i det støbte emne bestemmes især af to forhold, dels den kraft, der driver orienteringen frem, og som minimeres ved at bruge den indsprøjtningshastighed, der giver det mindste trykfald, henholdsvis den minimale trykgradient (trykforskel), dels af de orienterende molekylers muligheder for at relaxere ved en temperatur, som tillader deres frie bevægelighed. Hurtig afkøling vil derfor, alt andet lige, medføre højere orienteringsgrad.

Molekyleorientering kan have en positiv virkning, såfremt der ved emnekonstruktionen tages hensyn til belastningens retning i forhold til materialets orienteringsretning.

Orienteringens negative virkning på fx svind og kast kan kun vurderes, hvis den sammenholdes med tryk- og temperaturfordelingens indflydelse (et skøn af denne indflydelse kan opnås med computerberegninger).

Svind eller volumenformindskelse

Efter at formkaviteten er fyldt, fortsættes afkølingen med det resultat, at materialets specifikke volumen falder. Der bliver med andre ord plads til mere materiale.

Så længe forsyningsvejene tillader det, kan emnets varme indre efterfyldes med mere materiale som kompensation for størkningssvindet i takt med, at afkølingen skrider frem.

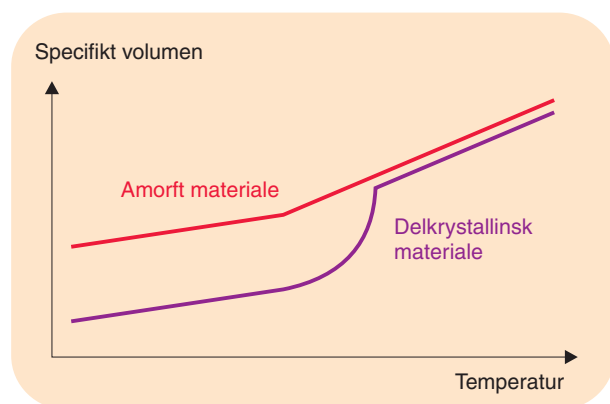
Ved delkrystallinske materialer vil krystallitdannelsen, der er en pakning af molekylerne, kræve ekstra tid. En hurtig afkøling vil medføre, at der dannes færre krystallitter, og dermed også amorfe områder, som kan efterkrystallisere. Dette kaldes eftersvind.

Ved delkrystallinske plastmaterialer overlejres dette med den sammentrækning, krystallitdannelsen medfører. Derfor svinder disse materialer mere og anderledes end de amorfe materialer.

I det temperaturområde, hvori krystallitdannelsen foregår, sker naturligvis også den store volumenændring, og netop ved denne temperatur er efterfyldning af emnet ikke mulig.

Volumenformindskelsen er altid mindre ved de amorfe materialer end ved de delkrystallinske materialer.

Forarbejdningssvindet er volumenformindskelsen eller emnets lineære målændring forårsaget af afkøling fra forarbejdningstemperatur til stuetemperatur.



Definitioner af svind

Størkningssvind	Den volumenændring, som plastmaterialet undergår fra forarbejdningstemperatur til størkningstemperatur.
Eftersvind	Det færdigstøbte emnes svind fra størkningstemperatur til 24 timer efter støbningen.
Totalsvind	Størkningssvind og eftersvind sammenlagt.
Lagringssvind	Det foreskrives normalt, at opmålingskontrol af de støbte emner først foretages 24 timer efter afformning. Det skyldes det faktum, at plasten ved opvarmning har udvidet sig 15-20 procent og skrumper først hurtigt, derefter langsommere, for omtrent at være i ligevægt 24 timer efter støbningen.
Svindprocent	Den procentuelle afvigelse fra formmål til emnemål ved 23 °C.

Ved den viskose sjæl forstås den flydende plast, som under støbning er omgivet af en mere eller mindre størknet skal af afkølet plast.

Den viskose sjæl

Ved sprøjtstøbning af plast i et formhulrum vil der i modsætning til ved andre forarbejdningsmetoder dannes en flydende kerne kaldet den viskose sjæl, hvorigennem smelten under tryk flyder videre ud mod enden af skallen, hvor den flydende plast lægger sig ud mod den kolde værktøjsvæg og kontinuerligt omdannes til skal. Samtidigt bliver den viskose sjæl kontinuerligt længere, indtil formhulrummet er fyldt.

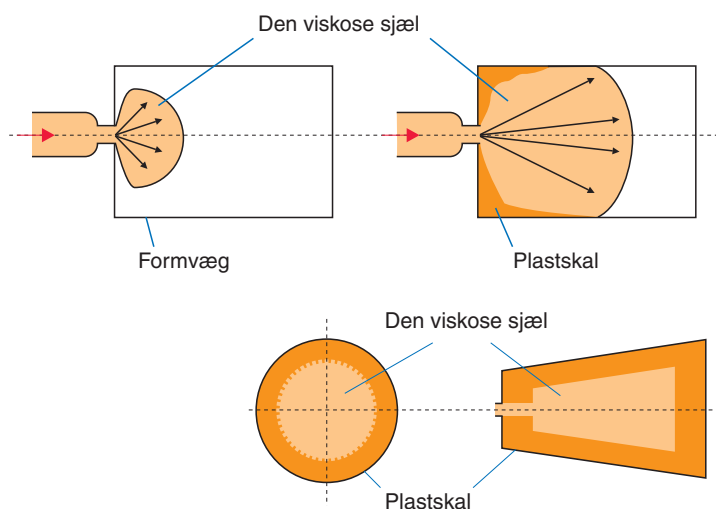
Dannelsen af den viskose sjæl og skallen er et ufravigeligt princip og gælder ved sprøjtstøbning af alle termoplastiske materialer, såfremt formtemperaturen er mindre end smeltens temperatur.

Princippet som sådan kan ikke påvirkes, selv om den viskose sjæls størrelse og den mere eller mindre hurtige dannelse af skallen er påvirkelige på forskellige måder.

Den måde, den viskose sjæl og skallen dannes på, har stor indflydelse på skrumpningen, dannelse af spændinger og kastning (vridning af emnet).

For at kunne forstå disse fænomener må vi således forstå den viskose sjæls opståen og betydning.

Den viskose sjæl



Ens skaltykkelse i ethvert tværsnit

Den viskose sjæl har stort set en efter tværsnittet i formhulrummet tilpasset og tilsvarende facon.

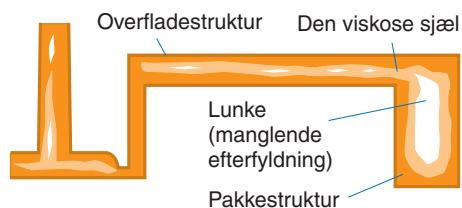
Afkølingen vil bevirke, at skaltykkelsen på ethvert tidspunkt er ens i et formhulrums tværsnit, såfremt formtemperaturen er ens på de vægge, der danner formhulrummets tværsnit.

Dannelse af den viskose sjæl

Når plastsmelten presses ind i et formhulrum, vil den straks efter at have forladt indløbsporten ekspandere ud mod værktøjsvæggene, hvor der ved afkøling dannes en stillestående skal, hvorefter den efterfølgende flydende plast bliver til den viskose sjæl, der bevæger sig i den rørformede skal.

Ved skaldannelsen bliver den flydende plastics tværsnit reduceret til den viskose sjæl, hvorved den viskose sjæl på grund af øget skaltykkelse taber i tværsnit og derved taber varme, hvorved den viskose sjæl flyder mere og mere trægt, hvad der til sidst bevirker, at den indefryser.

I sprøjtestøbt emne med forskellige godstykkelser dannes lunker ved manglende efterfyldning.



Indefrysning af den viskose sjæl

Den viskose sjæl indefryser hurtigt, hvor godstykkelsen på emnet er mindst. På figuren til venstre ses et emne med en stor forskel på godstykkelserne.

Godstykkelserne befinder sig således, at den næststørste og den største godstykkelse skal fyldes gennem emnets mindste godstykkelse, hvilket bevirker, at den viskose sjæl længst fra indløbet indefryser og derfor ikke kan efterfyldes.

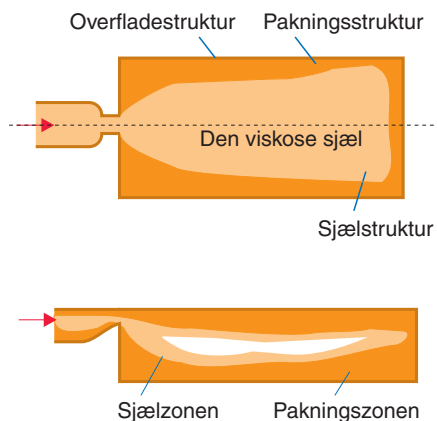
Manglende efterfyldning bevirker, at emnet får indstøbte hulrum, de såkaldte "lunker". Lunker er lufttomme hulrum inde midt i emnet, som giver kærsvirkning og spændingsdannelser.

De tre arter af struktur i det sprøjtestøbte emne

Et færdigstøbt emne vil normalt indeholde tre zoner med hver sin struktur:

- **Overfladestruktur:**
Overfladen (overfladestrukturen) er emnets yderste lag (ca. 0,1 mm), som mere eller mindre direkte har været i berøring med formvæggen.
- **Pakningsstruktur:**
Pakningszonen eller udlægningszonen omfatter det materiale, som under støbningen er blevet præget af udlægningen af molekylerne og pakningen. Strukturen i denne zone kaldes pakningsstrukturen.
- **Sjælstruktur:**
Sjælzonen består af den indefrosne viskose sjæl og danner sjælstrukturen.

Overfladestrukturen er ca. 0,1 mm tyk.



Indefrysning af den viskose sjæl

De enkelte zoners størrelse kan være forskellig og betinget af:

- Støbeprocessforhold
- Godstykkelse
- Emnets facon

Overfladestruktur

Selv om strukturen i flyderetningen ikke skulle være krysallinsk, men amorf, vil plasten hurtigt ved mødet med den kolde værktøjsoverflade forandre volumen. Det vil sige, at den vil opnå en hurtig volumenændring, der vil betyde, at der opnås en høj pakning af materialet.

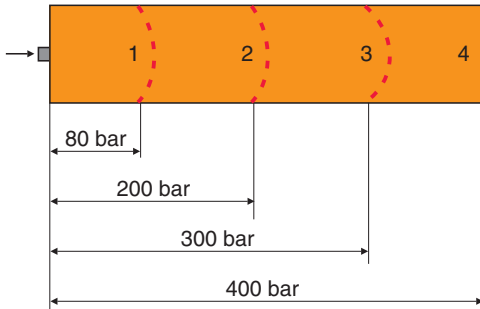
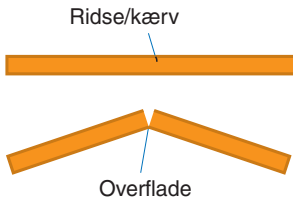
De molekyler, der danner det efterfølgende lag oven på det første, vil på grund af plastens varmeisolerende egenskaber ikke blive kølet så hurtigt ned som det første lag, og skrumpningen vil under fyldningen være mindre, men bliver større, efter at emnet er kølet ned til stuetemperatur.

Således dannes der et lag af materiale yderst på emnets overflade. Tykkelsen varierer noget med materialetypen og de anvendte støbeforhold, men vil i de fleste tilfælde ikke være større end 0,1 mm.

Dette lag benævnes som overfladestrukturen, hvis struktur er ens på hele emnets overflade. Strukturen udmærker sig ved at have en stor pakning og ringe skrumpning.

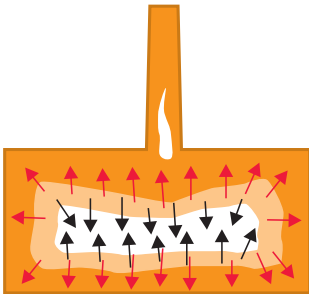


Overfladestrukturen danner bindeled ved brud



Pakningstryk

Når "Er-værdien" for fyldetrykket ved formfyldningen udgør 400 bar, vil fylde- eller pakningstrykket ved fyldestadie 1 være differencen mellem de to fyldningsstadier.



Sjælstrukturen kan danne vakuumlunker

Overfladestrukturens eksistens kan bekræftes, ved at man tager et støbt emne, ridser overfladen på den ene side og bøjer emnet, således at det knækker langs med ridsen. De to emnedele vil modsat ridsen stadig hænge sammen med en ganske tynd "hud" som bindeled (hængsel). Dette bindeled er det yderste overfladelag, som ikke er knækket, men blot er bøjet.

Såfremt man i stedet for et sprøjtestøbt emne tager et ekstruderet emne og laver samme eksperiment, vil emnet brække helt over, idet "huden" mangler, hvilket er helt i overensstemmelse med forarbejdningsmetoden, idet der ved ekstrudering ikke dannes et særskilt overfladelag.

Pakningsstruktur

Pakningsstrukturen er opnået ved fyldningen samt efterfyldningen af emnet ved hjælp af henholdsvis indsprøjtningstrykket og eftertrykket.

Pakningen af molekylerne er størst ved indløbspunktet og mindst i modsatte ende af indløbet.

Det kan konstateres, at med stigende flydelængde aftager pakningstrykket. Et aftagende pakningstryk betyder et større svind.

Sjælstruktur

Sjælstrukturen opstår ved indefrysning af den viskose sjæl. Dette sker normalt først, efter at formhulrummet er fyldt.

Den isolerede, viskose sjæl (efter frysning af indløbet eller tilgangsvejene) har et udlignet tryk i alle retninger afhængigt af temperaturen i den flydende plast. Trykket i den viskose sjæl svarer til det pakningstryk, som er nødvendigt ud over fyldetrykket, der netop udfylder formhulrummet.

Ved indefrysning af sjælen opstår der stor skrumpning, dels på grund af det relativt lille pakningstryk, der hviler på sjælmassen, og dels på grund af den høje temperatur. Da efterfyldning er umuliggjort med det lukkede indløb, vil denne store skrumpning bevirke, at sjælen trækker sig bort fra formhulrummets midte, og der dannes vakuumlunker. Disse vakuumlunker kan medføre sugninger eller indfaldssteder på emnets overflade på grund af forskellen mellem det udvendige, atmosfæriske tryk og det indvendige vakuumtryk.

Struktur og svind

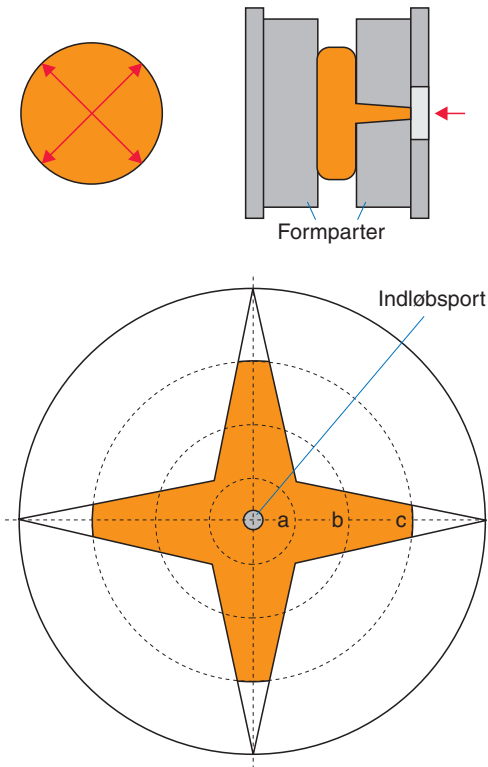
Den ret så forskelligartede struktur i emnet bevirker også meget forskellig svind i de forskellige zoner:

- Overfladestrukturen har næsten intet svind, og svindet er tilnærmelsesvis ens i hele emnets overflade.
- Pakningsstrukturen har en i flyderetningen aftagende pakning (tryk) med et tiltagende svind til følge.
- Sjælstrukturen har ringe pakning og derfor særdeles stort svind, der er størst, hvor sjælen er størst.

Denne viden har stor betydning for forståelsen af emnernes skrumpning (svind) og spændinger.



Plastskive, der viser radial formfyldning



Formfyldning med stjernerfacon

Plastsmeltens ekspansion under støbning

Støbes plast fra en dyse med lav hastighed ud i det fri, kan det konstateres, at plasten ekspanderer til kugleform. Denne kugle vil dog på grund af egenvægten og med tiltagende størrelse antage dråbeform.

Dermed erkendes, at plastens evne til at ekspandere tilsyneladende er ens i alle retninger.

I et lukket værktøj kan plasten normalt ikke ekspandere frit, idet formhulrummet normalt ikke er kugleformet.

Den radiale udvidelse kan dog iagttages i rummet mellem to parallelle formplader.

På grundlag af forsøg med tilsvarende forme er det konstateret, at plasten har en evne til at ekspandere radially ud fra indløbsstedet mellem de to værktøjsparter.

Ekspansionslængden målt fra centrum ud mod "plastkagens" kant er opmålt og er konstant samme mål.

En ikke fuldstøbt skive, som er fremstillet i henhold til ovenstående, skulle således være cirkelrund. I praksis må der dog regnes med små afvigelser, som skyldes forskel i formtemperatur eller uensartet plastificeret smelte.

Hvis skiven får stjernerfacon, og stjernens takker ikke er helt udfyldt med plast, vil der fremkomme rundinger dertil, hvor takkerne er udfyldt, svarende til den radius, der danner det ikke-fuldstøbte emne.

Plastsmeltens ekspansion i formhulrum

Det er muligt at opstille regler for ekspansion af plastsmelten i formhulrum med konstant spaltehøjde og ved variabel spaltebredde.

Man vil med en passer kunne indtegne de forskellige ekspansionsradier, der svarer til fyldeskudsseriens fyldestadier med udgangspunkt eller centrum til indløbsporten.

Formhulrum, hvor indløbet ligger ude på en af emnets sider, bliver fyldt efter samme regler.

Det samme er gældende, når formhulrummet har forskellige spaltebredder, dog kun når en større spaltebredde afløses af en mindre spaltebredde.

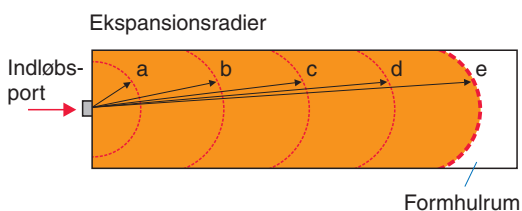
Afløses en mindre spaltebredde af en større spaltebredde, vil denne mindre spaltebredde, såfremt den ikke er for stor, af smelten blive betragtet som indløbsport til den større spaltebredde.

Definitioner

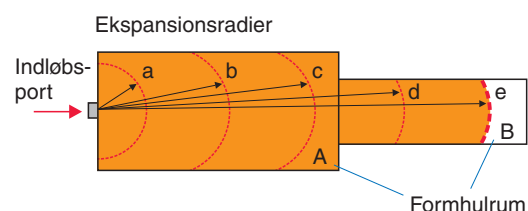
Ved **spaltehøjde** forstås altid den mindste af de to dimensioner, der danner et formhulrums tværsnit = mindste godstykkelse.

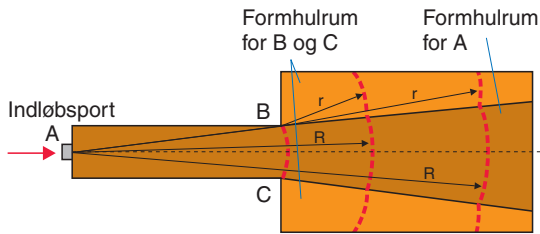
Ved **spaltebredde** forstås altid den største af de to dimensioner, der danner et formhulrums tværsnit = største godstykkelse.

Ekspansionsradier



Ekspansionsradier ved overgang fra større til mindre spaltebredde



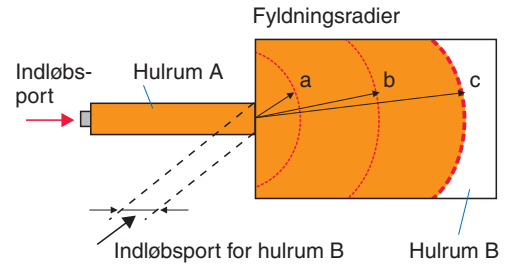


Kombinationen, hvor det lille formhulrums spaltebredde er for stor, til at den af smelten bliver betragtet som en indløbsport til det store formhulrum

Midterpartiet, som er det skraverede spaltebreddeområde, bestemmes fortsat af radien R , hvis centrum er placeret i indløbsporten A.

De to formhulrum ved siden af det skraverede område, mærket B og C, bestemmes fyldningsmæssigt af radien r , hvis centrum ligger i kanterne, mærket B og C.

Er portåbningen lille, vil dennes centrum danne udgangspunkt for de ringe, der kan tegnes med en passer, og som altså er identisk med fylde-skudseriens ekspansionsradier ved fyldning af formen.



Ekspansionsradier ved overgang fra mindre til større spaltebredde

Hvis det lille formhulrums spaltebredde er for stor, til at den af smelten bliver betragtet som en indløbsport, vil der opstå tre ekspansionsradier i det store formhulrum; en med udgangspunkt i indløbsporten i det lille formhulrum og en for hver af de to hjørnepunkter ved overgangen fra lille til stort formhulrum.

Den radiale ekspansion i kasseformen

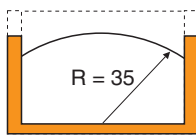
For emner, der ikke er plane og således kræver retningsændring af smelten under fyldningen af formhulrummet, kan den radiale ekspansion iagttages.

Iagttagelsen kan bedst foretages ved, at kassen (emnet) udfoldes, således at emnet bliver plant som vist i figuren til venstre.

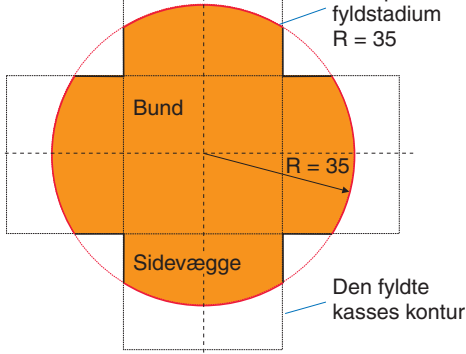
På den udfoldede kasse fremgår det, at buerne på kassens sider nøjagtigt modsvarer det fyldestadium, processen er nået til, og med centrum for radius i indløbstappens centrum.

Plastsmeltens ekspansion i en kasseform

Den ikke fyldte kasse



Den udfoldede kasse



Det opnåede fyldestadium $R = 35$

Den fyldte kasses kontur

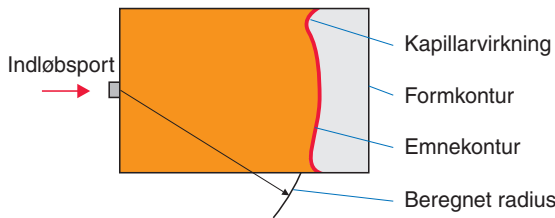
Det er dog ikke så ligetil ved alle emner og heller ikke ved den virkelige kasse, idet hjørnerne ofte har større eller mindre godstykkelse end kassens sider.

Er godstykkelsen i hjørnerne større, vil det give en større fremdrift for smelten, og har kassens sider dertil også forskellig godstykkelse (tilsigtet eller ikke tilsigtet), kan det viste fyldningsforløb blive fuldstændigt tilsløret.

Formtemperaturen spiller ligeledes en afgørende rolle for et fyldeforløb i ligevægt. Da det er uhyre vanskeligt at udføre en sådan køling, at fyldeforløbet vil være i ligevægt, må det påregnes, at formtemperaturen også er med til at sløre billedet af et afbalanceret fyldeforløb.

Da plastificering og homogenisering af smelten også spiller ind på smeltens ekspansionslængde, er der mange årsager til, at det er vanskeligt at opnå et fyldeforløb i ligevægt.

Smeltens ekspansionslængde kan beregnes ved hjælp af deformationsfaktorteknikken, hvis der er uens godstykkelser, og ligeledes hvis formtemperaturen også skulle være uens.



■ = Køleflade

Afvigelse fra ekspansionsreglen på grund af kølingens kapillarvirkning

Smelten i kvadraterne 1 og 4 er udsat for hver tre køleflader, mens smelten i kvadraterne 2 og 3 kun er udsat for to køleflader.

Afvigelser fra ekspansionsreglen

I nogle tilfælde, særligt ved mindre spaltehøjder (godstykkeleser) i formhulrummet, kan det konstateres, at smelten ude i hjørnerne af formhulrummet flyder noget hurtigere end den øvrige smelte, selv om kølingen ude i hjørnerne er større end i den øvrige del af formen.

Når kølingen er større, burde smelten flyde langsommere i stedet for, og ekspansionslængden skulle derfor være mindre og i alt fald ikke større.

Den sandsynlige forklaring er, at det materiale, der kommer i berøring med den kolde værktøjsvæg, slagagtigt trækker sig sammen, og at denne sammentrængning forårsager et træk i det efterfølgende materiale, et træk, der bevirker en kapillarvirkning, således at smelten ekspanderer hurtigere netop der, hvor kølingen er stærkere.

Kapillarvirkningen er målt forskellig fra materiale til materiale og er større ved mere køling og ved mindre godstykkeleser.

Den viskose sjæls forgrening

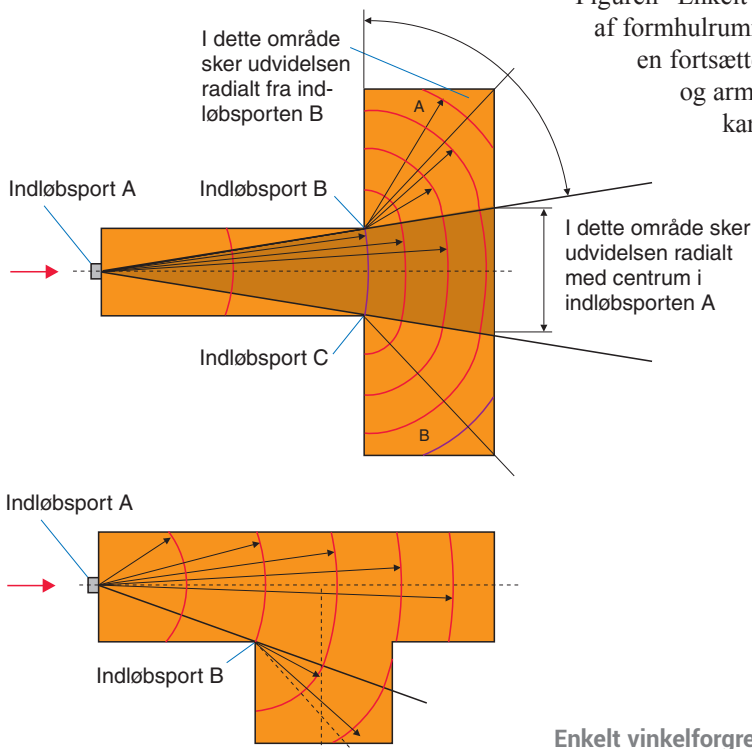
Den viskose sjæl vil, når formhulrummet forgrener sig, følge denne forgrening og således danne strømningsgrene (arme), hvis længde under ekspansionen først og fremmest er afhængig af spaltehøjden i formhulrummet.

Den viskose sjæls forgrening i hulrum med konstant spaltehøjde

Figuren "T-forgrening" viser en T-forgrening i formhulrummet A og B, dvs. to arme vinkelret på den oprindelige ekspansionsretning.

Smeltens bevægelse ind i grenene A og B kan for hver ekspansionsfase indtegnes med en passer efter de gældende regler.

T-forgrening



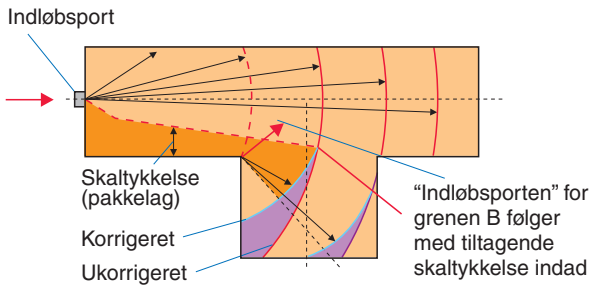
Figuren "Enkelt vinkelforgrening" viser en forgrening af formhulrummet med to arme, A og B, hvor A er en fortsættelse af den oprindelige flyderetning, og armen B står vinkelret herpå. Også her kan der med en passer indtegnes enhver ønsket fyldningsfase.

Det bemærkes, at grenen B ud til siden tilsyneladende er mere fyldt end grenen A i flyderetningen. Dette til trods for, at spaltehøjden er ens i begge arme.

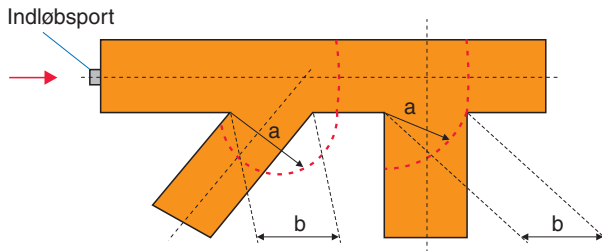
Det må bemærkes, at passermetoden virker helt i overensstemmelse med praktiske forsøg udført med det pågældende emne.

Den samme iagttagelse som på den foregående figur kunne endda gøres selv med grenen gående modsat den oprindelige flyderetning.

Enkelt vinkelforgrening



Korrigeret flydning

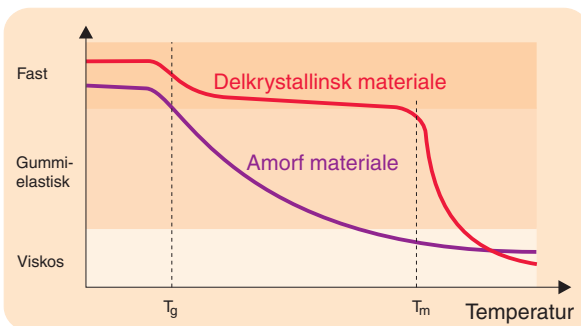


Åbningsdimension af sidegrene

Forarbejdningstekniske tilstandsændringer for termoplastiske materialer

For de amorf materialer er forarbejdningstemperaturområdet ret bredt, idet forarbejdningen kan ske allerede tidligt i den gummielastiske tilstand.

For de delkrystallinske materialer udgør den gummielastiske fase derimod et meget smalt temperaturområde, inden den viskose fase nås. Da kurven omtrent er lodret, betyder det, at forarbejdningsområdet for de delkrystallinske materialer er relativt smalt - for nogle materialer er det inden for $\pm 5^\circ\text{C}$.



Passermetoden har dog en lille fejl, idet man vedvarende går ud fra kanten, der danner vendepunktet for den viskose sjæl. Da kanten køler den flydende plast, rykker den viskose sjæl indad i formhulrummet, hvorved passereren med tiltagende flydelængde ligeledes skulle følge med indad, hvilket fremgår af figuren "Korrigeret flydning".

Som det fremgår, har den korrigerede flydning også lidt indflydelse på sidegrenens længde.

Armen ud til siden er således fra den viskose sjæls strømningsprincip ikke længere end den arm, der ligger i den oprindelige flyderetning, idet den viskose sjæl målt fra indløbsporten som udgangspunkt har tilbagelagt nøjagtigt samme flydelængde.

I figuren "Åbningsdimension af sidegrene" fremgår det, at ekspansionen af smelten under fyldningen af sidegrenen a svarer til sidegrenens åbningsdimension b.

Iagttagelsen er forbavsende, og det vil måske fremkalde skepsis, at den oprindelige flyderetning ikke skulle være den foretrukne under

fyldningen, men forsøg med diverse værktøjer har hver gang bekræftet de omtalte regler. Konstruktionen af en hvilken som helst ekspansionsfase under fyldningen i et formhulrum kan således gennemføres med passermetoden.

Temperaturindstilling ved sprøjtstøbning

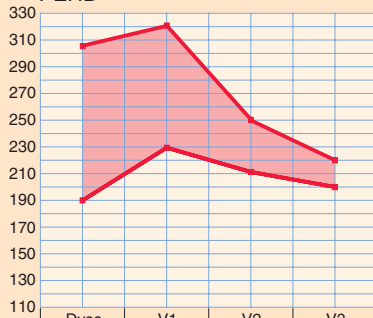
Indstilling af varmebåndenes temperatur på sprøjtstøbmaskinen til en given produktion i et givet materiale burde jo, som mange plastmagere udtrykker det, være noget, man bare slår op, og ikke noget med alle de omsvøb.

Massetemperaturen og varmebåndenes temperatur er naturligvis ikke den samme, for ud over den varmeenergi, plasten får tilført fra varmebåndene for at smeltes, tilføres der friktionsvarme ved snekkens rotation. Sidstnævnte tilførte varmeenergi kan ved sprøjtstøbning være omtrent lige så stor som den af varmebåndene tilførte energi.

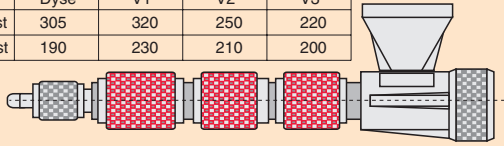
Nedenstående diagrammer viser nogle udvalgte materialers temperaturprofiler, men viser ikke eksakte temperaturindstillinger.

Diagrammerne dækker en ret bred temperaturindstilling, idet hvert diagram dækker en hel materialegruppe.

Således dækker et enkelt diagram et område fra det laveste smelteindeks til det højeste smelteindeks, hvorfor der til specielle opgaver, hvor en eksakt smeltetemperatur er påkrævet, bør hentes informationer i materialets datablad eller hos materialeleverandøren.

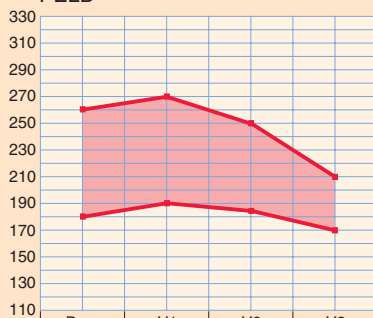
PEHD

	Dyse	V1	V2	V3
Højest	305	320	250	220
Lavest	190	230	210	200

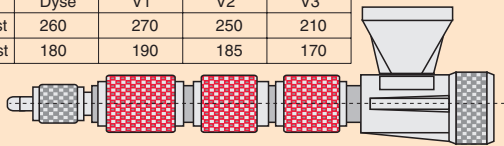
**PEHD (high density polyethylen)**

Smeltepunkt T_m :	125 °C
Værktøjstemperatur:	10-50 °C
Traverstemperatur:	10-50 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	100 %
Indfarvning:	Let
Dyse:	Åben dyse

PEHD er et delkrystallinsk materiale

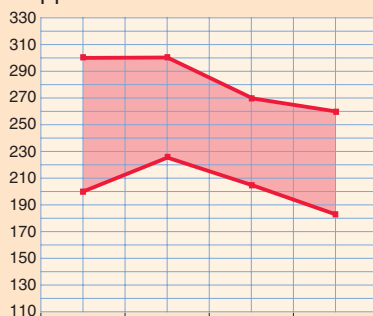
PELD

	Dyse	V1	V2	V3
Højest	260	270	250	210
Lavest	180	190	185	170

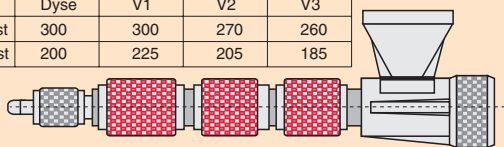
**PELD (low density polyethylen)**

Smeltepunkt T_m :	125 °C
Værktøjstemperatur:	10-50 °C
Traverstemperatur:	10-50 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	100 %
Indfarvning:	Let
Dyse:	Åben dyse

PELD er et delkrystallinsk materiale

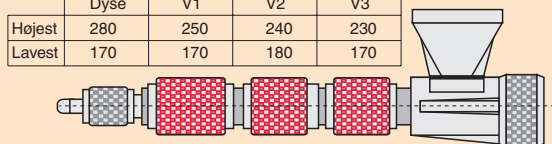
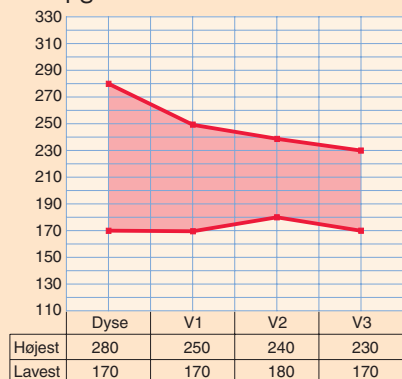
PP

	Dyse	V1	V2	V3
Højest	300	300	270	260
Lavest	200	225	205	185

**PP (polypropylen)**

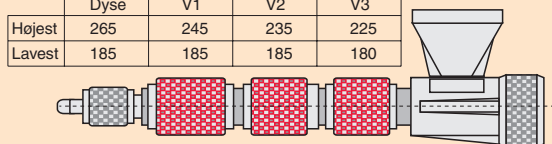
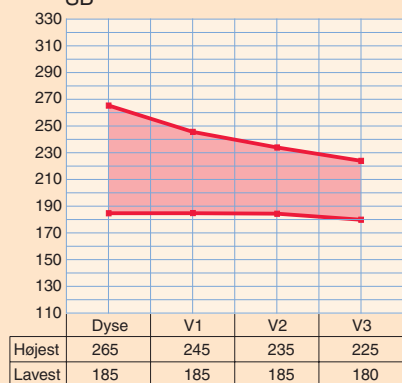
Smeltepunkt T_m :	165 °C
Værktøjstemperatur:	10-50 °C
Traverstemperatur:	10-50 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	100 %
Indfarvning:	Let
Dyse:	Åben dyse

PP er et delkrystallinsk materiale.

PS**PS (polystyren)**

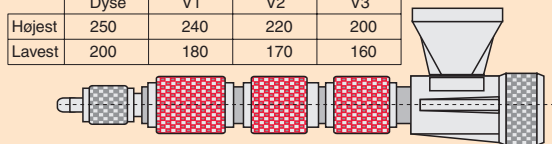
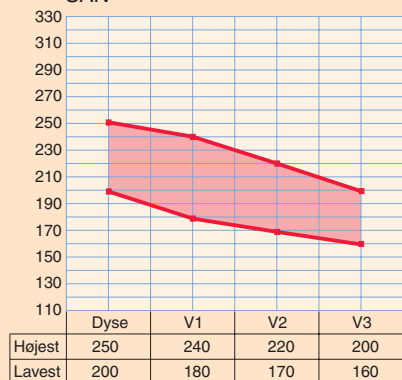
Værktøjstemperatur:	10-50 °C
Traverstemperatur:	10-50 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	Kan ikke anbefales
Indfarvning:	Ubegrænset
Dyse:	Åben dyse

PS er et amorph, glasklart materiale.
PS er et hårdt, stift, glasagtigt og skørt materiale.

SB**SB (slagfast polystyren)**

Værktøjstemperatur:	10-60 °C
Traverstemperatur:	10-50 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	50-100 %
Indfarvning:	Ubegrænset
Dyse:	Åben dyse

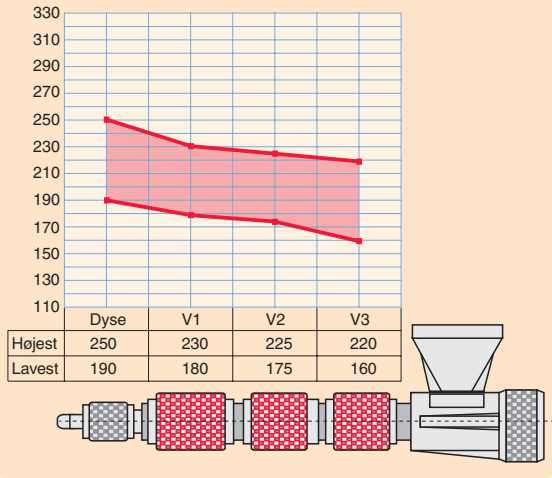
SB er et amorph, gulligt materiale.

SAN**SAN (styren-acrylnitril-copolymer)**

Værktøjstemperatur:	10-60 °C
Traverstemperatur:	10-60 °C
Fortørring:	Anbefales
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Begrænset
Dyse:	Åben dyse

SAN er et amorph, transparent materiale.

ABS

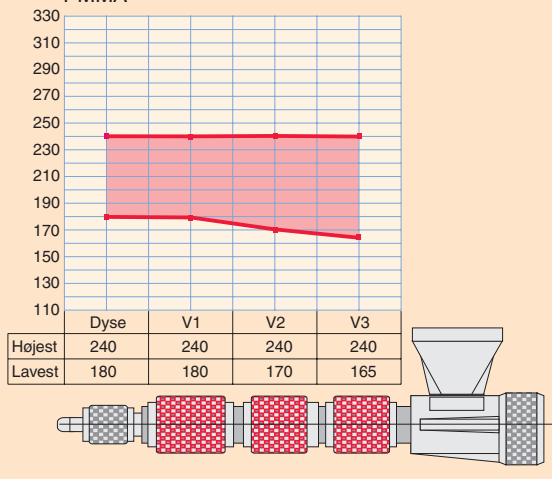


ABS (acrylnitril-butadien-styren-copolymer)

Værktøjstemperatur:	30-80 °C
Traverstemperatur:	30-80 °C
Fortørring:	4 timer ved 80 °C
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Begrænset
Dyse:	Åben dyse

ABS er et amorph, gulligt materiale.

PMMA

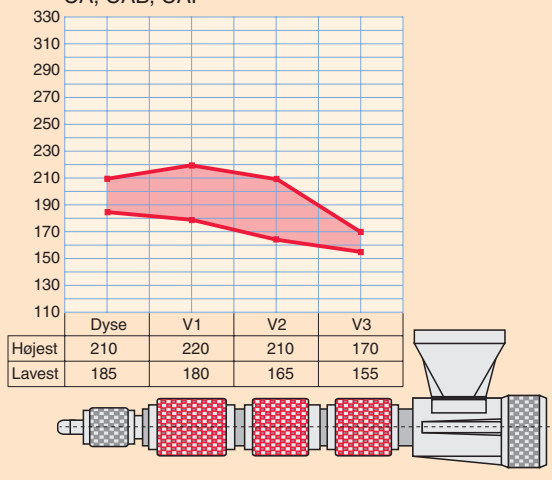


PMMA (polymethylmethacrylat)

Værktøjstemperatur:	30-70 °C
Traverstemperatur:	30-70 °C
Fortørring:	4 timer ved 80 °C
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Begrænset
Dyse:	Åben dyse

PMMA er glasklart og skørt.

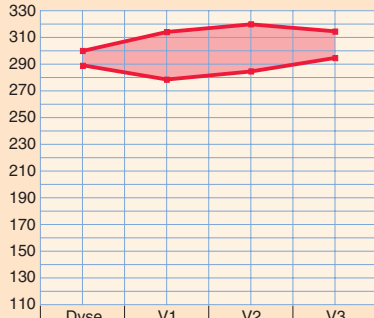
CA, CAB, CAP



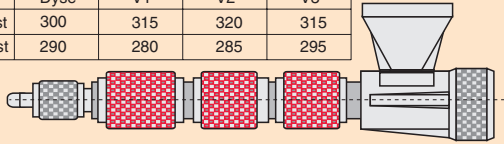
CA (celluloseacetat), CAB og CAP

Værktøjstemperatur:	40-80 °C
Traverstemperatur:	30-80 °C
Fortørring:	4 timer ved 70 °C
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Let
Dyse:	Åben dyse

CA er transparent, glasklart og slagsejt.

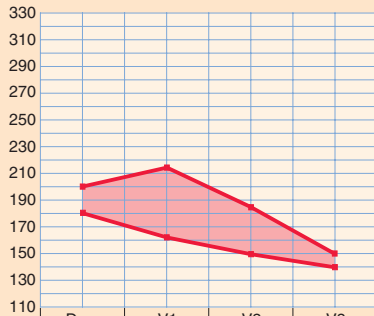
PC

	Dyse	V1	V2	V3
Højest	300	315	320	315
Lavest	290	280	285	295

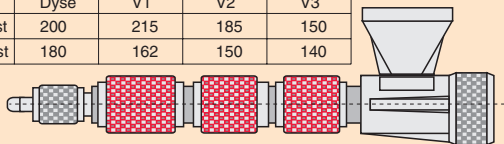
**PC (polycarbonat)**

Værktøjstemperatur:	80-120 °C
Traverstemperatur:	60-100 °C (evt. med tragtvarme)
Fortørring:	Ca. 8 timer ved 100-120 °C
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Anbefales ikke
Dyse:	Glidedyse anbefales

PC er transparent, glasklart og brudsikkert.

PVC

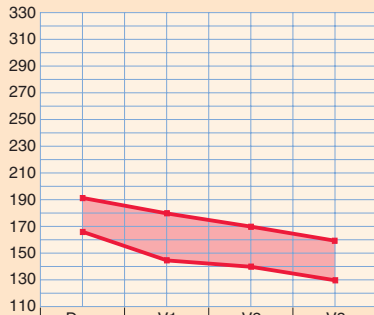
	Dyse	V1	V2	V3
Højest	200	215	185	150
Lavest	180	162	150	140

**PVC (polyvinylchlorid, stiv)**

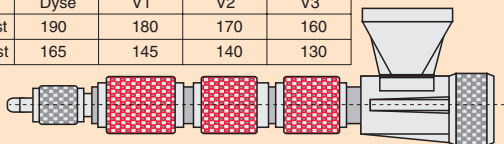
Værktøjstemperatur:	20-60 °C
Traverstemperatur:	10-40 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Let
Dyse:	Åben special dysse

PVC er transparent og glasklart.

PVC er tilsat varmestabilisator for bearbejdning.

PVC

	Dyse	V1	V2	V3
Højest	190	180	170	160
Lavest	165	145	140	130

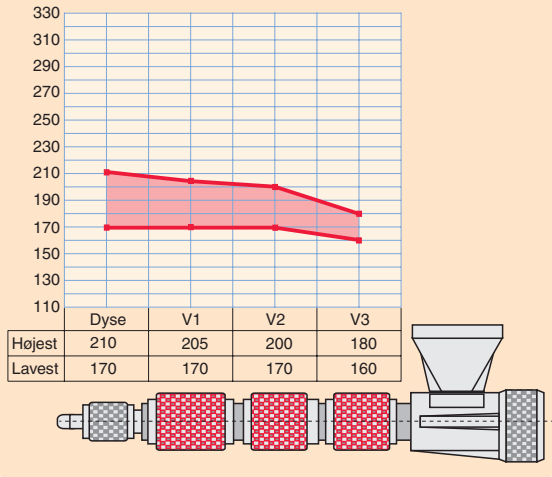
**PVC (polyvinylchlorid, blødgjort)**

Værktøjstemperatur:	20-40 °C
Traverstemperatur:	10-40 °C
Fortørring:	Ikke nødvendig
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Let
Dyse:	Åben dysse

Blødgjort PVC er transparent og glasklart.

PVC er tilsat varmestabilisator for bearbejdning.

POM

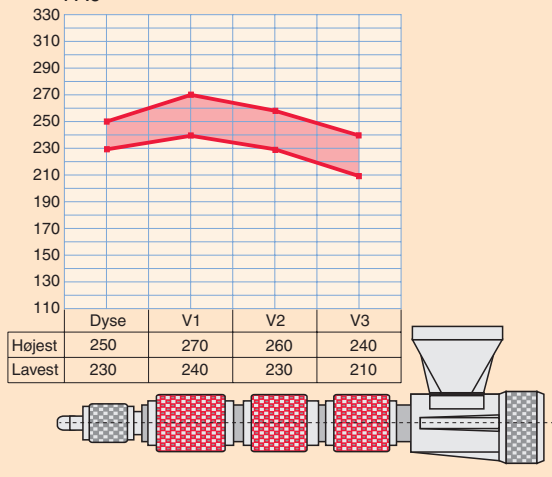


POM (polyoxymethylen)

Smeltepunkt T_m :	165-175 °C
Værktøjstemperatur:	40-120 °C
Traverstemperatur:	40-90 °C
Fortørring:	Anbefales
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Vanskelig
Dyse:	Åben dyse

POM er et delkrystallinsk materiale.
POM nedbrydes hurtigt ved temperaturer over 135 °C.

PA6

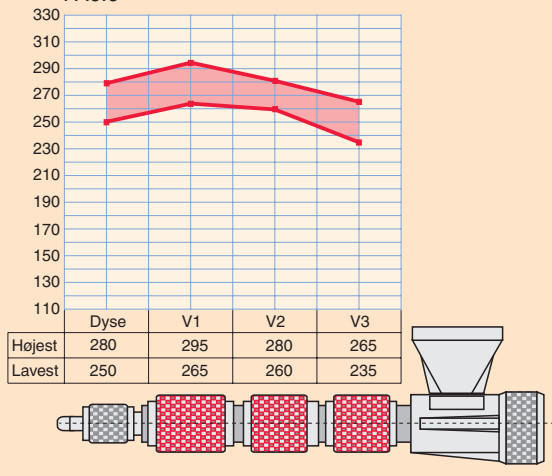


PA6 (polyamid 6)

Smeltepunkt T_m :	~225 °C
Værktøjstemperatur:	60-100 °C
Traverstemperatur:	40-90 °C
Fortørring:	16 timer ved 80-100 °C
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Let
Dyse:	Nålelukkedyse

PA6 er et delkrystallinsk materiale.
PA6 skal konditioneres efter støbning (3-5 % vand).

PA6.6



PA6.6 (polyamid 6.6)

Smeltepunkt T_m :	~265 °C
Værktøjstemperatur:	60-90 °C
Traverstemperatur:	40-90 °C
Fortørring:	16 timer ved 80-100 °C
Genanvendelse:	Efter opgave
Indfarvning:	Let
Dyse:	Nålelukkedyse

PA6.6 er et delkrystallinsk materiale.
PA6.6 skal konditioneres efter støbning (2-4 % vand).

Retningsgivende materialeegenskaber

PEHD/PELD

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Stor kærvelagstyrke selv ved lave temperaturer
- God kemikalieresistens
- Lille vandabsorption
- Velegnet til kontakt med levnedsmidler
- Specielt lave anvendelsestemperaturer
- Gunstig materialepris

Bør undgås ved:

- Højere temperaturer
- Krav om høj slidstyrke
- Krav om kryberesistens
- Krav om dimensionsstabilitet
- Anvendelse med stærkt oxiderende medier og aromatiske hydrocarboner
- Krav om UV-bestandighed - kan dog UV-stabiliseres

PP

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Høj udmattelsesstyrke
- God kemikalieresistens
- Tåler dampsterilisation
- Velegnet til kontakt med levnedsmidler
- Høj elektrisk isolation
- Gunstig materialepris

Bør undgås ved:

- Lave temperaturer
- Krav om høj slidstyrke
- Store mekaniske påvirkninger - koldflydning
- Krav om dimensionsstabilitet
- Anvendelse med stærkt oxiderende medier
- Krav om UV-bestandighed - kan dog UV-stabiliseres

PE og PP hører under gruppen af polyolefiner sammen med PB og PMP.

PS

Når materialeforkortelsen PS anvendes, og ikke andet er anført, er der tale om ”standardpolystyren”, i daglig tale også kaldet ”glasklar polystyren”.

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Gode optiske egenskaber
- God dimensionsstabilitet
- Virker hård og skør
- Mange og varierende typer
- Gode elektrisk egenskaber
- Gunstig materialepris
- Let at indfarve





Bør undgås ved:

- Lave temperaturer
- Krav til mekaniske egenskaber
- Anvendelse med stærkt aromatiske og klorerede hydrocarboner
- Krav om UV-bestandighed - kan dog UV-stabiliseres

SB

Benævnes også som PSS.

Som følge af gummiindholdet i ”den slagfaste polystyren” kan dette materiale omtrent behandles under et med ABS, når det gælder forarbejdning ved sprøjtøbning, idet materialet er oxidationsfølsomt, hvilket kræver lav forarbejdningstemperatur og kort opholdstid i snekken.

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- God dimensionsstabilitet
- Mange og varierende typer
- Gode elektriske egenskaber
- Gunstig materialepris
- Let at indfarve

Bør undgås ved:

- Krav til mekaniske egenskaber
- Anvendelse med stærkt aromatiske og klorerede hydrocarboner
- Krav om UV-bestandighed - kan dog UV-stabiliseres

SAN

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- God dimensionsstabilitet
- Mange og varierende typer
- Glasklar, transparent og opal
- Gunstig materialepris
- Let at indfarve
- Forarbejdes som PS

Bør undgås ved:

- Krav til mekaniske egenskaber
- Krav om UV-bestandighed - kan dog UV-stabiliseres

ABS

Som følge af gummiindholdet er materialet oxidationsfølsomt, hvilket kræver lav forarbejdningstemperatur og kort opholdstid i snekken ved sprøjtøbning.

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- God dimensionsstabilitet
- Mange og varierende typer
- Anvendelsestemperatur fra -40 til 115 °C
- Galvanisk metalliserbar
- Kan indfarves med masterbatch
- Gode mekaniske egenskaber
- God overfladehårdhed og -glans
- God slagsejhed og stivhed

Bør undgås ved:

- Krav om UV-bestandighed - kan dog UV-stabiliseres

PMMA

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Gode optiske egenskaber
- God vejrstabilitet
- God dimensionsstabilitet
- Højeste anvendelsestemperatur: 70 °C
- Kan indfarves med masterbatch
- Hård og sprød
- God overfladehårdhed og -glans
- God stivhed
- Polérbarhed

Bør undgås ved:

- Krav til store mekaniske belastninger

CA

Celluloseplast udgøres af en gruppe af plasttyper (CA, CAB og CAP), der altid anvendes med en række additiver som blødgøringsmidler, stabilisatorer og UV-absorbere. Cellulosenitrat (kendt som celluloid), som ikke anvendes mere, er det ældste plastmateriale opfundet omkring 1870.

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Stor sejhed og stivhed
- God dimensionsstabilitet
- Anvendelsestemperatur fra -50 til 60-115 °C
- Gode mekaniske egenskaber og ringe kærvfølsomhed
- God overfladehårdhed og -glans
- Gode indfarvningsmuligheder
- Gode transparente egenskaber

Bør undgås ved:

- Forhold, hvor materialet ikke må være letantændeligt.

PC

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Stor sejhed, slagsejhed og stivhed ved lave temperaturer
- God dimensionsstabilitet og varmebestandighed
- Anvendelsestemperatur fra -45 til 145 °C
- Gode mekaniske egenskaber og ringe kærvfølsomhed
- Høj elektrisk isoleringsevne
- God overfladehårdhed og -glans
- Gode transparente egenskaber

Bør undgås ved:

- Krav til mekanisk styrke - koldflydning
- Krav til manglende kærvfølsomhed
- Anvendelse i vand over 60 °C
- Anvendelse med kemikalier - spændingsrevnedannelse ved kemikalier

Efter forarbejdning af PC og inden forarbejdning af temperaturfølsomme materialer fx POM, CA og PVC bør snekken renses på grund af PC's høje forarbejdningstemperatur.

PVC, stiv

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Stor stivhed
- Høj slagsejhed
- Stor hårdhed
- Transparent til opal
- God kemikaliebestandighed
- Kan modificeres med blødgøringsmidler til mange grader fra hård til blød
- Gunstig materialepris
- Skal varmestabiliseres ved forarbejdning
- Anvendelsestemperatur fra 0-60 °C

Bør undgås ved:

- Særlige krav til forarbejdningstemperatur - er termisk ømfindelig ved forarbejdning.
- Krav om vejrbestandighed - kan UV stabiliseres

PVC, blødgjort

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Som stiv PVC
- Fås i omtrent alle blødheder

POM

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

- Stor sejhed, slagsejhed og stivhed ved lave temperaturer
- Anvendelsestemperatur fra -40 til 100-(120) °C
- God formbestandighed i varme
- Gode mekaniske egenskaber og ringe kærvfølsomhed
- Gode friktions- og slidegenskaber
- God overfladehårdhed og -glans
- Gode egenskaber mod spændingsrevnedannelse
- Gode fjedringsegenskaber
- Gode statiske og dynamiske egenskaber (langvarig)

Bør undgås ved:

- Anvendelse i vand over 80 °C
- Krav til lille hydrolysefølsomhed
- Udendørs anvendelse uden UV-absorber

PA6 og PA6.6

Af de væsentligste polyamidtyper kan nævnes: PA6, PA6.6, PA11, PA12 og PA6.10. Polyamid findes også i amorge typer (glasklare).

Denne materialegruppe kendetegnes ved:

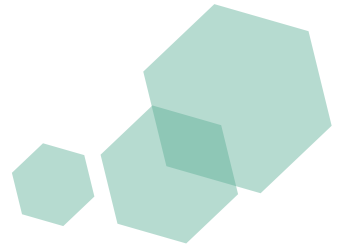
- God kombination mellem mekanisk styrke og kemisk resistens
- Relativt stiv
- Gode friktions- og slidegenskaber
- Høj udmattelsesstyrke
- Gode vibrationsdæmpende egenskaber
- Stor sejhed og slagsejhed på bekostning af stivheden
- Anvendelsestemperatur fra -40 til 100 °C
- God formbestandighed i varme
- Gode mekaniske egenskaber og ringe kærvfølsomhed
- Let at indfarve

GENERELLE OPLYSNINGER OM TERMOPLAST

Værdierne er vejledende ud fra forskellige leverandørers materialedatablade på standardtyper. Priserne er baseret på 1.000 kg leveret (marts 2004).

* Anvendes i køletids- og forseglings-tidsberegning.

Amorfe plast	ρ kg/m ³	Svind i længderetning %	Anbejlet masse temperatur		Værkøjs temperatur		Forselings temperatur		Effektiv temp. ledn. evne af varme ISO R 75-1/-2 Formbestandighed i Materialer v. 1.000 kg temperatur/år
			min. - maks. T _M °C	min. - maks. T _V °C	T _F °C	a * mm ² /s	T _A °C	kr./kg	
ABS	1.040	0,7-0,8	220-260	40-80	100-120	0,08	93	15	80/2-4
CA	1.280	0,4-0,7	180-220	40-60	120	0,06	67	12	70/2
PA11	1.030	1,0-2,0	190-250	50-70	180	0,09	145	90	85/4
PA12	1.010	0,8	230-260	40	140	0,0882	120	90	80/4
PAI	1.410	0,5-0,7	310-370	200-215	275	0,08	278	780	270/3
PC	1.200	0,7-0,9	280-320	85-120	150	0,123	133	24	120/2-4
PC GF10	1.250	0,2-0,6	290-320	85-120	150	0,124	140	34	120/2-4
PC/ABS	1.120	0,4-0,9	240-270	60-90	120-140	0,124	115	25	90/2-4
PMMA	1.190	0,2-0,8	220-260	60-90	110	0,069	100	17	90/2-3
PPO/SB	1.060	0,5-0,7	280-300	80-120	180	0,12	130	30	100/2-3
PS	1.050	0,4-0,7	200-250	10-50	100	0,089	80	9	-
PSU	1.240	0,5-0,6	330-380	120-160	220	0,09	181	110	120/4
PVC	1.200	1,0-5,0	140-160	10-30	110	-	50	12	-
PVC	1.400	0,1-0,6	160-200	40-60	85	0,072	70	14	-
SAN	1.070	0,5-0,6	190-250	40-75	120	0,108	100	14	80/1-2
SB	1.050	0,3-0,7	180-280	40-60	110	0,08	80	10	-
PEI	1.270	0,3-0,6	370-410	140-180	220	0,101	200	123,5	150/6
PC/PBT	1.210	0,3-1,0	255-270	60-80	260	0,11	180	32	90/4
PES	1.370	0,3-0,7	340-380	140-160	225	-	220	144	120/4
Delkrystallinske plast									
EVA	920	1,0-2,5	160-210	20-50	90-115	0,09	77	13	-
PA 6	1.130	0,95	250-270	40-80	220	0,087	170	19	80/4
PA6 GF30	1.350	0,25-0,3	270-290	80-120	220	0,088	220	21	80/4
PA6.6	1.130	1,0	280-300	40-80	255	0,091	220	22	80/4
PA6.6 GF30	1.350	0,25-0,3	280-300	40-80	255	0,088	250	24	80/4
PBT	1.310	2,1	240-260	80-100	215	0,099	165	25	120/4
PBT GF30	1.520	0,4-0,8	240-260	80-100	220	0,11	210	27	120/4
PEHD	960	1,3-2,5	200-300	20-60	140	0,095	77	8,5	-
PELD	920	1,3-2,5	180-240	20-60	125	0,09	58	9,5	-
PET	1.340	0,2-0,4	260-290	80-100	250	0,109	210	25	120/4
POM C	1.410	1,3-3,0	200-220	80-120	170	0,042	150	19	-
POM H	1.420	1,3-3,0	210-220	80-100	180	-	160	21	-
PP H	905	0,6-2,0	200-280	20-60	160	0,069	95	8,5	-
PP C	905	0,6-2,0	200-280	20-60	160	0,07	95	8,5	-
PPS GF40	1.650	0,2-0,5	320-340	140-150	218	0,07	225	80	130/4
PAA GF30	1.430	0,1-0,3	270-290	120-140	255	0,095	240	34	120/4



Bør undgås ved:

- Anvendelse i vand over 100 °C
- Krav til fugtresistens - opsuger fugt
- Udendørs anvendelse uden UV-absorber
- Anvendelser med syrer - tåler ikke syre

Indfarvning af plastmaterialer

Plastmaterialer kan tilsættes farvestof og dermed gives et dekorativt udseende.

Ofte er det nødvendigt, at det færdigstøbte emne har en farve, der matcher andre sammenhørende emner.

Nogle af de indfarvningsmuligheder, der benyttes, er:

- Færdigindfarvede råvarer
- Indfarvning med tørfarve
- Indfarvning med vådfarve
- Indfarvning med masterbatch
- Indfarvning ved neddykning i farvet vand. Materialer, der opsuger megen fugt, kan anvendes til denne teknik, der bl.a. bruges ved fremstilling af smykker.

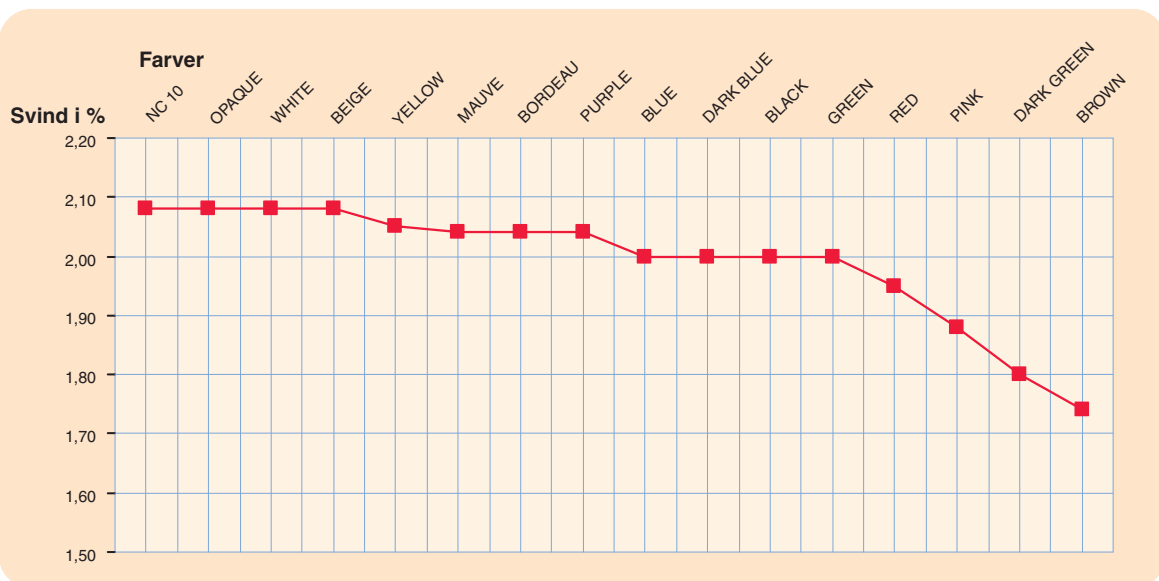
Af de her nævnte indfarvningsmuligheder er færdigindfarvet materiale fra råvareleverandøren den mindst komplicerede indfarvningsmulighed. Det kræver blot:

- Store mængder råvarer ved specialfarver
- Anvendelse af en standardfarve

For de sidste tre muligheder tegner masterbatch-indfarvning sig for den væsentligste andel, selv om indfarvning med tørfarve og med vådfarve er ganske udmærkede muligheder, måske endda bedre end indfarvning med masterbatch.

Til indfarvning med henholdsvis tør- og vådfarve kræves til et godt resultat, at maskinen udstyres med doseringsaggregater, der kan dosere i de nøjagtige og små mængder farvestof, der skal anvendes.

Masterbatch-farvens betydning for støbesvind ved emne i POM



De firmaer, der fremstiller masterbatch, lagerfører en del standard-masterbatcher. Blot må vi her være opmærksomme på, at der generelt findes flere typer masterbatch, idet der her hentydes til farvebæreren.

Der anvendes generelt tre typer farvebærere:

- Farvebærer på grundlag af voks = universal-masterbatch
- Farvebærer på grundlag af materialegruppe
- Farvebærer på grundlag af det specifikke produktionsmateriale

Universal-masterbatchen er naturligvis den letteste at lagerføre, idet den er anvendelig til så godt som alle råvarer og ofte med et tilfredsstillende resultat.

Masterbatchen er fremstillet på grundlag af højkoncentreret 80-90 % tør-farve og med voks som bindemiddel i tørfarven.

Farvebærer på grundlag af materialegruppe er straks sværere at lagerføre, idet der er mange materialegrupper.

Farvebærer på grundlag af det specifikke produktionsmateriale betyder naturligvis, at masterbatchen må skræddersyes efter opgave, idet masterbatchen fremstilles med noget af produktionsmaterialet.

Farvekoncentratet kan være op til fx en 50 %'s masterbatch, hvilket betyder, at halvdelen af produktionsmaterialet indfarves med farvestof, og ned til, hvor tilsætningen udgør fx 2-5 %.

Masterbatchens indflydelse på det støbte emne

Masterbatch kan yde stor indflydelse på det sprøjttestøbte emne:

- Ændrede svindforhold
- Ændrede flydeforhold
- Vridninger i emner
- Termisk overbelastning af farvestoffet med risiko for migration (farvestoffet trænger ud af råvaren)

Ved fremstilling af en masterbatch til en specifik opgave er det vigtigt for masterbatch-producenten at have så mange oplysninger som muligt om, hvilket formål masterbatchen skal anvendes til:

- Produktionsform (sprøjttestøbning, foliefremstilling osv.)
- Den anvendte råvare
- Det færdige produkts anvendelsesformål
- Indendørs/udendørs brug
- Levedsmiddelkontakt
- Anvendelse af genbrugsmateriale
- Tilsætning af andre additiver

Ofte kan der opnås en gunstig pris på masterbatchen, såfremt afvigelser i farvenuance kan accepteres.

Farvepigmenter til masterbatch

Farvepigmenterne til masterbatch-fremstilling kan opdeles i to grupper:

- Uorganiske pigmenter
- Organiske pigmenter

Organiske og uorganiske farvepigmenter har forskellige egenskaber. Af de væsentligste kan nævnes, at uorganiske farvepigmenter generelt ikke forårsager kastning (vridning) i et sprøjttestøbt emne, hvorimod kun et fåtal af de organiske pigmenter har denne egenskab.

En del organiske pigmenter bliver ved termisk overbelastning delvist opløselige i polymeren, hvorved risikoen for migration forøges betydeligt.

De uorganiske pigmenters migrationsbestandighed påvirkes mindre, hvis overhovedet, ved termisk overbelastning.

Farvematchningsproblematik

At et emne overhovedet har en farve, skyldes, at emnet reflekterer lys med bølgelængder, der er synlige for det menneskelige øje.

Metameri er farvematcherens fjende, idet metameri kan opstå, når to farver betraget i dagslys synes ens, men forskellige, hvis lyskilden ændres til fx en glødelampe.

Dette fænomen kan forklares, ved at energifordelingen af de forskellige bølgelængder i det synlige lys varierer fra lyskilde til lyskilde.

For at kunne matche en farve uden metameri kræves det, at farvepigmenterne i de materialer, der skal matche, er ens.

Det kan imidlertid give problemer, i forbindelse med at det emne eller den del, det sprøjttestøbte emne skal matche med, kan være et stykke farvet tekstil, altså en trykfarve eller et malet emne.

De farvestoffer, der anvendes til disse to andre teknikker, er ofte uegnet til indfarvning af plast bl.a. på grund af den højere temperatur, sprøjttestøbning foregår ved.



Opskunningsmiddel

Opskunningsmiddel er en masterbatchtype, der ofte tilsættes materialet af flere årsager fx:

- Vægtreduktion og dermed prisreduktion
- Forbedret isoleringsegenskaber for varme og lyd
- Forbedret stivhed i forhold til vægt
- Overfladestruktur
- Forbedret overfladestruktur mod sugninger (indfaldssteder på overfladen)

Billedramme støbt i PS tilsat

opskunningsmiddel for at opnå skumstruktur

(Boehringer Ingelheim/Andertech Plastteknik A/S)

Ved et emne med så stor godstykkelse vil sprøjttestøbning almindeligvis være både vanskelig og tidskrævende.

Additiver og hjælpestoffer

Inklusive de to allerede nævnte er de vigtigste additiver/hjælpestoffer til plastmaterialer følgende:

- Farvestoffer (masterbatch m.m.)
- Opskunningsmidler
- Antioxidanter
- Blødgørere
- Brandhæmmere
- Forstærkningsmaterialer
- Fyldstoffer

- Slipmidler
- UV-stabilisatorer
- Varmestabilisatorer

Antioxidanter

Antioxidanter tilsættes plastmaterialet for at modvirke oxidativ nedbrydning af plasten under forarbejdning samt for at forlænge det sprøjtetøbte emnes levetid.

Blødgørere

Blødgørere tilsættes for at tilføre materialet fleksibilitet og elasticitet samt for at forbedre flydeegenskaberne.

Disse additiver reducerer de intermolekylære kræfter mellem polymermolekylerne.

Brandhæmmere

Disse armeringsstoffer virker isolerende, enten fysisk eller kemisk, ved at skabe endoterme (betyder en proces der forbruger varme) nedkølingsreaktioner, eller ved at overtrække polymeren og på denne måde forhindre polymerens kontakt med oxygen, eller ved at påvirke forbrændingen gennem reaktion med materialet, som har anderledes fysiske egenskaber.

Forstærkningsmaterialer

Forstærkningsmaterialer tilsættes plastmaterialerne for at forbedre tryk-, bøjnings- og trækstyrken. Endvidere for at forbedre plastmaterialets styrke under varmepåvirkning.

Fyldstoffer

Fyldstoffer tilsættes for at øge volumenet og reducere produkt- og fremstillingsomkostningerne. Fyldstofferne forringer ofte egenskaberne, men enkelte fyldstoffer tilsættes for at opnå bedre styrke, hårdhed, isolering eller udseende.

Slipmidler

Slipmidler tilsættes for at give plastmaterialet bedre slipegenskaber, dvs. emnet bliver lettere at fjerne fra værktøjet.

Kan også sprøjtes direkte ind i værktøjet, hvilket selvfølgelig skal gøres ofte.

UV-stabilisatorer

Ved påvirkning af ultraviolet lys nedbrydes polymermolekylerne i de fleste plast. Denne nedbrydning forringer plastens mekaniske egenskaber. Endvidere bliver emneoverfladen forvitret, og emnet mister sin farve.

Dette kan delvis hindres ved tilsætning af små mængder UV-stabilisatorer.

Varmestabilisatorer

Varmestabilisatorer anvendes først og fremmest i PVC, som i ustabiliseret form vil blive nedbrudt allerede under forarbejdningsprocessen.

Alternative sprøjtøbeteknikker

I den korte tid, sprøjtøbmaskinen har eksisteret, har teknologien på området udviklet sig med hastige skridt.

Udviklingen på området er i dag så omfattende, at der her kun vil blive givet en meget kort omtale af de mest anvendte teknikker, da mange af dem stadig er på udviklingsstadiet.

- *Flerkomponent sprøjtøbning*
Bruges, hvor der er behov for at støbe to eller flere komponenter/farver sammen i de samme eller forskellige plast.
- *Interval-sprøjtøbning*
Bruges til at lave flerfarveeffekter på emner.
- *Sandwich-støbning*
Bruges, hvis der er brug for flere lag plast i et emne.
- *Gasinjektions-støbning*
Bruges ved meget store godstykkelser og/eller, hvis der er brug for emner, hvor der er delvise hulrum.
- *Insert moulding*
Anvendes, hvor der omstøbes omkring ilægningsdele (skruetrækkere, spoler osv.)
- *In mould labeling (IML)*
Sprøjtøbeprocess med automatisk ilægning af folier eller labels, der anvendes meget inden for emballageindustrien.

Der er selvfølgelig mange flere teknikker på området, og yderligere informationer kan skaffes fra de respektive maskin- og råvareleverandører.



Co injection:

Co injection bruges til forskelligt, det er en proces hvor man har muligheden for at sprøjte et materiale ind i et andet, hvis man har et element, der har en stor godstykkelse hvor der er krav til at der er brandhæmmer i overfladen, så kan man vælge at lave en tynd hinde med brandhæmmer så fylde ud med et billigere materiale. Processen kan også bruges til at opnå en visuel effekt, ved at man laver den første hinde så tynd at man gennem-bryder med andet skud. Det stiller krav til at de materialer man vælger at benytte kan binde med hinanden ellers vil man få store problemer med delaminering.

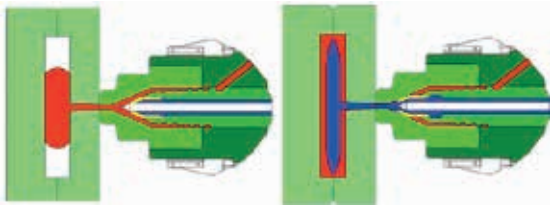


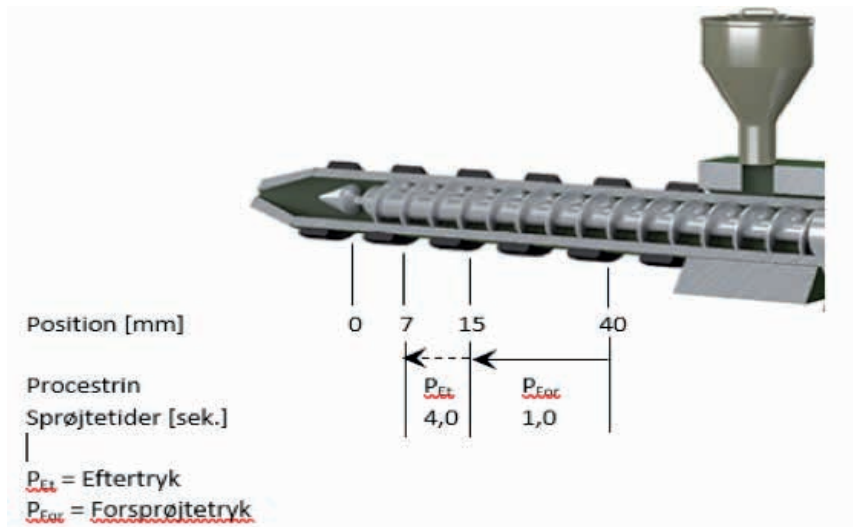
Illustration af Engel mikserhoved og funktion.

Det kræver en special maskine/ eller udstyr, at kunne køre co injection. Selve lukkesiden er den samme som på en standard maskine. Karakteristisk for en co injection maskine er at der er to snekker, som er forbundet, der hvor der på en standard maskine sidder en forskrunding og en dyse, ender begge snekker ud i et mikserhoved. Snekkerne kan være monteret horisontalt og vertikalt, eller side by side. Ved at forbinde dem med et mikserhoved, opnås at begge snekker får det samme indsprøjtnings punkt.

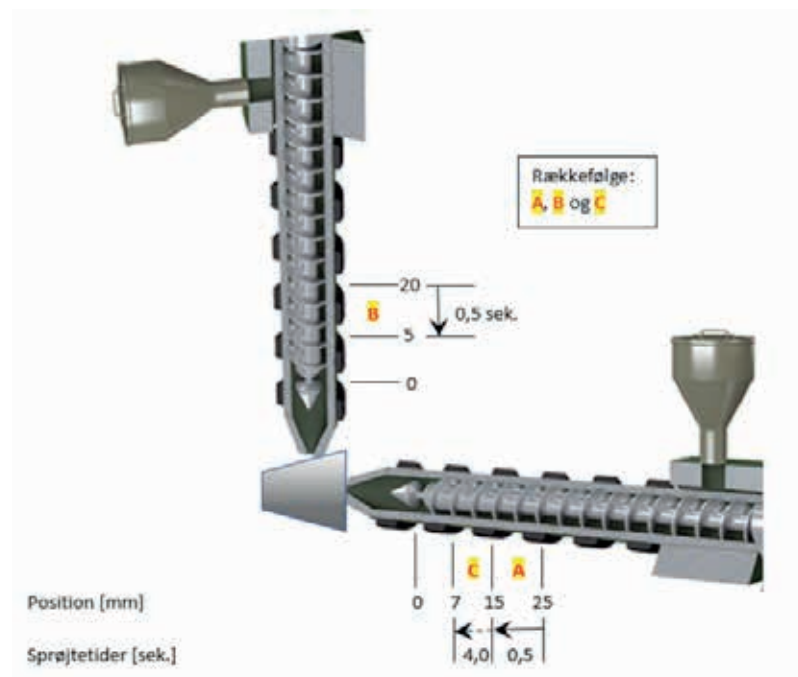
Der sidder i mikserhovedet en form for spærring som flyttes frem og tilbage med sprøjtetrykket, funktionen af denne er at lukke for den snekke der ikke er aktiv.

Der er nu to muligheder, enten har man investeret i en maskine der har et co injection program, eller man har en almindelig 2K maskine, så man bruger forsinkelsestider til at skabe sit eget program. Det er kun muligt at skabe en stabil proces ved at køre med eftertryk, da omkoblings punkterne på begge snekker skal bruges som start signaler.

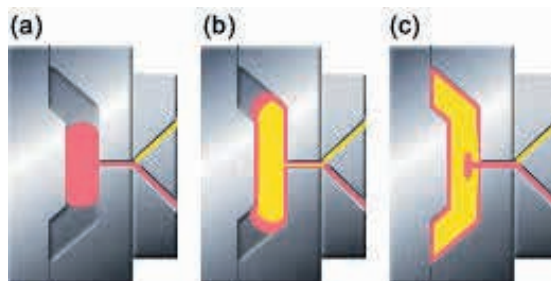
Proces, ved en standard maskine indstiller vi en doceringsvej efter hvornår emnerne er 99% fyldte, eksempelvis en doceringsvej på 40 mm og en omkobling på 15 mm, ved de 15 mm kobler vi om og efterfylder emnet med eftertrykket.



Processen ved co injection er den samme, her der er mængden af materiale fordelt på to snekker, hvis vi tager udgangspunkt i samme scenarie som ovenfor hvor doseringen er 40 mm og omkoblingen er 15, så ved vi at der skal ca 25 mm til at fylde emnet 99%, hvis man så indstiller snekke 1 til en docering på 25 mm en omkobling på 15mm, snekke 2 indstilles så til en docering på



Det er ikke forudbestemt hvilken snekke man starter med, det er valgfrit, det der er vigtigt er at man hvis man har valgt co injection til at opnå en visuel effekt, altid vælger den samme snekke at starte med. Man vælger at pakke med eftertryk på den samme snekke som man starter med, for at sikre at mikserhovedet er rens og i det rigtige materiale til næste skud.



Forsegling af det støbte element ved at starte og slutte med samme farve/materiale /sprøjteaggregat

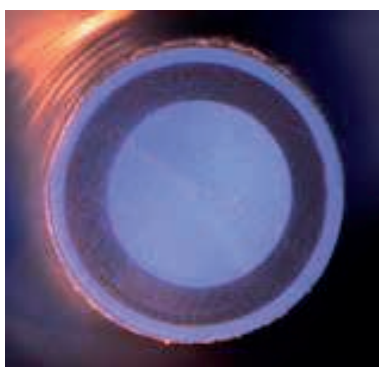
I princippet kan man vælge at bruge en hvilken som helst almindelig form, til at køre med i sin co injection maskine, hvis man udelukkende er ude efter en visuel effekt. Her skal man være opmærksom på indløbet og dets udformning, det har stor indflydelse på emnernes visuelle fremtoning, ved forgreninger og afriver stifter, forstyrre man materialets flydevej. Herunder tværsnit af trapezformet indløbsstreng, rund efter afriver stift, rund inløbs streng uden afriver stift.



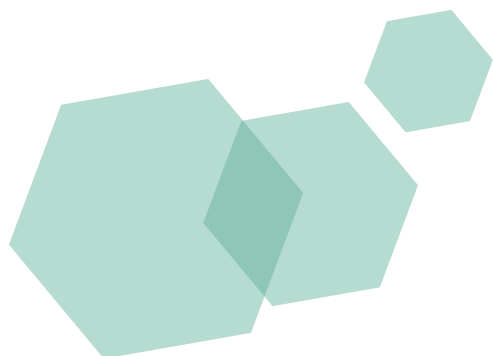
Trapezformet indløbsstreng.



Rund indløbsstreng efter afriver stift.



Rund inløbs streng uden afriver stift



EKSTRUDERING

Drænrør, gasrør, vandrør, kloakrør, nedløbsrør og andre rørtyper er fremstillet ved ekstrudering. (Danatech ApS/AMUT)

Eksempler på ekstruderede produkter

Profilen fremstilles både som bløde lister og hårde og stive profiler til fx vinduer. (Battenfeld)

Folier kender vi fx som bæreposer og indpakning af fødevarer. (BFA Plastics GmbH)

Isoleringen på ledninger og kabler. (NKT Cables A/S)

Fibre til tøj, tæpper og garn og stive hår til koste og børster. (BASF)

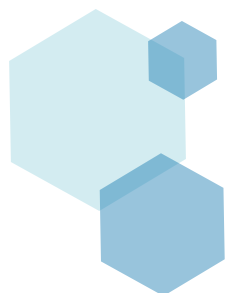


Produkterne

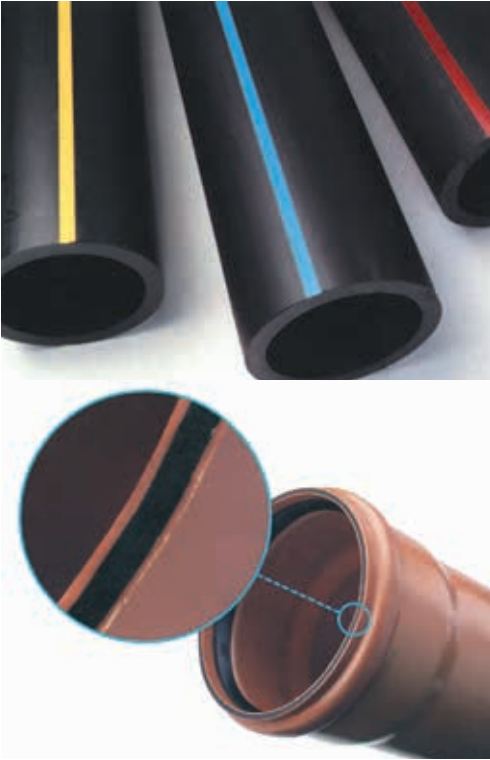
Mange plastprodukter, som vi bruger i dagligdagen, er fremstillet ved ekstrudering. Et kendetegn ved ekstruderede produkter er, at de bliver fremstillet i endeløse længder. Bl.a. kan nævnes rør til naturgas, kloakrør, nedløbsrør, tagrender og haveslanger.

Selvfølgelig er de nævnte produkter ikke endeløse, men er savet op i passende længder. Processen er endeløs, forstået på den måde, at når maskinen er startet op, kan man i princippet lave en haveslange, der når helt til månen eller for den sags skyld endnu længere, blot man har råvarer nok osv.

Desuden fremstilles profiler ved ekstrudering. Sådanne profiler kan fx være tagrender i plast, profiler til vinduer og et antal af profil-lister i både hårde og bløde materialer.



Enkel form for coekstrudering, hvor man lægger en stribe af en anden farve plast ind i overfladen på røret. Farven på striben angiver, hvilket tryk røret kan tåle. (Icopal A/S)



Coekstrudering af hele rør kan også lade sig gøre. Det viste rør består af tre lag. (Uponor A/S)

Plader fremstilles også ved ekstrudering. Sådanne plader kan fx anvendes som klare plader omkring en brusekabine eller til hylder i små skabe. Endvidere anvendes en stor del af ekstruderede plader til termoformning. Sådanne termoformede emner kan fx være bakker til kød eller drikkebægre til kaffe.

Folier kan også fremstilles ved ekstrudering. Folierne kan skæres op og svejses sammen til fx bæreposer. Folie kan fx også svejses på som låg på termoformede bakker til kød.

Foruden disse emner ekstruderes isoleringen på strømførende ledninger, kapperøret på fjernvarmerør og kappen på rør og ledninger, som lægges ned på havbunden.

Hårene på børster og koste, massive stænger samt mange beholdere, dunke og flasker er også ekstruderede produkter.

De produkter, der fremstilles ved blæsestøbning, er hule emner fx flasker til kropsplejemidler, drikkevarer, madvarer, rengøringsmidler, syrer og opløsningsmidler. Desuden fremstilles mange andre produkter fx olie- og benzindunke, parasolfødder, juletræsfødder, bolde, vandkander, vejsten, sprinklervæskebeholdere, benzin- og dieseltanke til biler, store tønder og tromler, hvoraf nogle kan rumme op til flere hundrede liter, ved ekstrudering.

I princippet kan alle termoplast ekstruderes. Der anvendes både hårde og bløde plasttyper samt ekstra bløde gummi-/ plasttyper. Ofte ekstruderes en hård plastprofil sammen med en blød gummiprofil. Sådanne profiler kan fx anvendes som glaslister til vinduer. Denne proces, hvor man smelter to forskellige plastmaterialer sammen

Eksempler på blæsestøbte produkter (BASF)



under processen, kaldes for coekstrudering. Ved denne proces er der en ekstruder for hver plasttype, som skal ledes ind i formgivningsværktøjet.

Coekstrudering anvendes også til fremstilling af 2-lags eller flerlags rør, folier, plader og andre produkter, hvor man ønsker forskellige egenskaber på yder- og inderside. Ønsket kan også være at anvende genbrugsplast i det midterste af tre lag. Der fremstilles produkter, hvor der ekstruderes op til 9 lag sammen i en plade eller andre emner.

Ekstruder

Hvis man skal sammenligne ekstruderen med noget, de fleste kender, er det nærmeste, man kommer, nok en kødhakker. Her putter man kødet i tragten, og sneglen fører kødet hen til kniven, som skærer kødet i stykker. Derefter presser sneglen kødet ud gennem hullerne i pladen, og kødet er klar til videre anvendelse. Den samme kødhakker bliver ofte også brugt til fremstilling af småkager. Så fjerner man evt. kniven og sætter en skive foran med et hul, der svarer til småkagernes form. Nu presses dejen ud gennem et fx stjerneformet hul, og dejen kommer ud som en stang med et stjerneformet tværsnit.

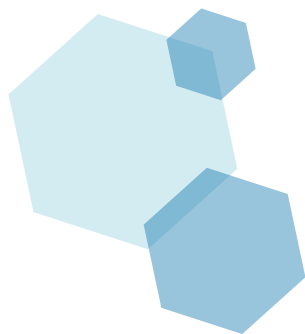
Ekstruderen arbejder efter samme princip, dog uden kniv. Materialet, som oftest er plastgranulat, hældes i tragten, og sneglen, som vi nu kalder snekken, drejer rundt og skubber plastgranulaterne fremad mod hullet (som kunne være stjerneformet). På vej hen mod hullet varmes plasten op. Den temperatur, som plasten varmes op til, kan være fra omkring 70 °C til flere hundred °C. Når plasten når frem til enden af snekken, skal den ønskede temperatur være nået. Nu er plasten blevet blød og dejagtigt og kan altså formgives gennem hullet til fx en stjerneformet stang.

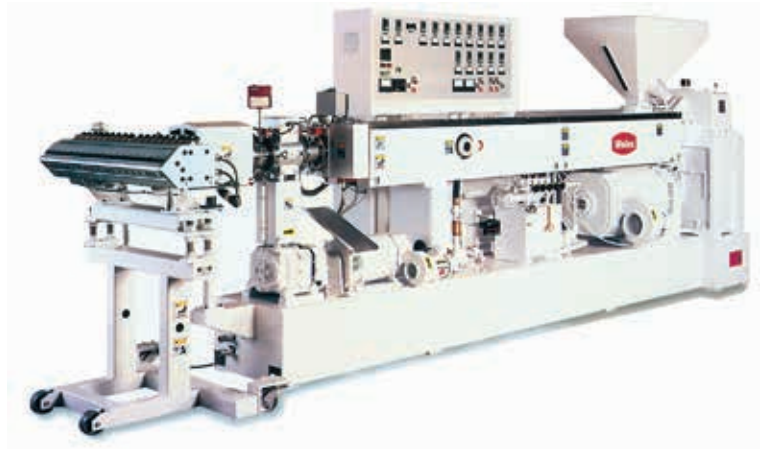
Nu er det dog de færreste emner, der er så simple som en stang. Derfor monteres der et formgivningsværktøj, som kan give plasten netop den form, man ønsker. Den varme plast ledes ind gennem formgivningsværktøjet, hvor den gives den ønskede form. Plasten forlader altså formgivningsværktøjet med præcis den form, som man kender fra rør, profiler og plader m.m.

Efterfølgende skal plasten køles ned igen, således at den kan blive kold og stiv, som vi kender den. Det sker ofte med vand, luft eller imod vandkølet metal. Som regel køles plasten på vej igennem en metalform - denne kaldes for *kalibrator*. Kalibratoren, som omslutter emnet, er med til at fastholde formen af plastemnet under afkølingen, således at de ønskede former og mål bevares eller opnås. Vakuüm eller trykluft kan medvirke til at tvinge plasten ud mod kalibratoren.

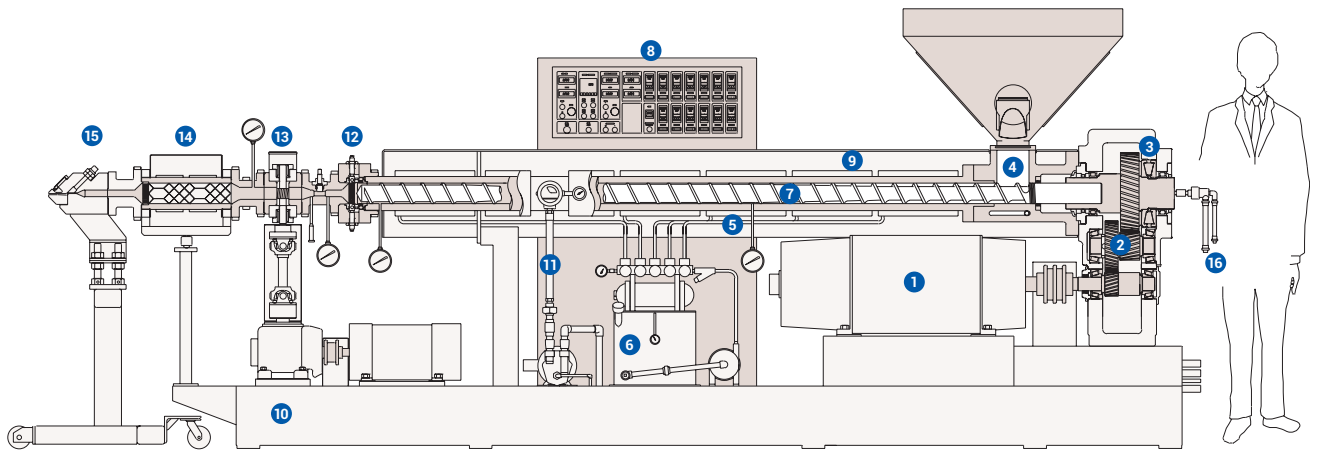
Alle fremstillingsmetoder er dog ikke helt så enkle som her skitseret. Desuden sker der ved nogle processer en efterfølgende bearbejdning eller formning af det produkt, der kommer ud af formgivningsværktøjet. Derfor er de forskellige processer efterfølgende beskrevet i hovedområder, således at overskueligheden bevares.

Der er utroligt mange lighedspunkter mellem de forskellige processer. Fx er hovedprincippet det samme i et formgivningsværktøj til rør, flasker, folie og en firkantet profil.

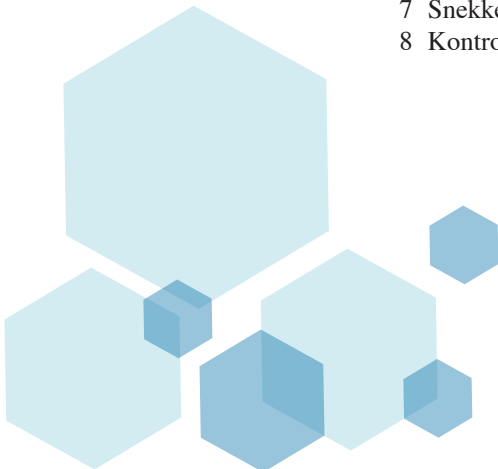




Ekstruder til fremstilling af plader eller folier (Welex Inc.)
 Ekstruderen kan være udstyret med forskelligt udstyr. I dette tilfælde er den udstyret med gearpumpe/smeltepumpe, mikseenhed, fladdysværktøj og snekkekøling.

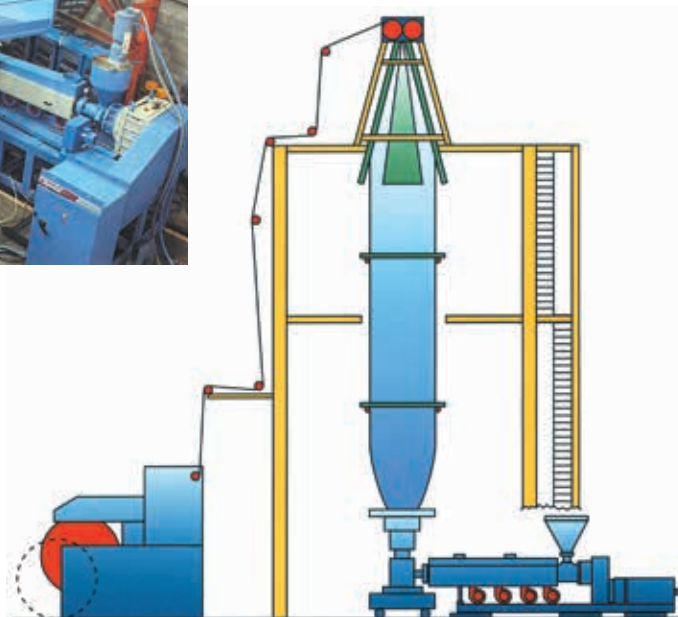


- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 1 Hovedmotor | 9 Dæksel/kappe |
| 2 Gearkasse | 10 Sokkel |
| 3 Trykleje | 11 Vakuumzone |
| 4 Tragåbning | 12 Filter eller modtryksring |
| 5 Varmebånd | 13 Gearpumpe/smeltepumpe |
| 6 Olie- eller vandkøling | 14 Mikseenhed |
| 7 Snekke | 15 Fladdysværktøj |
| 8 Kontrolpanel | 16 Snekkekøling |





Her leverer tre ekstrudere plast til fremstilling af coekstruderet folie. Folien fremstilles som et tyndvægget rør, der blæses op med trykluft til en meget stor diameter, mens det er varmt. (Nextrom)



Folieanlæg (Nextrom)

På vej op mod loftet køles folien af, hvorefter den kan lægges sammen og spoles op på ruller.

Fremstillingsprocesser ved ekstrudering

Fremstillingsproces	Produkter
Pelletering	Fremstilling af granulat, som anvendes både ved sprøjtestøbning og ekstrudering.
Rør	Vand-, gas-, kloak- og elrør, slanger, kapper osv.
Profiler	Paneler, dør- og vinduesrammer, kabelbakker osv.
Folie	Emballage, klar folie på kødbakker, bæreposer, markafdækning osv.
Plader og planfolie	Folier til spånpladebelægning, termoformning, emballage, afskærmning osv.
Monofilamenter	Fiskesnøre, kostehår, tekstilfibre, reb osv.
Kabelisolering og kapperør	Ledninger, kabler, fjernvarmerør, 2- eller flerlags-slanger osv.
Coekstrudering (flerlagsekstrudering)	Forskellige typer eller kvaliteter af plast indgår i det samme produkt.
Flasker	Sæbeflasker, dunke, vandkander, vejsten osv.

Processen

Ved ekstrudering starter processen ved tragten. Råvaren, som for det meste er granulat, hældes i tragten. Visse plasttyper kræver forudgående tørring, da de suger fugt. Granulatet falder ned omkring den roterende snække.

Snekken er udstyret med et meget kraftigt gevind, som, når den drejes rundt, skubber/skruer granulatet fremad mod enden af snekken.

Snekken er placeret i en cylinder (et meget kraftigt stålrør/emnerør), hvorpå der er monteret elektriske varmekåber, temperaturfølere og eventuelt køleblæsere. Når snekken ved sin rotation transporterer granulatet fremad, opvarmes det af varmen fra varmekåberne på cylinderen. Cylinderen kan også være opvarmet med olie, som cirkulerer i rør uden om den. Samtidigt med rotationen sker der en kraftig udvikling af friktionsvarme (varme, der opstår som følge af tryk og gnidning).

Snekkenes normale udformning gør, at der er mest plads til granulat mellem gængene under tragten. Længere fremme bliver pladsen mindre, hvorved granulatet kommer under stigende højt tryk og der udvikles friktionsvarme. Temperaturfølerne, som er jævnt fordelt hen over cylinderen, kontrollerer temperaturen. Hvis temperaturen bliver for høj, starter køleblæserne, så den holdes nede. Desuden er mange snekker hule indvendigt, og det er muligt at fjerne noget af overskudsvarmen ved at køle snekken gennem hulrummet.

Når granulatet, som nu efterhånden er helt flydende og dejagtigt, kommer hen mod snekkespidsen, sker der på grund af rotationen en kraftig blanding og æltning, som resulterer i en ensartet masse.

Denne masse bliver nu presset ud gennem et formgivningsværktøj.

Hertil er alle ekstruderingsprocesser i princippet ens, bortset fra at der findes næsten lige så mange forskellige ekstrudertyper, som der findes biltyper. Der findes typer med kun lige det nødvendige udstyr, og der findes typer med en masse ekstraudstyr, hvor det er muligt at programmere alt samt at overvåge og justere alt elektronisk.

Der findes meget små ekstrudere, og der findes meget store. De mindste forarbejder 5-10 kg i timen, mens de største kan forarbejde op mod 2.000 kg pr. time. Enkelte kan endda forarbejde 3.000 kg i timen. Der findes også ekstrudere med to snekker, hvor gængerne går i indgreb med hinanden. De kaldes for dobbeltsnekke ekstrudere og anvendes overvejende til forarbejdning af stiv PVC, når det leveres som pulver.

Men på trods af disse store forskelle i udstyret er opgaven den samme, nemlig at få plasten opvarmet til den rigtige temperatur, få den gennemæltet og blandet, således at den er fuldstændig homogen, når den kommer ind i formgivningsværktøjet.

Pelletering

Der fremstilles granulat ved to grundlæggende metoder. Plasttypen og andre forhold kan være afgørende for, hvilken af metoderne der anvendes.

Der er to typer af granulat. Granulat er normalt runde skiver af varierende diameter, og af varierende længde eller tykkelse. Forskellen på de to typer er ud over diameteren og længden, at den ene type er med pæne, afrundede endeflader, mens den anden type har skarpe og meget uens endeflader. Årsagen til de uens og skarpe endeflader er, at disse granulater oprindeligt var tynde, runde stænger, som er blevet hugget eller klippet over i små korte stykker ved hjælp af en pelletizer, en maskine, som indeholder hurtigt roterende knive.

Ved granulater med pæne, afrundede endeflader er fremstillingsmetoden følgende: Formgivningsværktøjet kan sammenlignes med den kendte hulplade i kødhakkeren. Snekken presser den opvarmede og smeltede

plastmasse ud gennem hullerne. På den udvendige side af hulpladen sidder en roterende kniv, som skærer de varme plaststænger over i korte stykker. Når platen er varm, medfører det, at skiverne får pæne og glatte endeflader.

Nu skal skiverne afkøles ret hurtigt igen, ellers smelter de sammen. Afkøling kan ske, ved at granulatet blæses over i en silo, hvor rotation og vedvarende køling forhindrer sammensmeltning. Denne kølemetode kan anvendes til de plasttyper, som ikke klæber særligt meget i varm tilstand.

Køling af klæbende materialer kan ske, ved at granulatet falder ned i et cirkulerende vandbad. Også her er cirkulation vigtig for at undgå sammensmeltning. Efter at granulatet er afkølet, føres det til en centrifuge, som filtrerer vandet fra.

Efter køling og eventuel efterfølgende tørring kan granulatet fyldes i sække eller såkaldte octabiner (paptønder, som rummer ca. 1 ton).

Ved den anden pelleteringsmetode, hvor granulatene har skarpe og uens endeflader, er fremstillingsmetoden følgende: Platen ledes som før gennem en hulplade, men bliver ikke klippet over. Strengene føres derimod gennem et vandbad og afkøles.

Først efter afkølingen passerer de nu hårde og stive strenge en roterende kniv, og derfor får granulatene skarpere brudflader i enderne.

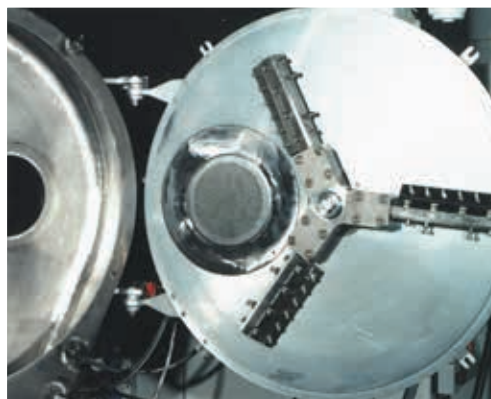
En af årsagerne til at man i nogle tilfælde vælger at køle inden klipningen, er, at visse plasttyper er meget bløde og klæbende, når de er varme, og derfor vil sætte sig på den roterende kniv.

Pelleteringsanlæg findes i størrelser fra meget store anlæg, som kan pelletere op mod 75 tons i timen, til ganske små anlæg, som kobles på en eksisterende ekstruder, til pelletering af 25-50 kg i timen.

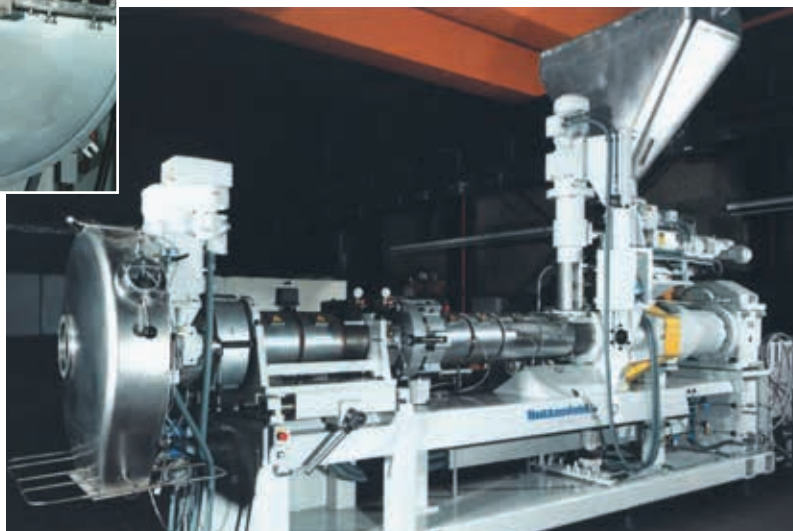
Mange virksomheder har et mindre anlæg stående til pelletering af såkaldt regenerat, der er knust affaldsplast.

Fordele ved at pelletere regenerat kan være mange. Bl.a. sikrer man derved, at man får et ensartet granulat, som sikrer ensartet fyldning af ekstruderen. Eventuelt snavs bliver fanget af filtrene i regenereringsanlægget og vil

Huldysse og roterende kniv til fremstilling af granulat (Battenfeld)



Dobbeltsnekke ekstruder med pelleteringsudstyr (Battenfeld)



ikke efterfølgende forstyrre en kostbar produktion med høje kvalitetskrav. Man har desuden mulighed for at tilsætte ekstra proceshjælpemidler under pelleteringen, hvis der er behov for det. I mange tilfælde vil fejlblandning i affaldsplast også blive opdaget under pelleteringen. Skulle man mod forventning have fået blandet to plasttyper i samme container med knus, vil det ofte afsløres under pelleteringen, og stop i produktionen kan undgås.

Kort og godt: Man sikrer sig langt bedre kvalitet og udnyttelse af affaldsplasten, når den bliver knust og efterfølgende pelleteret.

Rør og profiler

I formgivningsværktøjet, også kaldet ekstruderhovedet eller bare værktøjet, sker den endelige formgivning af den opvarmede plastmasse. Værktøjet er normalt placeret i umiddelbar forlængelse af ekstruderen.

Værktøjerne kan have utallige størrelser og former, men de mest almindelige er nok rør- og profilværktøjer. Plastmassen formes gennem et kanalsystem inde i værktøjet til et rør eller et profil. Når profilet forlader værktøjet eller dysen, som det sidste stykke på værktøjet kaldes, kan det afkøles i en kalibrator og fastholdes på de rigtige udvendige mål. Kalibratoren til rør er som regel anbragt i begyndelsen af en lang vakuumkøletank, hvor røret bliver overbruset med koldt vand. Andre profiler kalibreres ofte i vakuumkalibratoren, som er anbragt på et justerbart bord. Kalibratorene har indbyggede kølevandskanaler. De nu kolde og stive rør eller profiler forlader kølesektionen og føres gennem trækbænken.

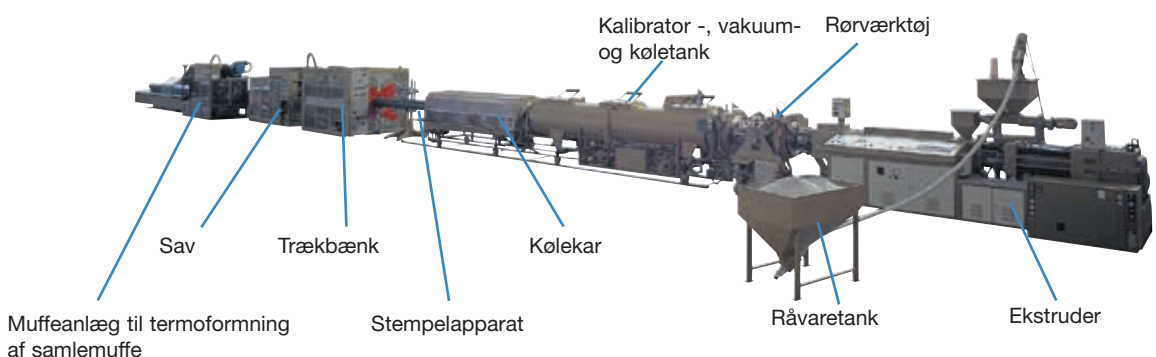
Trækbænken er udstyret med to eller flere larvebånd belagt med gummi. Disse larvebånd trækker profilet gennem kølekassen, fra det forlader dysen. Trækbænken skubber desuden røret/profilet ind gennem en sav, som afkorter røret/profilet i de rette længder.

Der fremstilles rør og slanger i størrelser fra under 1 mm til over 2 meter i diameter, og der fremstilles profiler fra under 1 mm og op mod 2 meter i bredden.

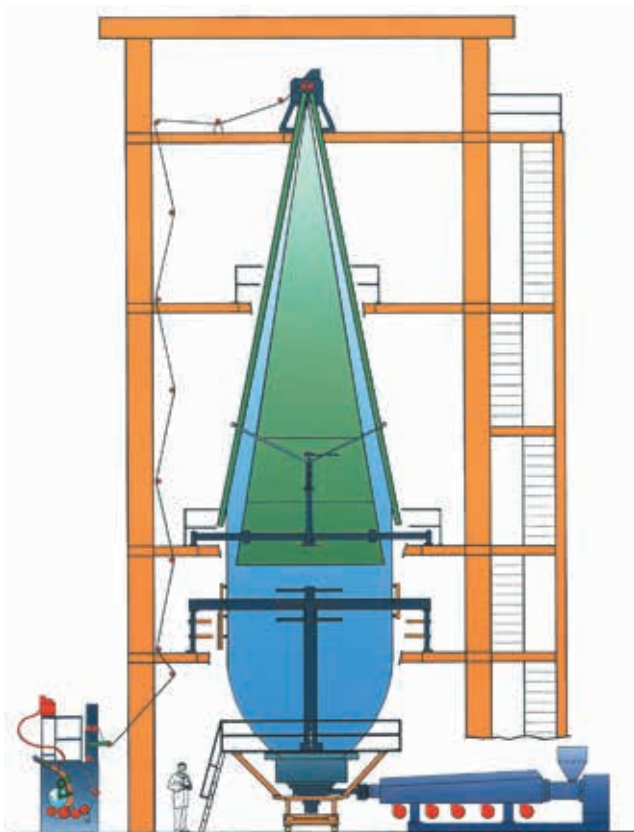
Profilanlæg bestående af ekstruder, kalibratorbord med vakuumkalibratoren, trækbænk og afkorter (Battenfeld)



Røranlæg (Danatech ApS/AMUT)



Folieanlæg bestående af ekstruder med fem køleblæsere, forbindelsesstykke, folieværktøj med udvendig og indvendig køling, falsplader og fladlægningsudstyr, aftræksvalser, banestyr og opvikler (Nextrom)



Folie

Rørværktøjet kan også være rejst op på enden, således at dysen vender opad. Man monterer da blot et rør som forbindelsesstykke mellem ekstruderen og værktøjet. Ekstruderen er da ofte placeret meget tæt på gulvet. Plastmassen bliver da presset af snekken gennem forbindelsesstykket ind i bunden af værktøjet og lodret op gennem rørværktøjet.

Røret, som kommer op af dysen, føres op gennem et tårn til to valser, der klemmer røret helt fladt. Disse to valser trækker røret noget hurtigere, end dysen afleverer dette. Derved bliver godstykkelsen mindre.

Samtidigt er det muligt at blæse luft ind igennem værktøjet, op gennem dysen og ud indvendigt i røret. Når man således blæser en masse luft ind i røret, der er klemt fladt af valserne i toppen, vil det blæses op til anseelig størrelse præcis som en ballon. Når ballonen har den størrelse, man ønsker, lukker man for luften.

Nu vil det nye rør, som til stadighed kommer ud af dysen, tvinges uden om denne store luftmængde, som er inde i røret mellem dysen og valserne. Godsvæggen i røret bliver som før nævnt mindre, da valserne kører hurtigere, men ved at diameteren også bliver øget, bliver væggen yderligere reduceret. Dette resulterer i, at røret, som fra starten typisk er 1-1,5 mm tyk, ender med at være mellem 20 og 200 μm tykt.

For at få folien (boblen) kølet, er der monteret en kraftig blæser, som blæser luft op omkring boblen.

På de store anlæg kan der yderligere være monteret en kraftig blæser og en lige så kraftig suger til at skifte luften inde i boblen ud kontinuerligt. I disse værktøjer er der etableret to kraftige kanaler op gennem værktøjet. Gennem den ene blæses kold luft ind i boblen, og i den anden suges lige så megen luft ud af boblen. Dette kan man styre så præcist, at boblen konstant bibeholder den samme størrelse.

Efter at røret (rørfolien) forlader valserne, føres det som regel ned mod gulvet og bliver spolet op på store ruller.

Siden kan rullerne omspøles, trykkes med billeder og lignende og svejses sammen til forskellige former for poser og emballage.

Der fremstilles folier fra omkring 10 μm til 3-400 μm i tykkelse. Boblen kan variere fra omkring 100 mm til over 5 meter i diameter.

Plader

Breddyse- eller fladdyseværktøjet sidder ligesom rør-/profilværktøjet i umiddelbar forlængelse af ekstruderen. En fladdyse er et meget bredt værktøj, der former plastmassen ud i stor bredde. Her afleverer den platten med ensartet godstykkelse af form som en plade eller folie. Pladen/folien ledes gennem et sæt af valser, normalt 2, 3 eller 4, som køler og



Fladdyseanlæg bestående af ekstruder og kontrolskab, gearpumpe/smeltepumpe, fladdyseværktøj, kølevalser, rullebord og aftræk (Welex Inc.)

Monofilanlæg bestående af ekstruder med gearpumpe/smeltepumpe, dyseværktøj, kølekar, aftræk, ovn eller varmebad, trækstation, ovn, trækstation og (uden for billedet) en opspolesektion (Semex/MECCANICHE MODERNE)

udglatter eventuelle ujævnheder. Hvis pladen/folien skal have en nopret overflade, er mønstret præget i den første valse.

Pladen/folien kan udskæres som plader eller opvikles som folie på ruller til senere forarbejdning eller bearbejdning.

Folier eller plader kan fremstilles fra få μm i tykkelse til over 10 mm. Bredden kan variere fra ca. 250 mm til omkring 4 m.

Monofilamenter

Vi kender dem fra fx tøj og tæpper. Vi kender dem fra fiskesnøre og garn, og vi kender dem fra tykke og stive kostehår. De kaldes under ét monofiler eller fibre. Det er alt fra meget tynde fibre til meget tykke børstehår.

Ekstruderen presser plastmassen hen til en dyse med et passende antal huller. Efter at trådene er presset ud af dysen, ledes de gennem et kølende vandbad. Efter afkølingen opvarmes trådene igen og strækkes til mindre tykkelse.

Baggrunden for at trådene strækkes, er, at molekylerne skal rettes ud, således at de kommer til at ligge side om side på samme måde som fibrene i et reb. Derved opnår tråden/fibren optimal styrke.

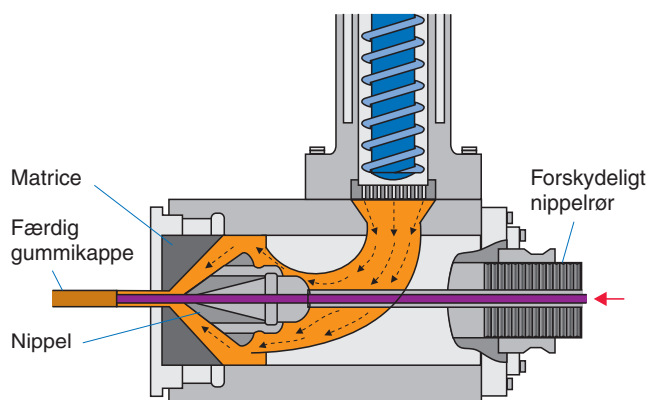
Efter strækningen spoles trådene/fibrene op på spoler og kan senere gå til videreforarbejdning, fx i et væveri.



Kapperør, isolering på elledninger osv.

Værktøjet ligner lidt et rørværktøj, men den afgørende forskel er, at der er et hul på langs midt gennem værktøjet. Heri ledes tråden eller emnet, som skal påføres plastisolering.

Det betyder, at plastmassen skal ind gennem siden af værktøjet. Gennem kanaler i krydshovedet formes plastmassen nu til et rør uden om tråden.



Krydshoved

Ekstruderen står på tværs af linjeretningen og leverer plasten ind gennem siden af værktøjet. Plasten fordeler sig rundt om dornen på vej hen mod dysen. I nogle krydshoveder er der vakuum inde i værktøjet, som skal sikre, at plastrør lægger sig tæt op ad den tråd, som skal isoleres.

Metaltråden ledes ind gennem hullet, og plastrøret lægger sig som en kappe (isolering) omkring tråden. For at sikre at isoleringen slutter helt tæt ind til tråden, etableres der ofte vakuum mellem tråd og kappe.

Princippet er generelt set det samme, om det er en tråd, der skal isoleres, eller det er en haveslange med vævet armering, der skal have det yderste lag plast på. Princippet bruges også, hvis man har brug for at lægge et vand- eller olierør ned på havets bund. Disse rør er ofte armeret med stål for at klare det meget høje tryk. For at beskytte stålet mod rust lægges en plastkappe yderst.

Ligeledes anvendes dette system, når man ønsker at lægge et kapperør på isolerede fjernvarmerør. På den måde er rørene beskyttet mod fugt og mod dyr, som kunne ødelægge isoleringen.

Blæsestøbning

Blæsestøbning ofte også benævnt "flaskeblæsning" er egentligt udviklet til produktion af flasker, derfor navnet flaskeblæsning. Men da man også fremstiller mange andre hule emner end flasker, er det blevet mere almindeligt at bruge ordet blæsestøbning.

På engelsk hedder det "blow moulding", på amerikansk "blow molding" og på tysk "Extrusionsblasformen".

Ordet "blæse" indgår, da der er tale om, at man klemmer et stykke varm slange af plastmateriale flad i den ene ende, hvorefter slangen blæses op som en ballon. Når man i dette tilfælde blæser ballonen op inde i en form med et hulrum som fx en flaske, får den form som en flaske.

Den slange, man blæser op, er varm og blød, og lader sig let forme. Formen er kold, og derved stivner den opblåste ballon/flaske, når den blæses ud mod formen.

Om slangen bruges ofte også det amerikansk/engelske ord "parison".



Hospitalssektoren og industrien er storforbrugere af blæsestøbte emner.

I formen ses blæsestøbte væskebeholdere i åben blæseform inden afformning.

(BASF)

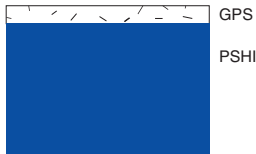
Coekstrudering

Inden for alle de nævnte eksempler er det desuden muligt at foretage det, der hedder coekstrudering. Det betyder, at man har to eller flere ekstrudere (normalt maksimalt seks), som afleverer plastmassen ind i det samme værktøj. Værktøjet er da udstyret med så mange kanaler eller flydeveje, at hver ekstruders plastmasse kommer til at danne et lag i fx folien. Plastmassen flyder ikke sammen inde i værktøjet (det er jo ikke flydende, kun dejagtigt).

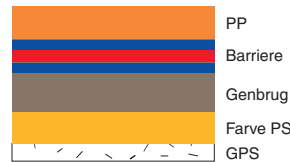
Plastlagene lægger sig lag mod lag, ligesom vi kender det fra lakridskonfekt. Derved er det muligt at lave fx folie til en pose, som er sort indvendigt, hvid i midterlaget og grøn udvendigt. Man kan også bruge forskellige typer eller kvaliteter af plast til de forskellige lag. Ofte bruges genbrugsplast til det midterste lag.

Coekstrudering med forskellige lag kan sammensættes på mange måder. Her vises nogle eksempler med op til syv lag. (Welex Inc.)

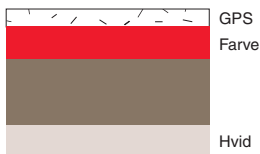
Højglansplade til
levnedsmiddelbeholdere



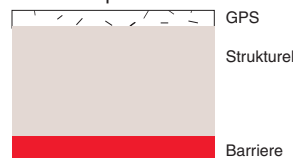
Højbarriere
beholdere



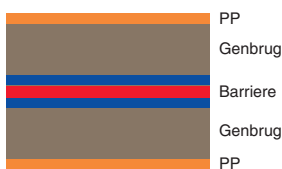
Multicolorplade



HCFC-resistent
køleskabsplade



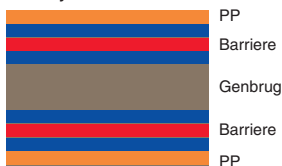
Sterile beholdere



Polyside foldebokse



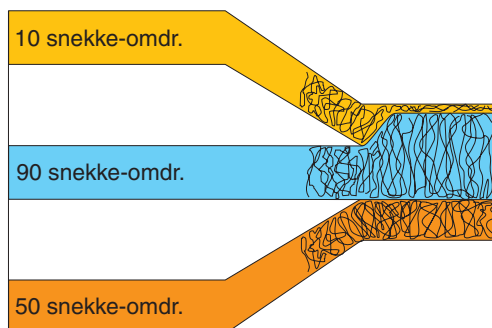
Dobbeltbarriere-plade
for højbarriere-beholdere



Polyside barriere-plade
med singlepolymer-kanter



Her sker der en kraftig ændring i molekyllædernes orientering. Det kan medføre, at der sker en "overstrækning" af toplaget, hvorved dette brister, hvis folien fx efterfølgende termoforms.



Coekstrudering anvendes også, hvis man fx ønsker at fremstille et profil i flere farver. Det synlige er måske kulørt, mens det øvrige er gråt eller hvidt.

Måske ønsker man at fremstille et profil med en blød "læbe" til tætning omkring vinduer. Her leder den ene ekstruder den hårde plasttype ind til selve profilet, mens den anden leder platten ind til den bløde læbe. Inde i værktøjet mødes plasttyperne og smelter sammen.

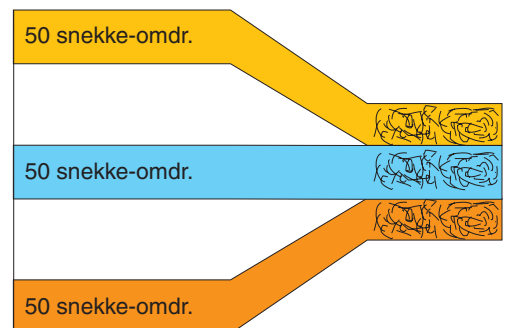
Ikke alle plasttyper kan smelte sammen, så det kræver viden og kendskab, når der skal vælges plasttyper (se skema næste side).

I forbindelse med coekstrudering kan der ofte opstå et problem omkring orienteringsforholdene i platten, når der ekstruderes med forskellig flydehastighed i værktøjet. Det gør sig især gældende, når platten fremføres i to, tre eller flere kanaler. Hvis disse kanaler er af samme størrelse, og flydehastigheden er forskellig, vil der, hvor de mødes, ske en opbremsning af platten i det midterste lag, og dermed opstår en overvejende tværgående orientering i platten (se billedet), mens der vil ske en acceleration og strækning af platten i det øverste lag med langsgående orientering af platten i toplaget til følge.

Disse problemer imødegås imidlertid, hvis kanalerne i værktøjet er tilpasset i størrelse til den lagfordeling, de hver især skal levere.

Ved fladdyseekstrudering undgås problemet ofte, ved at lagene mødes i en fordelerblok, inden de kommer ind i værktøjet. Derefter flyder alle lag i den samme kanal resten af vejen gennem værktøjet. Men det er kun muligt på grund af værktøjets udformning.

Her sker der ingen ændring i molekyllædernes orientering.

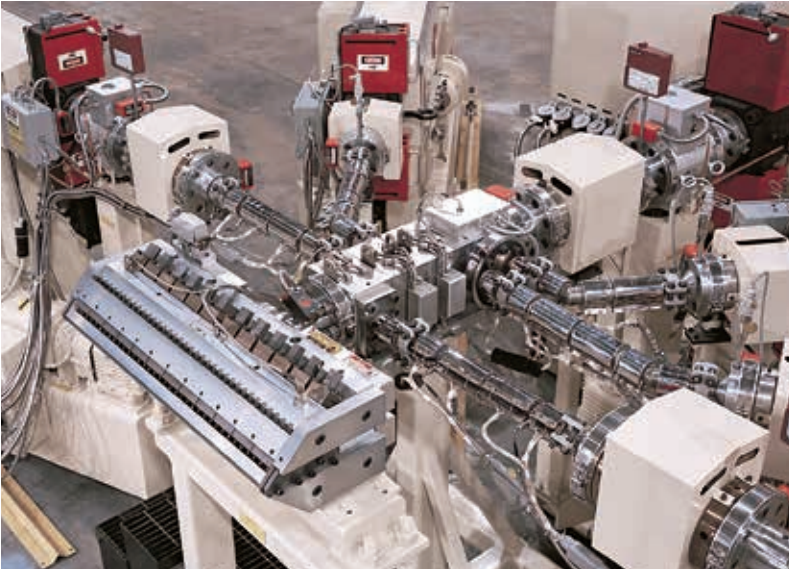


Vedhæftningsevne ved coekstrudering

Med hensyn til hvilke materialer der kan coekstruderes, vises et skema over almindeligt anvendte plasttyper, samt hvor velegnet disse typer er til at hæfte til hinanden.

Materiale	PELD	PEHD	PP	PSLI (low impact)	PSMI (medium impact)	PSHI (high impact)	PS Krystal	ABS*	ABS	Blødgjort PVC	Fleksibel PVC	PC	PUR	PMMA	Nitriler (gummi)	PA 6	EVA	SBS (styren-butadien-styren-triblokopolymer)	
PELD	G	G	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G
PEHD	G	G	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G
PP	G	G	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	G	G	G
PSLI (low impact)	D	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	D	D	D	G	G	G
PSMI (medium impact)	D	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	D	D	D	G	G	G
PSHI (high impact)	D	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	D	D	D	G	G	G
PS Krystal	D	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	D	D	D	G	G	G
ABS*	D	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	D	D	D	G	G	G
ABS	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
Blødgjort PVC	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
Fleksibel PVC	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
PC	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
PUR	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
PMMA	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
Nitriler (gummi)	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
PA 6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G
EVA	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R	D	D	D	G	G	G
SBS (styren-butadien-styren-triblokopolymer)	G	G	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D	R	D	D	D	G	G	G

* Mindre end 20% acrylnitrilindhold
 G = God R = Rimeelig D = Dårlig U = Uheldig ? = Ukendt



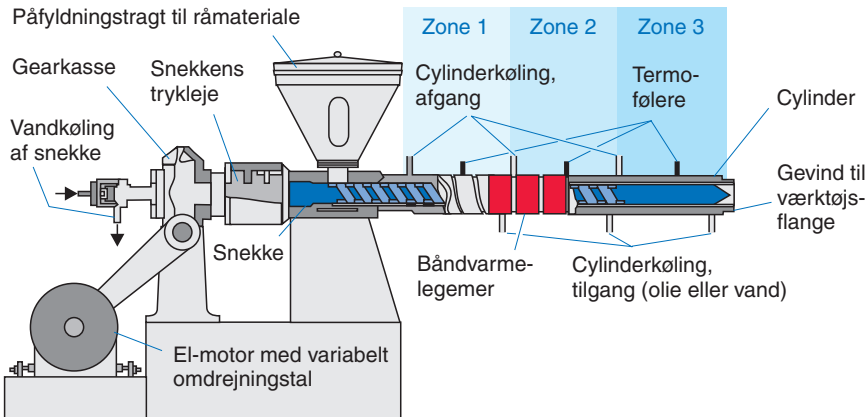
Coekstruderingsanlæg bestående af seks ekstrudere og et fladdysværværktøj (Welex Inc.)

Adiabatisk ekstrudering

Ved det man kalder adiabatisk ekstrudering, opvarmes plastmaterialet udelukkende ved friktionsvarme, dvs. ved sådanne maskiner er varmetilskud kun nødvendigt ved opstart.

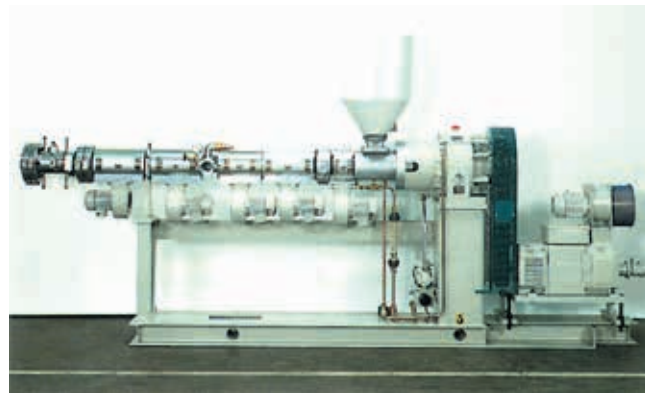
Læs mere i afsnittet ”Adiabatisk ekstruder”.

Ekstruderens opbygning



Enkelt-snekkeekstruderens bestanddele

Enkelt-snekke-ekstruder (Battenfeld)

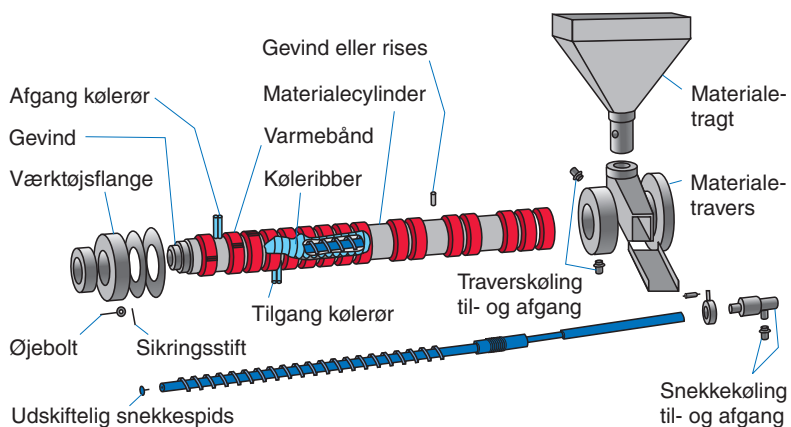




Ekstruder monteret med rørværktøj (Battenfeld)

De enkelte dele omkring materialecylinderen i en traditionelt opbygget enkelt-snekkeekstruder

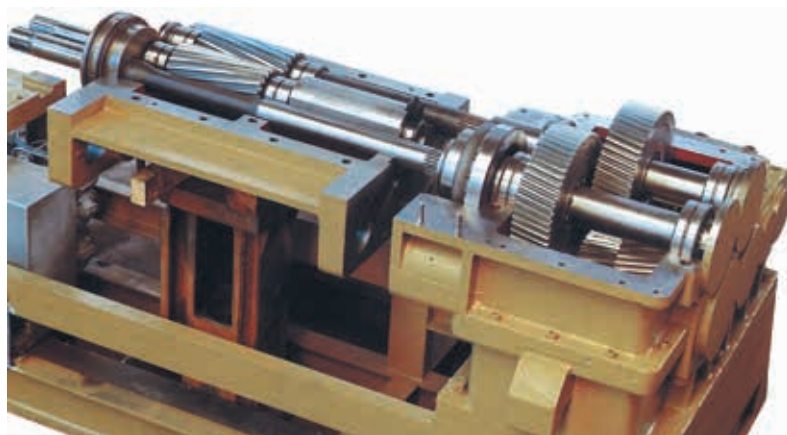
- I tragten er der ofte anbragt et skueglas.
- Traverskølingen skal forhindre, at materialet smelter i tragten.
- Antallet af varmebånd kan være meget forskelligt.
- På tegningen er der kun vist én bajonetkobling til føler. Der er ofte tre eller flere - én for hver zone.
- Der er kun vist én zone med cylinderkøling. Der kan være flere.
- Gevindet på cylinderen er et sårbart område, som skal behandles med stor omtanke.
- Værktøjsflangen kan have mange udformninger. Den her viste er med seks øjebolte og sikringsstifter.
- Den viste snække er med indvendig køling.
- Snekken er sammensat af flere dele og opbygges efter, hvilken plasttype den skal anvendes til.



Gearkassen og dens vedligehold

Alt i ekstruderens gearkasse er bygget kraftigt op. De kraftige tandhjul, som skal overføre de enorme kræfter fra hovedmotoren, kræver selvsagt meget effektiv smøring. Derfor er det af yderste vigtighed, at man hele tiden er opmærksom på, at der er olie nok på gearkassen.

Kraftoverføringen, ofte kileremme, fra hovedmotor til ekstruder skal kontrolleres med jævne mellemrum.



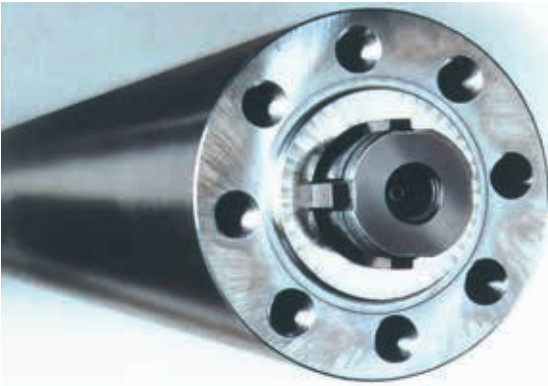
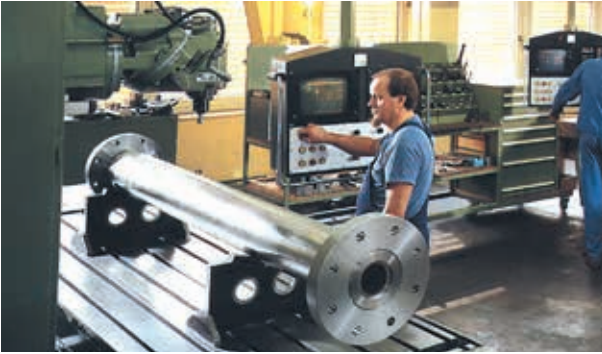
En adskilt ekstruder til dobbeltsnekke

(Danatech ApS/AMUT)

Snekkerne sidder yderst til venstre i umiddelbar forlængelse af de to drivende aksler.

Fremstilling af cylinder (Arenz)

Den her viste er monteret med en kraftig flange, hvormed cylinderen fastspændes på ekstruderen. Den anden flange anvendes til fastspænding af værktøjet på cylinderen.



Cylinder set fra enden med isat snekke
(Arenz)
Bemærk den store vægtykkelse og de kraftige opspændingshuller.

På hovedmotoren er der ofte anbragt et filter, for at der ikke suges uren luft ind i motoren. Disse filtre skal tilses og renses eller skiftes med jævne mellemrum.

Det samme gælder mange kontrolskabe. Herpå er der ofte anbragt en blæser, som blæser rensede luft ind i skabet, da støv ikke må trænge ind og ødelægge elektronikken. Husk at rense eller skifte disse filtre jævnligt.

Cylinder

Cylinderen er bindeleddet mellem tragten og værktøjet. Den er fremstillet som et meget tykvægget stålør eller emnerør. Hullet til snekken er udboret meget præcist, således at snekken lige akkurat kan være i hullet. Der er ved dens konstruktion taget hensyn til en række forhold, der beskrives herunder.

Værktøjsflange/gevind

Et værktøj skal kunne fastspændes til cylinderens afgangsende. Der er her som regel skåret et kraftigt gevind, der bærer en flange med huller til fastspænding af værktøjet.

Spændebolte

Eftersom værktøjet skal holdes på plads mod et meget stort tryk, skal de anvendte spændebolte være fremstillet af specialstål og netop så stærke, at de kan holde til almindelige driftsforhold, men sprænges ved ekstremt høje belastninger (fx ved fejlbetjening eller opstart med koldt værktøj). Boltene er det billigste led mellem ekstruderens værktøj og snekkens trykleje. Derfor lader man boltene virke som sikring.

Det er vigtigt, at alle bolte krydspændes og spændes ensartet. HUSK: Bolte må IKKE efterspændes, før værktøjet er i driftstemperatur. Værktøjet kan udvide sig mere end boltene under opvarmning. Derved er der risiko for, at boltene sprænges.

Varmezoner

Cylinderen skal udvendigt være så glat, at der sikres god varmeoverføring fra de elektriske varmebånd og videre gennem cylindervæggen til plastmaterialet.

Husk: Når der monteres nye varmebånd, skal de efterspændes, efter at der er sat varme på. Varmebåndene udvider sig nemlig meget mere, end cylinderen og øvrige værktøjsdele.

Som før nævnt kan cylinderen opvarmes ved hjælp af olie. Dette sikrer meget præcis temperaturregulering.

Traverskøling

Der kan omkring indløbsåbningen på cylinderen være mulighed for afkøling af cylinderen ved anbringelse af en kølespiral her. Den skal forebygge sammensmeltning af materialet i tragten. Køling foretages her oftest med vand.



Cylinder-/zonekøling

Ligeledes kan der i nogle af cylinderens zoner være uddrejet spiralspor i overfladen til anbringelse af kølekanaler. Kølesystemet anbringes under de elektriske varmebånd og anvendes til at fjerne eventuel overskudsvarme. Kølemediet i disse tilfælde er normalt olie.

Oftest anvendes dog almindelige, elektriske køleluftblæsere, som blæser luft op omkring cylinderen.

Afgasnings-/afdampningszone

På visse typer ekstruder er der en afgasningszone eller en afdampningszone placeret omtrent midt på cylinderen. Hensigten er, at man ved hjælp af vakuum kan suge eventuelle gasser eller fugtresten væk fra plastmassen. Systemet er udviklet til forarbejdning af PVC, men anvendes nu også til andre materialer fx PS og PET, som kan være meget fugtfølsomme.

Notzone

Der kan i indløbszonen være monteret en bøsning med langsgående indføringsriller til at fremme granulattransporten. En sådan bøsning kan være forsynet med selvstændig temperaturregulering eller eventuelt være isoleret fra resten af cylinderen.

I notekstruderen opbygges trykket i fødezone ved hjælp af langsgående noter i cylinderen. Noterne forhindrer plastkornene i at drejes med snekken rundt. Derved tvinges plastgranulatet fremad, selv mod meget højt tryk.

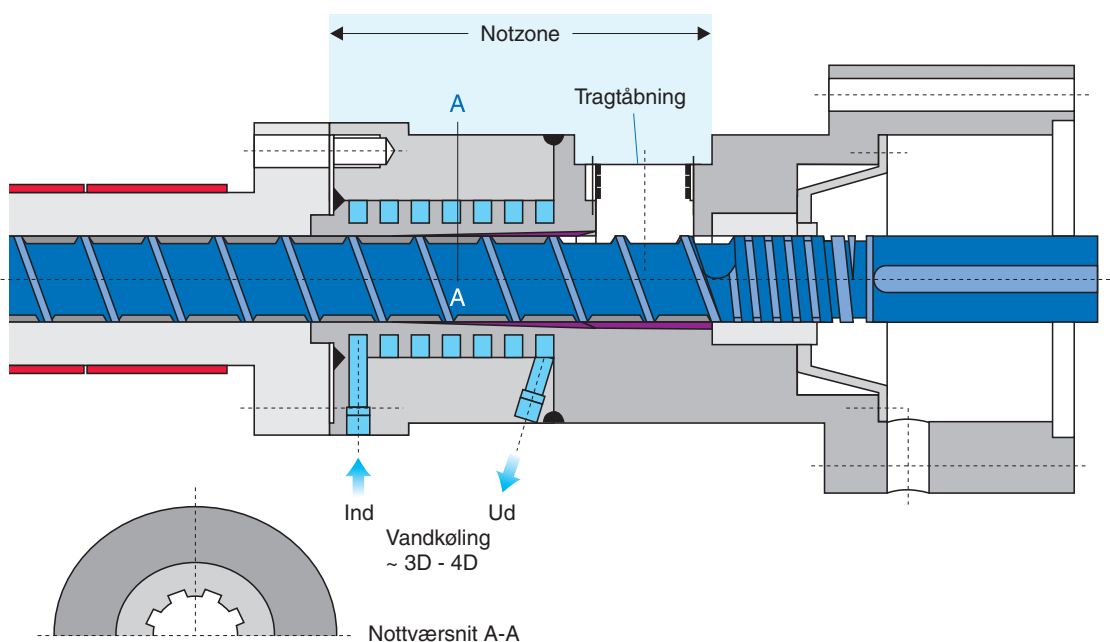
Ved selve trykopbygningen, kompressionen, udvikles der så megen varme, at det er nødvendigt at køle området omkring noterne. Notzonelængden er normalt 3-5 D.

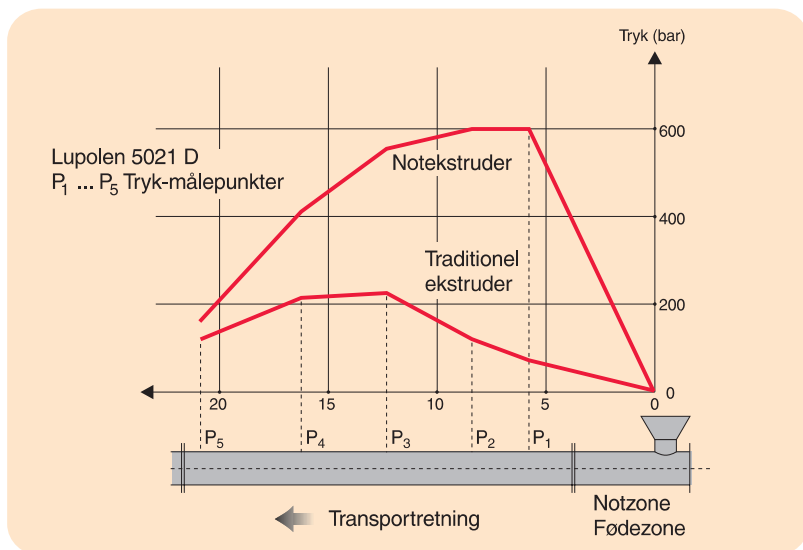
Snekken har ofte stort set samme profil i hele dens længde og er altså ikke bygget op på traditionel vis med føde-, kompressions- og pumpezone.

Dette system er dog ikke velegnet til de plasttyper, hvor der er fare for forbrænding.

Notzonens placering i en ekstruder

Noterne medvirker til at forhindre plastmaterialet i at drejes med snekken rundt. Bemærk vandkølingen omkring notbøsningen.





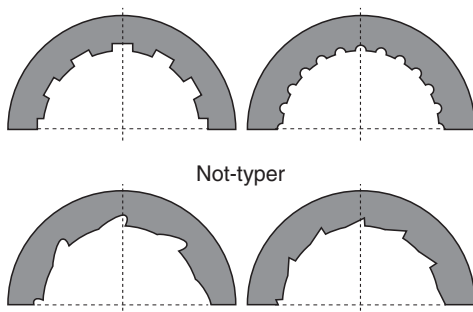
Trykopygningen i en notzoneekstruder og en traditionel ekstruder (BASF)

Bemærk det høje tryk umiddelbart efter notzonen i notzoneekstruderen.

Bemærk, at trykket er størst omkring kompressionszonen i en traditionel ekstruder.

Forskellige udformninger af noterne

Noterne kan være langsgående i forhold til cylinderen eller snøede, tilsvarende riffelgangen i et skydevåben.



Bemærk: Når man stopper en ekstruder med materiale i cylinderen, er der risiko for, at smeltet materiale i notzonen vil størkne omkring cylinderen. Sker det, skal der lukkes for kølevandet, og man må vente på, at varmen fra varmezone 1 har bredt sig bagud og

har blødgjort den størknede plast. Dette kan vare flere timer. Hvis man forsøger at starte før, kan der være risiko for, at snekken knækker.

Fejl og vedligehold på og omkring cylinderen

Det er vigtigt jævnlige at sikre sig, at alt omkring cylinderen fungerer korrekt. Fejl her opstår gerne langsomt, og de giver sig til kende ved voksende problemer i produktionen.

Af almindelige fejl forekommer følgende:

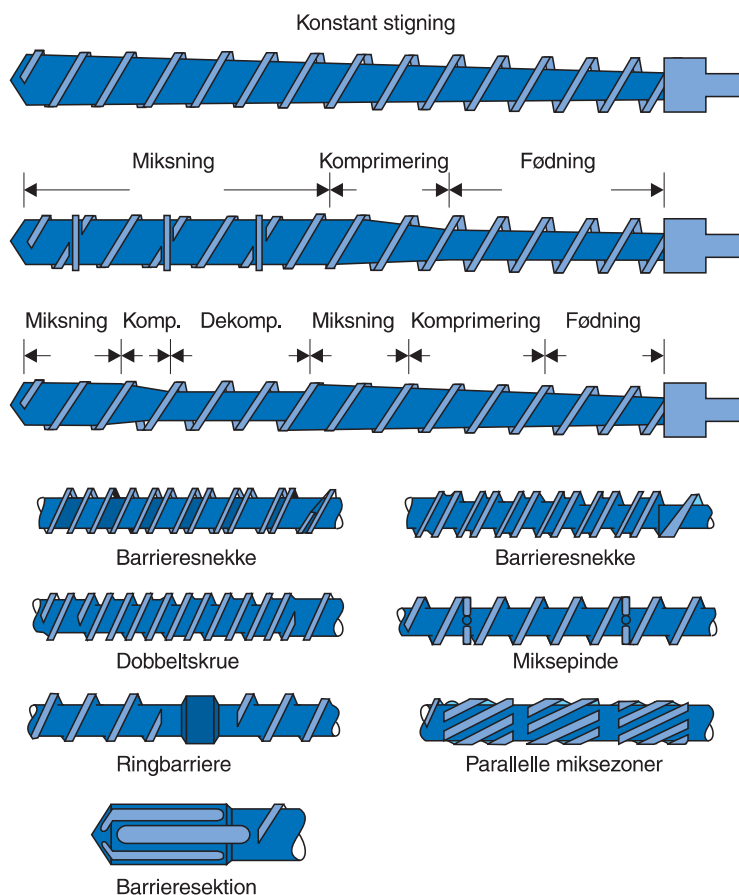
- Tilkalkning af vandkanaler
- Tilkoksning af oliekanaler
- Rustdannelse under varmebånd
- Rustdannelse i gevind og huller til termofølere
- Skruer, som arbejder sig løse
- Kondensvandsdannelse i indløbsåbning
- Opfyldning af riller i fødezone med fast materiale
- Ændring af friktionsforhold i cylinder (slitage)

Snekken

Snekken er en meget vigtig del af ekstruderen og må behandles som den kostbare maskindel, den er.

Den ligner mest en lang skrue med et groft gevind. Snekken er normalt konstrueret til den bestemte plasttype, den skal forarbejde.

Snekken skal være så blank og glat som muligt. Såfremt materialet ”hænger” ved snekken, sker der ingen materialetransport.



Et lille udpluk af snekketyper og snekkekonstruktioner

Forholdet mellem snekkelængde og snekkediameter (L/D-forholdet)

De gamle ekstrudere var meget korte i forhold til snekkens diameter. Da man ikke var helt så god til at styre processen og måske ikke så god til at udnytte stålets egenskaber samt ikke havde moderne overvågningsudstyr, hændte det ofte, at snekken knækkede. Derfor blev snekkerne fremstillet korte og tykke med god styrke.

Sådan er det ikke i dag. Nu søger man at lave snekken så lang som muligt for at give plasten så lang tid som muligt til at varmes op. Det betyder, at man skal være meget agtpågivende ved ekstruderen. Der er meget stor risiko, for at snekken knækker, hvis man er uopmærksom eller laver fejlindstillinger, eller der er fejl på udstyret.

Snekken i en ekstruder har sin arbejdslængde fra, hvor materialet falder ned fra tragten (gængerne starter), og til snekkespidsen.

Snekelængden

angives ved snekkens arbejdslængde "L".

Diameteren

(målt på toppen af gængerne) angives med "D".

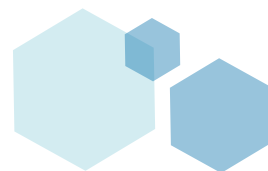
For at få et indtryk af ekstruderens arbejdslængde, er det derfor nødvendigt at kende snekkens længde-diameter-forhold (L/D-forhold).

Man siger fx, at ekstruderen er en 20D, og mener dermed, at den effektive snekkelængde er 20 gange så lang som snekkediameteren.

Der må ikke være mærker efter slag eller anden ublid behandling. Den må aldrig lægges på et cementgulv eller et bord med jernplade, men skal, når den tages ud, anbringes på træbukke eller træklodser.

De snekketyper, der anvendes, er meget forskelligt udformet med hensyn til kompressionsforhold, zoneopdeling, gængestigning, gængedybde og snekketiløb, afhængigt af hvilken plasttype der anvendes.

Desuden er der udviklet mange specialsnekker fx flere typer af barriersnekker, snekker med dekompressionszone, samt snekker med meget forskelligt udformede miksezoner. Alle snekkerne er naturligvis udformet af en eller flere personer med erfaring for eller overbevisning om, at netop denne snekketype præcist opfylder kravet om effektiv plastificering af plasten eller af en bestemt plasttype.



Eksempel på udregning af L/D-forholdSnekkelængde: $L = 1.000 \text{ mm}$ Snekkediameter: $D = 50 \text{ mm}$

$$\frac{L}{D} = \frac{1000}{50} = 20D\text{-ekstruder}$$

Hvis det er en 60 mm snekke og fx en 15D-ekstruder, er snekkelængden $60 \text{ mm} \times 15 = 900 \text{ mm}$.

Hvis det er en 60 mm snekke og fx en 30D-ekstruder, er snekkelængden $60 \text{ mm} \times 30 = 1.800 \text{ mm}$.

Dette betyder reelt, at 30D-ekstruderen har dobbelt så lang tid til at opvarme plasten som en 15D-ekstruder.

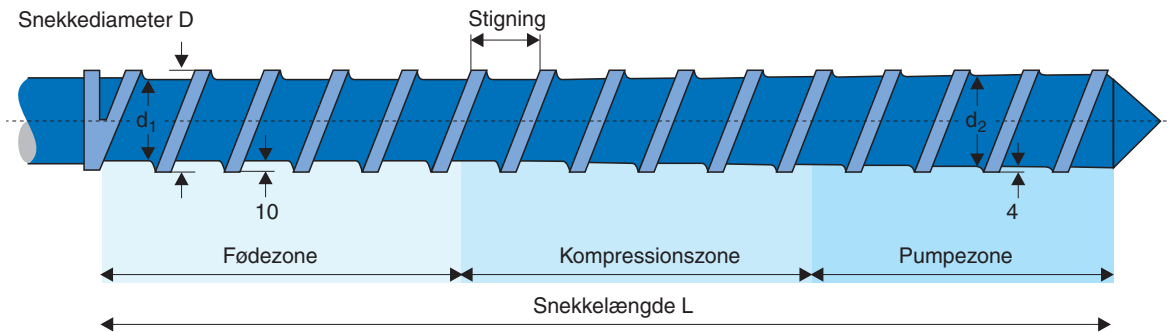
Udviklingen går i retning af endnu længere snekke i forhold til diameteren. I dag fremstilles der 35D-ekstrudere.

Det betyder, at man skal være meget opmærksom på alle procesparametre. Hvis der anvendes forskellige snekketyper i den samme ekstruder, er det vigtigt, at eventuelle maksimalbelastningsværdier korrigeres.

Snekkens zoneopdeling

Snekken er i reglen inddelt i tre zoner, der kaldes:

- Fødezone
- Kompressionszone
- Pumpezone

**Snekkens zoneinddeling**

Hvis man ser på billedet af snekken, vil man bemærke, at gængedybden er større ved tragten, end den er ved snekkespidsen. Pladsen til granulatet bliver altså mindre frem mod snekkespidsen. Denne konstruktion gør, at luften mellem granulatcornene presses bagud, således at det kun er plasten, der bliver transporteret videre frem.

At pladsen bliver mindre, betyder også, at plasten kommer under meget højt tryk, hvilket bevirker, at der opstår meget høj gnidningsmodstand og dermed udvikling af friktionsvarme.

Der findes også snekker, som er ens i hele længden, altså med samme plads til granulat hele vejen. I dem opbygges trykket ved hjælp af noter.

Snekkens stigning

Stigningen er et udtryk for afstanden i længderetningen fra top til top på gængerne. Det er altså den afstand, som plasten bliver transporteret frem ved én snekkeomdrejning.

Snekkens kompressionsforhold

Et udtryk for hvor megen plads der er mellem gængerne i fødezonen, i forhold til hvor megen plads der er mellem gængerne i pumpezone.

Snekkens stigning er i almindelighed lig med diameteren, men kan afvige meget afhængigt af den plasttype, der skal bearbejdes.

Snekkens kompressionsforhold

Som før nævnt, er der mere plads mellem gængerne i fødezonen end i pumpezone. Det udtrykker man som snekkens kompressionsforhold.

Når snekken konstrueres, kan man lave mere plads i fødezonen ved at øge afstanden mellem gængerne, men på den viste model på forrige side er det gjort ved at skære mellemrummet mellem gængerne dybere. Dette er i øvrigt den mest anvendte metode.

Eksempel på regning af snekkens kompressionsforhold

Snekkediameter: $D = 50$ mm
Kernediameter: $d_1 = 30$ mm
Kernediameter: $d_2 = 44$ mm

$$\frac{D^2 - d_1^2}{D^2 - d_2^2} = \frac{(50 \times 50) - (30 \times 30)}{(50 \times 50) - (44 \times 44)} = \frac{2.500 - 900}{2.500 - 1.936} = \frac{1.600}{564} = 2,83:1$$

Dette betyder, at hvis snekken tager et "rummål" materiale med ind, der svarer til fx 2,83 cl (28,3 ml), vil denne mængde blive presset sammen til kun at fylde 1 cl (10 ml) i pumpezone.

Kompressionen gør, at al luften mellem granulatkornene bliver presset bagud mod tragten, da luften har nemmere ved at undvige bagud, end materialet har.

Hvis der passerer luft med materialet ud gennem dysen, vil det medføre affald.

Både snekkelængde, stigning og kompressionsforhold må være afpasset efter det plastmateriale, man skal forarbejde.

Volumenbestemmelse

Hvis man vil undgå at beregne volumen pr. snekkeomdrejning, fx hvis også snekestigningen varierer, kan man bestemme volumenet ved at fylde en snekkeomdrejning med kit eller modellervoks. Derefter finder man modellervoksens volumen ved at nedsænke dette i vand i et måleglas.

Denne fremgangsmåde er at foretrække, når det drejer sig om snekker, som er vanskelige at opmåle eller beregne.

Snekketyper

Alle producenter af snekker søger at konstruere en snekke, der passer lige netop til kundens aktuelle behov. Derfor bliver der i samråd med råvareleverandørerne gjort mange forsøg på at finde en snekkegeometri, der passer helt perfekt til både råvare, ekstruder og ydelse. Det lykkes også for det meste.

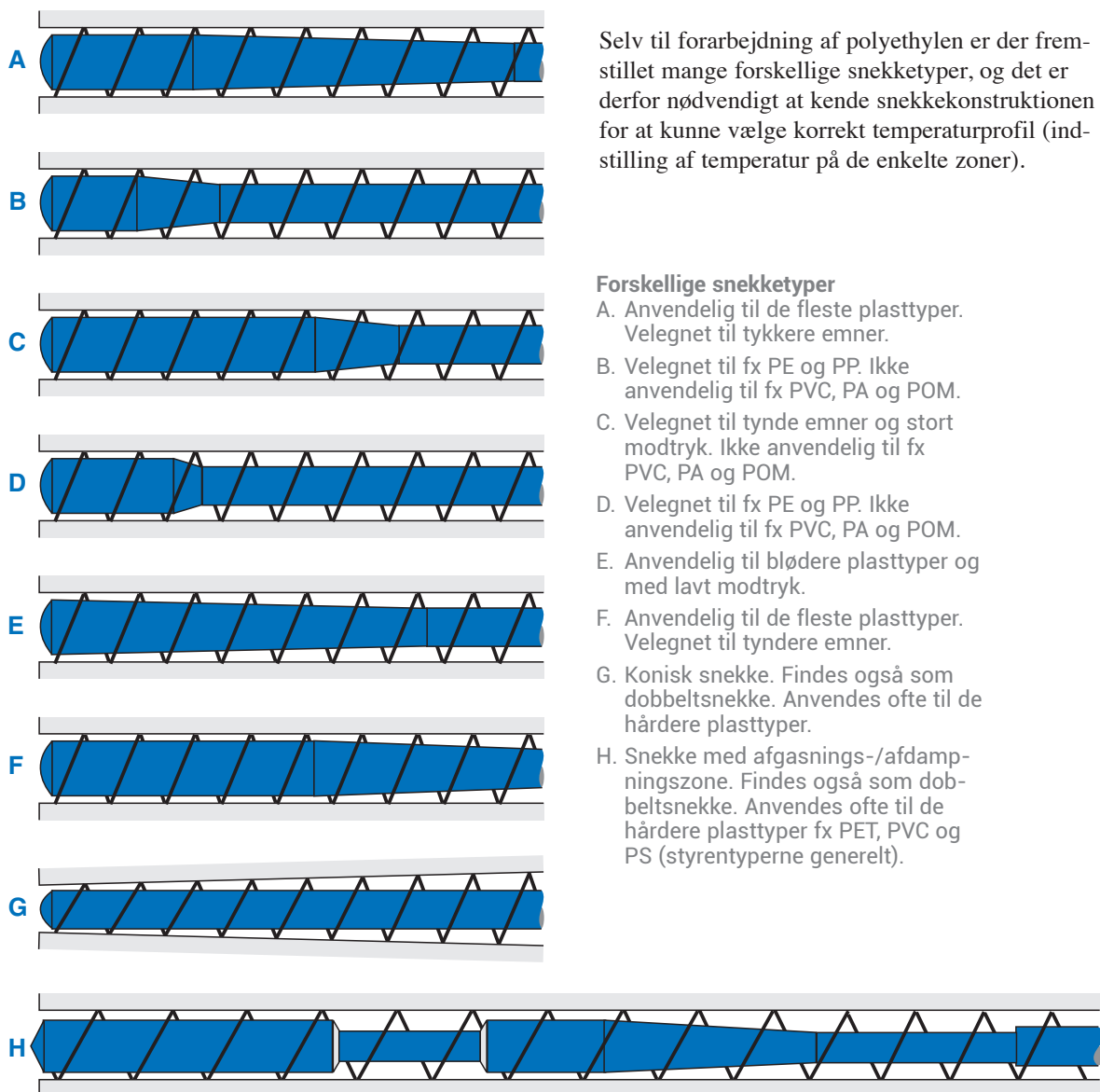
Når man skifter råvare, må man altså være opmærksom på, om snekken har den rigtige geometri til netop denne plasttype. Mange fabrikker har således en række forskellige snekker at vælge imellem.

Andre fabrikker har en standardsnekke, som på rimelig vis tilgodeser de ofte få plasttyper, man forarbejder.

I samråd med råvarefabrikkerne er der blevet fremstillet mange snekketyper, der dog som fælles regel har:

- **Kort kompressionszone til delkrystallinske materialer**
- **Lang kompressionszone til amorfe materialer**





Selv til forarbejdning af polyethylen er der fremstillet mange forskellige snekketyper, og det er derfor nødvendigt at kende snekkekonstruktionen for at kunne vælge korrekt temperaturprofil (indstilling af temperatur på de enkelte zoner).

Forskellige snekketyper

- A. Anvendelig til de fleste plasttyper. Velegnet til tykke emner.
- B. Velegnet til fx PE og PP. Ikke anvendelig til fx PVC, PA og POM.
- C. Velegnet til tynde emner og stort modtryk. Ikke anvendelig til fx PVC, PA og POM.
- D. Velegnet til fx PE og PP. Ikke anvendelig til fx PVC, PA og POM.
- E. Anvendelig til blødere plasttyper og med lavt modtryk.
- F. Anvendelig til de fleste plasttyper. Velegnet til tyndere emner.
- G. Konisk snekke. Findes også som dobbeltsnekke. Anvendes ofte til de hårdere plasttyper.
- H. Snekke med afgasnings-/afdampningszone. Findes også som dobbeltsnekke. Anvendes ofte til de hårdere plasttyper fx PET, PVC og PS (styrentyperne generelt).

Sammensatte

Forskellige snekketyper (Bekum)

- A. Traditionelt opbygget snekke med afrundet snekkespids.
- B. Snekke med barrierезone, miksezone og afrundet snekkespids.
- C. Snekke med miksezone og afrundet snekkespids.
- D. Snekke med spids, beregnet til PVC.





snekker

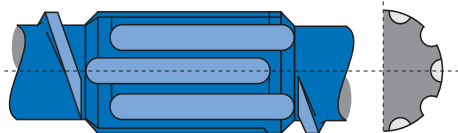
Nogle snekker er skruet sammen af flere dele. Det betyder, at man har mulighed for at skifte dele på snekken ud efter behov. Nogle af de ting, man kan ændre på, er barrierezone, miksezone og snekkespids.

Sammenstyknngen gør dog, at snekken er mere sårbar for brud.

Barrierezone

En barrierezone har det formål at holde usmeltet plast tilbage. På tegningen til venstre kan man se, at plasten skal over et "skillerum" for at komme videre frem langs snekken.

Hele barrierezonen er så stor i diameter, at den faktisk går helt ud til cylindervæggen. Mellem "skillerummene" og cylindervæggen er der kun 0,4 til 0,7 mm. Det betyder, at hvis der kommer et usmeltet granulat frem hertil, vil det blive tilbageholdt, indtil det er helt smeltet og kan passere den lille åbning.

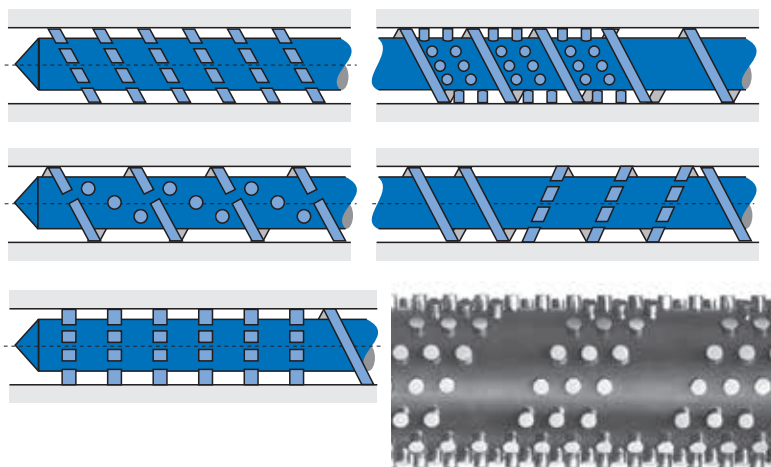


Opbygningen i en barrierezone, også kaldet maddockzone (BASF)

Mikse-/blandezone

Mange råvarer bliver tilsat forskellige tilsætningsstoffer fx farve for at opnå andre egenskaber. Det er overordentligt vigtigt, at der foretages effektiv blanding med disse tilsætningsstoffer. For at sikre denne blanding er der udformet et antal af mikseenheder.

Forskellige varianter af mikse-/blandezone (BASF)

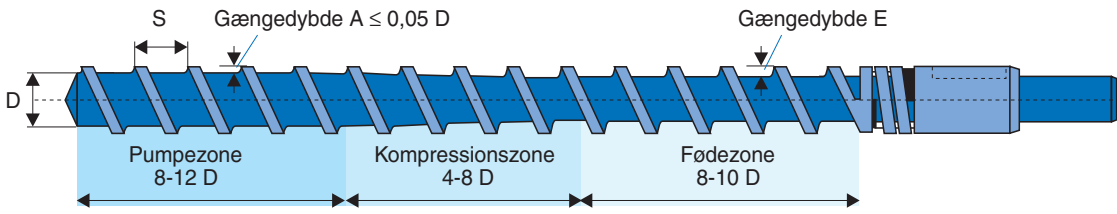


Krav til snekkegeometri

Råvareleverandøren foreskriver næsten altid, hvilken geometri snekken bør have for at opnå optimalt resultat. Det er vigtigt, at man sætter sig ind i disse anvisninger, inden man starter, da der ellers er meget stor risiko for, at der spildes meget materiale, inden man finder ud af, at udstyret overhovedet ikke egner sig til denne produktion.

I eksemplet fra BASF vedrørende PA øverst på næste side beskrives L/D-forholdet, zoneopdelingen, gængestigningen, gængedybden i pumpezone og gængedybdeforholdet (kompressionsforholdet). Desuden kan vejledningen (databladet) også foreskrive, om der skal anvendes filter (til modtryk), om der er krav til udformning af værktøj, kalibrator, køleudstyr osv.

Som det måske vigtigste af alt er der selvfølgelig også anvisning på, hvilken temperatur eller temperaturprofil der skal anvendes.



$$\text{Gængedybdeforhold} = \frac{\text{Gængedybde E}}{\text{Gængedybde A}} = 2,5-3,5$$

$$\text{Stigning S} = D$$

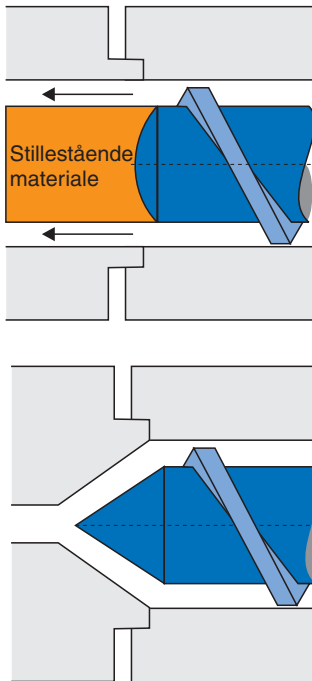
Anbefalet snekkekonstruktion til forarbejdning af PA (BASF)

Der er som nævnt udviklet et stort antal snekketyper. Men generelt er der i sagens natur en vis lighed mellem de mest brugte.

Snekkespids

De fleste snekker er udstyret med en afrundet snekkespids. Man skal her være opmærksom på, at der i visse tilfælde kan forekomme stillestående materiale i umiddelbar forlængelse af den massive del af snekken. Det problem kan undgås, hvis der anvendes en spids snekkespids. Men det kræver, at resten af udstyret er afpasset hertil.

Den spidse snekke er udviklet til PVC-forarbejdning, da det her er særdeles vigtigt, at der ikke forekommer stillestående materiale.



Når snekken er udformet med spids, og det efterfølgende værktøj er tilpasset hertil, er der ingen risiko for stillestående materiale.

Dobbelt snekke

Stiv PVC leveres som pulver til mange store fabrikker, som ønsker at lave deres egne blandinger. Dette pulver ligner mest mel.

For at kunne tvinge pulveret frem i cylinderen er det nødvendigt at benytte en dobbeltsnekkerekstruder. Dobbeltsnekkerekstruderen adskiller sig med sine to snekker i cylinderen fra enkelt snekkerekstruderen i både opbygning og proces.

De to snekker drejer normalt modsat hinanden. Da den ene snekke også har modsat omløbsretning på gængerne, og snekkerne ligger så tæt sammen, at gængerne går i indgreb med hinanden, vil materialet tvinges fremad. De to snekker virker ved rotation som en pumpe, der tvinger materialet fremad og opbygger tryk i cylinderen.

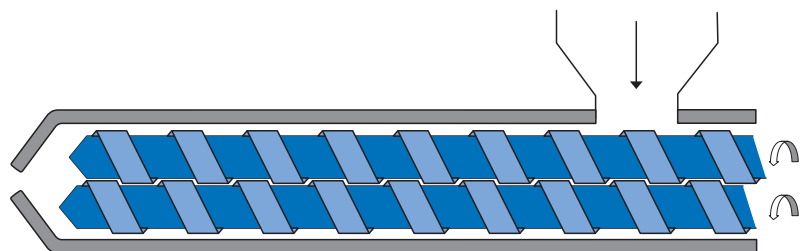
Da snekkerne har indgreb for hver gængestigning, transporteres materialet i små lukkede rum.

Trykopbygningen må derfor ske ved at reducere volumen mellem gængerne frem mod snekkespidsen ved at mindske gængestigningen.

Der findes også, ligesom ved enkelt snekker, mange forskellige typer dobbeltsnekker med bl.a. forskellige former for blandezone, hvor gængestigningen eller gængegeometrien ændrer sig, så materialet i de lukkede rum blandes til en homogen masse.

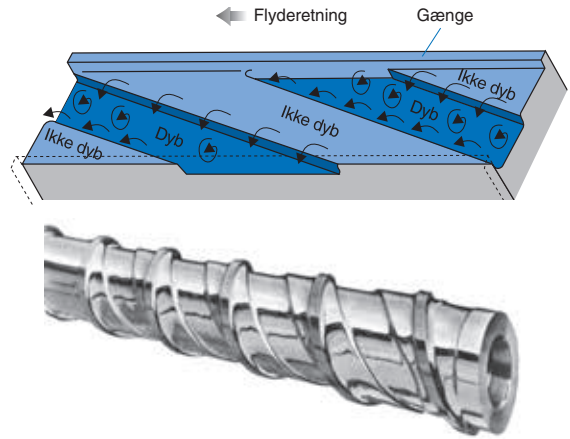
Enkelte maskinfabrikanter har udviklet snekker, som har samme omløbsretning. Disse snekker har da også samme omløbsretning på gængerne.

Dobbelt snekke med samme omløbsretning
Snekkerne kan have en anden udformning end den her viste. De kan fx begge være koniske.





Ved snekkespiden kan der være placeret en miksezone bestående af et snekkestykke med halvkugleformede huller. Udenom er placeret et stykke cylinder med tilsvarende halvkugleformede huller. Når snekken drejer rundt, opstår der cirkulære bevægelser i plasten i hullerne, hvilket sikrer god miksning (BASF).



"Pulsar"-snekke

(Blow Molding Handbook)

Bemærk, hvorledes materialet ruller rundt og mikses i den skiftevis dybe og mindre dybe gængeudskæring.

Snekken data

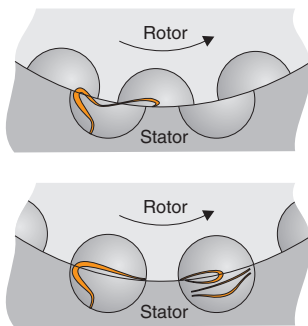
Med hensyn til valg af snekkekonstruktion er det umuligt at give en klar definition på, hvorledes snekken skal være bygget. Der er mange faktorer, der har indflydelse på, hvorledes snekken arbejder. Således kan to ellers ens ekstrudere kræve meget forskellige indstillinger med det samme hoved og den samme snekke. Forskellen kan fx skyldes uens slitage i cylinderen, eller mangel på kalibrering af temperaturfølere såvel på opvarmningssiden som på kølingen.

Kompressions-/gængedybdeforholdet skal være højt nok til at komprimere usmeltet materiale med lav volumenvægt ind i den smeltede, kompakte plast uden lommer. Er kompressionsforholdet for lavt, vil det resultere i luftlommer i plastmassen. Er der stort indhold af fint knus eller pulver, kan det være nødvendigt at anvende en snekke med højere kompressionsforhold.

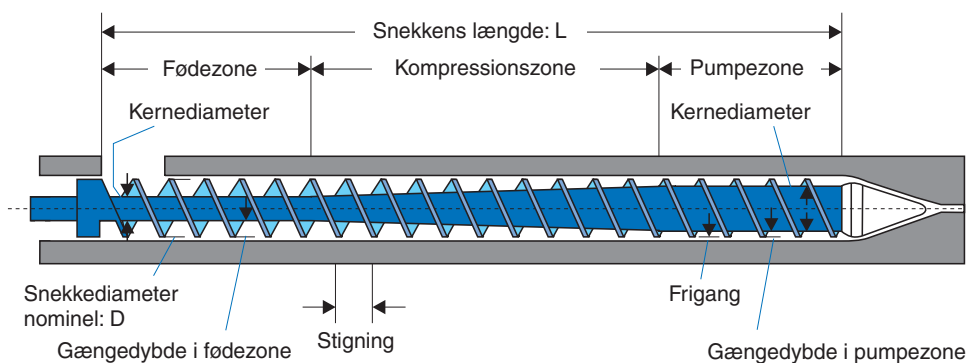
For højt kompressionsforhold kan resultere i overfyldning af pumpezone og dermed overophedning af materialet.

Derudover vil snekke med lave gænger og stor stigning have større tendens til at medføre overophedning af materialet.

På trods af ovenstående forbehold vises alligevel i tabellen på næste side, hvilken snekkekonstruktion der anbefales fra leverandørerne.



Her ses de cirkulære bevægelser i plasten i hullerne.



Snekken vigtigste benævnelser

Snekkens data ved forskellige materialer

Dimensioner (alle mål i mm)	Stiv PVC	Slagfast PS	PELD	PEHD	PA	CA/CAB*
Snekken						
Diameter (D)	45	45	45	45	45	45
Længde (L)	900	900	900	900	900	900
L/D-forhold	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1	20:1
Zoneopdeling						
Fødezone	135 (3D)	270 (6D)	225 (5D)	360 (8D)	675 (15D)	0 (0D)
Kompressionszone	765 (17D)	180 (4D)	450 (10D)	180 (4D)	45 (1D)	900 (20D)
Pumpezone	0 (0D)	450 (10D)	225 (5D)	360 (8D)	180 (4D)	0 (0D)
Gængedybden						
I fødezone	6,0	6,0	6,0	6,5	6,5	6,0
I pumpezone	2,0	1,4	1,25	1,55	1,25	1,25
Kernediameter						
I fødezone	33,0	33,0	33,0	32,0	32,0	33,0
I pumpezone	41,0	42,2	42,5	41,9	42,5	42,5
Kompressionsforhold						
	2,72:1	3,83:1	4,28:1	3,72:1	4,58:1	4,28:1
Gængedybdeforhold						
	3,00:1	4,29:1	4,80:1	4,19:1	5,20:1	4,80:1

* CA/CAB = Celluloseplasttyperne: celluloseacetat/celluloseacetatbutyrat

I tabellen vises både snekkens L/D-forhold og zoneopdeling til forskellige plasttyper. Desuden er både kompressionsforhold og gænge-dybdeforhold beregnet for samme snekkegeometri.

Bemærk, at der i tabellen anvendes både kompressionsforhold og gængedybdeforhold.

Gængedybdeforhold er: Gængedybden i fødezone divideret med gængedybden i pumpezone.

Der er ikke helt overensstemmelse mellem gængedybdeforhold og kompressionsforhold. Her kan der i visse situationer opstå tvivl om, hvilken beregningsformel råvareleverandøren har anvendt.

Gængedybdeforholdet for snekken ved forskellige materialer

Snekketype	Lav-kompressions-snekke (gængedybdeforhold 1,2:1 til 1,8:1)	Middel-kompressions-snekke (gængedybdeforhold 2,0:1 til 2,8:1)	Høj-kompressions-snekke (gængedybdeforhold 3:1 til 4,5:1)
Plasttype	Acrylplast, PMMA Acryl-copolymer ABS og SAN Polyvinylchlorid, PVC, stiv	Acetalplast, POM (Delrin 100) Celluloseplast, CA, PA (lavt smelteindeks) Polyphenylenoxid, PPO - harpiksbaseret (Noryl) Polycarbonat, PC Polyethylen, PE (middel til lavt smelteindeks) Polypropylen, PP (middel til lavt smelteindeks) Polystyren, PS (krystal og slagfast) Polyvinylchlorid, PVC (blødgjort)	Acetalplast, POM (Delrin 500 og 900) Fluorplast, PTFE (Teflon 110) PA (højt smelteindeks) Polyethylen, PE (høj densitet) Polyethylen, PE (højt smelteindeks) Polypropylen, PP (middel til højt smelteindeks)

Bemærk: Værdierne er kun vejledende.

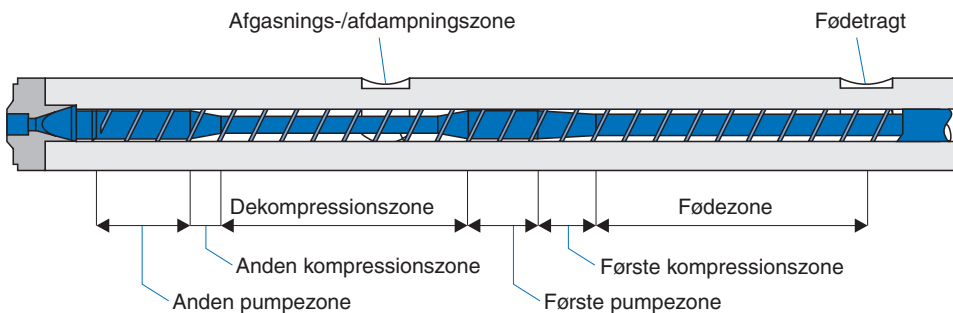
Afhængigt af materialets SMI (smelteindeks) og sejhed kan kravene til snekken variere.

Afgasnings-/afdampningszone

For visse plasttyper er det nødvendigt at fjerne fugtrestere eller visse uhensigtsmæssige luftarter, som kan udvikles, når materialet opvarmes. Derfor er der på nogle ekstrudere monteret en afdampnings- eller afgasningszone.

Systemet virker, ved at der cirka midt på cylinderen er anbragt en åbning, ofte forbundet med et vakuumanlæg. Når materialet opvarmes og komprimeres i den første del af cylinderen, vil eventuelle fugtrestere (nu damp) eller gasser blive voldsomt komprimeret. Når materialet kommer ud i dekompressionszonen, hvor der er god plads, forsvinder trykket, og de stærkt komprimerede og indespærrede dampe eller gasser vil få det omgivende materiale til at briste, således at dampen eller gassen kan slippe ud eller fjernes ved hjælp af vakuumanlægget.

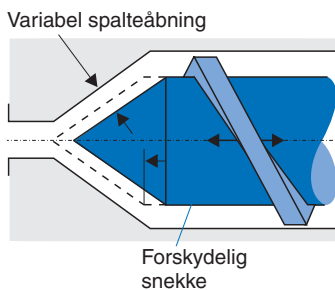
Ekstruder med dekompressionsnekke og afgasnings-/afdampningszone



Cylinder med afgasnings-/afdampningszone

(Blow Molding Handbook)

Der kan være tilsluttet vakuum-anlæg til afgasnings-/afdampningszonen.

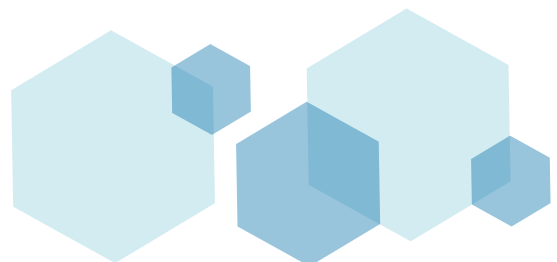


Forskydelig snække

For at opnå tilstrækkeligt modtryk og dermed friktionsvarme er flere blæsestøbemaskiner udstyret med forskydelig snække. Snækken er forskydelig i længderetningen.

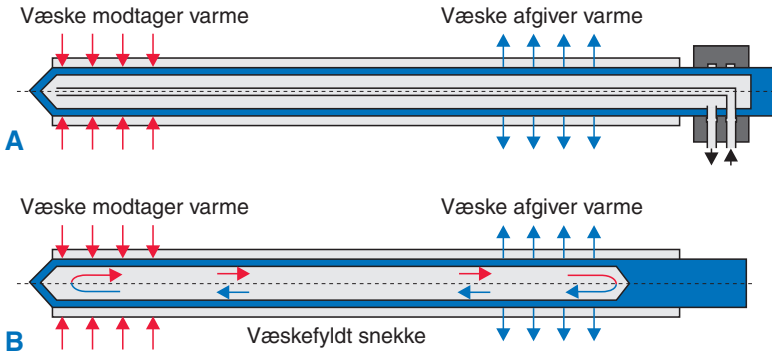
Derved opnår man mulighed for hurtigt at regulere modtrykket og dermed udviklingen af friktionsvarme. Snækken er i disse tilfælde monteret med en spids i afgangsenden. Overgangsstykket er konisk svarende til snækkespidsen. Jo mindre spalteåbningen gøres, jo højere modtryk, og jo mere friktionsvarme udvikles, og jo langsommere kan ekstruderen køre.

Modtrykket kan på nogle ekstrudere reguleres ved at forskyde snækken i længderetningen.



A. Snekke med olie­køling

Temperaturen styres af en ekstern olievarmer/olie­køler.

B. Snekke med indbygget, selvregulerende olie­køling**Kontrolpanel med touch screen fra Battenfeld****Kontrolpanel fra Cincinnati, hvor al temperatur- og hastighedsindstilling og aflæsning foregår via kontrolpanelet****Snekkekøling**

Snekken bliver også påvirket af friktionen og varmen.

Når snekken er kold i føde­zonen, yder den granulatet effektiv fremdrift. Hvis granulatet har stuetemperatur, vil det normalt holde snekken tilstrækkeligt kold, således at platen ikke klistrer fast, og snekken bevarer sin evne til at transportere platen.

Hvis den bliver for varm, vil platen derimod klistre fast mellem gængerne, og snekken vil komme til at virke som en ”mas­сив stang”, der blot drejer rundt, og hele fremdriften af platen vil stoppe.

For at imødegå disse problemer er der i mange snekker indbygget køling.

Snekker med køling er hule

indvendigt, og kølingen kan foregå, ved at der ledes luft, vand eller olie gennem snekkehulrummet.

I en anden type er hulrummet fyldt med en væske, men uden tilgang og afgang. Væsken vil opvarmes ved snekkespidsen, men da temperaturen altid vil søge at være ens i horisontal retning, vil den opvarmede væske søge hen mod føde­zonen, og her aflevere sin varme. Den koldere væske i føde­zonen vil flyde langs bunden i hulrummet frem mod snekkespidsen.

På den måde vil hele snekken teoretisk have en gennemsnitstemperatur, der ligger midt mellem temperaturen ved tragten og temperaturen ved snekkespidsen.

Kontrolpanel

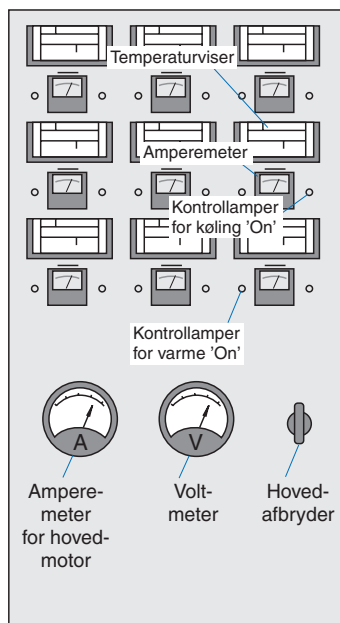
Kontrolpanelet er ofte et separat skab, som er anbragt ved siden af maskinen eller kan være påbygget som en kontrolboks eller styrepult.

I mange kontrolpaneler sidder samtlige instrumenter til kontrol og regulering af temperaturer på materiale­cylinderen og værktøjet. Opvarmningen foregår på enkelte zoner begyndende med zone 1 ved materiale­tragten, derefter zone 2, zone 3 osv. (enkelte ekstruderfabrikanter starter med zone 1 ved snekkespidsen).

Antallet af zoner på værktøjet kan være meget forskellig, afhængigt af opbygning og størrelse, samt hvilken produktionsform der køres.

Det vil være en stor opgave at beskrive alle styre­inger, men mange af de følgende ting vil kunne findes på eller i nærheden af kontrolpanelet:

- Tænd og sluk af hovedafbryder
- Tænd og sluk af styrestrøm
- Tænd og sluk af eventuel materialesuger
- Tænd og sluk og styring af eventuelt fortørringsanlæg
- Indstilling og/eller overvågning af travers- eller notzonetemperatur
- Indstilling og overvågning af zone 1, zone 2, zone 3 osv. på cylinderen
- Ofte er der overvågning af strøm-/ampereforbrug til hver varmezone
- Indstilling og/eller overvågning af massetemperatur
- Indstilling og/eller overvågning af massetryk
- Indstilling og overvågning af zone 1, zone 2, zone 3 osv. på værktøjet
- Ofte er der overvågning af strøm-/ampereforbrug til hver varmezone
- Indstilling og overvågning af snekkehastighed
- Overvågning af strøm-/ampereforbrug til hovedmotor



- Ofte er der overvågning og styring af kølingen på produktet
- Ofte er der overvågning og styring af eventuelt vakuum
- Ofte er der overvågning og styring af trækbenken
- Ofte er der overvågning og styring af afskæringslængde og andre tilknyttede funktioner

Amperemeter

Et meget vigtigt måleinstrument er det amperemeter, der viser hovedmotorens strømforbrug og dermed belastningen på hele ekstruderen.

Hvis materialet ikke er varmt nok og blødt nok, stiger strømforbruget voldsomt, og man kan risikere, at værktøjet sprænges.

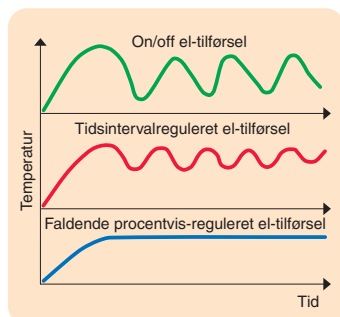
Amperemeterets udsving må derfor følges nøje især under opstart, men også til stadighed under produktionen.

Temperaturstyringsinstrumenter

Til venstre er et eksempel på instrument til indstilling af temperaturen på en varmezone.

Ofte er det muligt at indtaste en nedre grænseværdi således, at hvis temperaturen er eller bliver fx 20 °C for lav i forhold til det indstillede, vil maskinen ikke starte, eller der kommer en alarm.

Aflæsning og indstilling af zonetemperatur



Temperaturføler

Føleren består af to ledninger af hver sin metaltype. Ledningerne mødes helt ude i enden af føleren. Når der sendes en svag strøm af sted i den ene ledning (+), vil en større eller mindre del af strømmen returnere i den anden ledning (-). Den returnerede strømmængde vil være afhængig af temperaturen ved føleren. Den returnerede strømmængde kan herefter omsættes til en temperatur.

Det er meget vigtigt, at ledningerne bliver vendt og monteret rigtigt ved udskiftning.

Der findes flere typer af følerledninger. Derfor er det vigtigt, at man udskifter til den samme type igen.

Men det er især vigtigt, at der ikke kommer skarpe knæk på ledningerne til føleren, da isoleringen er meget skrøbelig. I tilfælde af brud på isoleringen vil der komme fejlvisning på temperaturen.

Det samme er tilfældet, hvis ledningen bliver våd.

Der, hvor en enkelt eller flere tråde kommer til at røre den anden ledning (eller ved fugt), vil der blive returneret en strømmængde, der svarer til temperaturen omkring ledningen (altså temperaturen i lokalet). Resultatet bliver altid, at der vises en temperatur, der ligger et sted mellem temperaturen i lokalet og zonetemperaturen.

Varmetilførselsmetoder

Når temperaturføleren er placeret fx 3 cm inde i værktøjet, vil varmebåndet og det udvendige værktøj blive meget varmt, inden føleren længere inde opnår den rette temperatur. Denne kraftige varme fordeler sig senere ind i værktøjet og giver dermed en overophedning af zonen.

On/off el-tilførsel

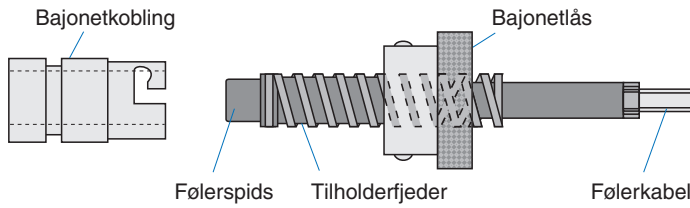
Her er der fuld varme på, når føleren giver on-signal. Der slukkes først, når varmen har bredt sig ind til føleren. Kurven viser det store udsving, der opstår i temperaturen på zonen, når eftervarmen trænger ind.

Tids-intervalreguleret el-tilførsel

Her er der også fuld varme på, når føleren giver on-signal. Men on-tiden er programmeret til at slukke efter et antal sekunder. Derfor bliver udsvingene ikke så store, da varmen bedre kan nå at fordele sig.

Faldende procentvis-reguleret el-tilførsel

Her reduceres strømmtilførslen, i takt med at den ønskede temperatur opnås. Det betyder, at der kun vedligeholdes med en lille smule strøm, således at temperaturen kan holdes konstant.



Hvis der er en zone, der er usædvanligt lang tid om at blive varm, eller måske pludselig falder i temperatur, vil det være en god ide at låne en naboføler og sætte i et par minutter for at se, om denne også viser den samme lave temperatur.

Temperaturføler til værktøjszone eller cylinderzone



Tragten

Altafgørende for et godt resultat er, at basis er i orden. Derfor er det meget vigtigt, at man er opmærksom på, at tragten er helt ren, inden der skiftes råvare. Tragten kan enten børstes ren eller støvsuges.

Et enkelt forkert granulatkorn kan i værste fald brænde fast i hovedet med efterfølgende rengøring til følge, eller det kan trække lange striber i den efterfølgende produktion.

Påfyldning af råmateriale

I tragten på ekstruderen er der normalt et skueglas, så man kan se, hvor megen råvare der er tilbage. Hvis der ikke hele tiden er granulater i ekstruderen, ændres temperatur og tryk. Det kan i værste fald medføre forbrændinger, og det kan blive nødvendigt at stoppe, rense værktøj og snekke/cylinder og starte op på ny.

Husk, at det er ekstruderførerens pligt at sikre sig, at der til stadighed er tilstrækkeligt meget materiale i tragten.

Undertiden er der anbragt en magnetrist i bunden af tragten for at opfange eventuelle magnetiske metalstumper. Ved enhver lejlighed, når tragten køres tom, fx ved materialeskift, skal ekstruderføreren rense magnetristen.

Suger

Granulatet eller pulveret leveres normalt i sække a 25 kg eller i octabiner med ca. 1.000 kg (ca. 2 meter høj paptønde på en specialpalle). Materialet hældes i ekstruderens tragt enten manuelt eller ved hjælp af en suger monteret over tragten. Sugeren suger fra octabinen eller via et rørsystem fra store centrale tankanlæg.

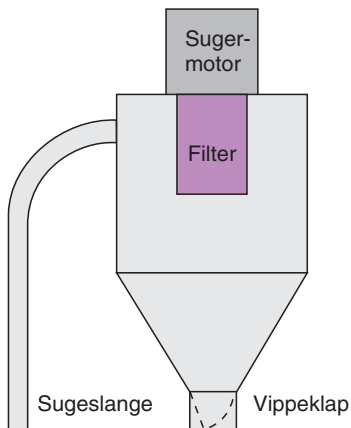
I materialesugere er der anbragt et filter, som forhindrer plast og støv i at fortsætte ind i sugemotoren.

Når sugeren starter, suges vippeklappen op, og hullet i bunden af beholderen lukkes. Når sugeren stopper, trykker materialet klappen ned og falder ned i tragten på ekstruderen, eller måske ned i et automatisk indvejningssystem (et system med en vægt, der vejer råvaren, således at den automatiske styring kan regulere aftræks hastigheden og derved bevare den samme godstykkelse på emnet).

Ved materiale- eller farveskift er det overordentlig vigtigt, at man renser eller skifter filteret. Desuden skal sugeslangen, beholderen på sugeren, eventuelt indvejningssystem og tragten rengøres meget omhyggeligt.

Et enkelt overset granulatkorn eller farverester kan give affald flere timer efter eller produktionsstop, hvis der går hul i emnet.

De vigtigste dele i en suger

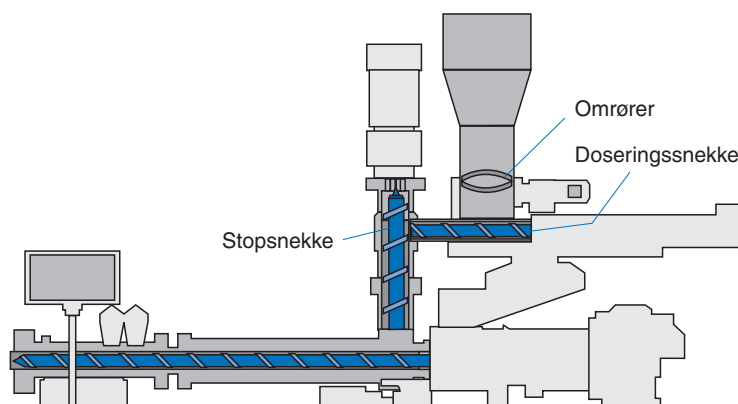


Ekstruderføreren må gøre sig klart, at det er lige så vigtigt at have opmærksomheden rettet mod råmaterialet som mod selve forarbejdningen.

Fortørring

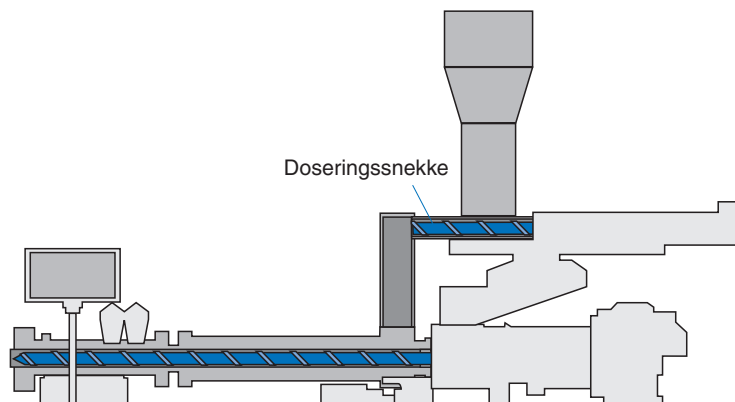
Inden påfyldning er det vigtigt at være opmærksom på, om der er behov for fortørring af råvaren. Husk på, at hvis lageret er uopvarmet, kan temperatursvingningen fra lager til produktionshal især i vinterhalvåret forårsage en del kondensfugt.

Der er set flere eksempler på, at når der blev ekstruderet med en rå-vare fra lageret, blev produktet meget mat og lettere ”opskummet”. Når produktet efterfølgende blev knust og ekstruderet igen, var resultatet i orden. Ekstruderen var altså ikke i stand til at fordrive al fugten ved første ekstrudering. Senere forsøg med at fortørre råvaren inden første ekstrudering gav acceptabel produktion første gang.



Princippet med stopsnekke anvendes bl.a., når man anvender tyndt regenerat, fx folieknus. For at sikre at snekken til stadighed har en kontinuerlig føddning, presser stopsnekken materialet ned mod snekken i ekstruderen.

Motoren på stopsnekken er ofte monteret med en styring, der ved hjælp af strømforbruget styrer trykket ned mod snekken.



Princippet med doserings-snekke anvendes, når man har en snekke med for stort kompressionsforhold i forhold til materialet.

Hvis man anvender varierende granulættørrelse, pulver, knus eller pelleteret, vil man i nogle tilfælde få overfyldning. Det kan modvirkes ved at sætte doseringen ned eller i modsat tilfælde op.

Stopsnekke

Hvis der ekstruderes med regenerat, kan der være stor forskel på vægten af den mængde, som snekken tager med frem på én omdrejning. Hvis regeneratet stammer fra meget tynde emner, som er knust, vil der være en masse luft og næsten ingen plast i den mængde, som snekken tager med frem. Dette kan afhjælpes ved at montere en lodretstående stop-snekke, som presser det meget løse regenerat sammen.

Nogle virksomheder går dog over til at formale regenerat til pulverform, hvorved der sikres ensartet fyldning af snekken. Man skal dog blot huske på, at jo flere molekyler man får revet over under formalingen, jo dårligere bliver kvaliteten af det produkt, man laver.

Doserings-snekke

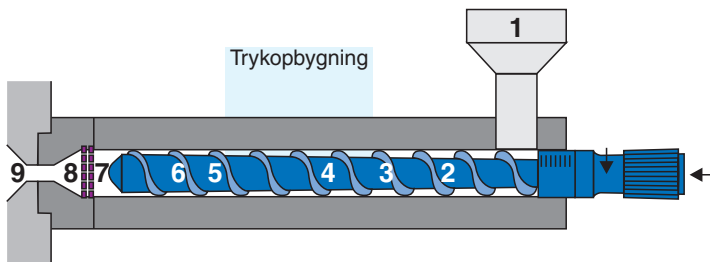
Ved ekstrudering med skiftende materialetyper og materialeformer, vil man i mange tilfælde opleve, at snekken bliver overfyldt, hvorved der opbygges et ekstremt højt tryk.

Ved ekstrudering med dobbeltsnekkeekstruder er det også meget vigtigt, at råvaretilførslen stemmer overens med snekkegeometrien. På grund af den tvungne materialetransport vil der ved overfyldning ske det, at der opbygges så stort et tryk, at det kan få katastrofale følger i form af brud på dele i ekstruderen. Desuden vil den for store mængde plast presses ud gennem vakuumsone på cylinderen.

Plastificeringens procesforløb

Ved fremstilling af en homogen plastmasse under højt tryk - ud fra granulat - ved enkelt-snekkeekstrudering er der ni trin i processen.

- 1 Råvare ind
- 2 Sammentrykning og opvarmning
- 3 Smeltning på overflade af cylinder
- 4 Materialet er her i pakningselastisk form
- 5 Materialet er her smeltet og under maks. tryk
- 6 Smeltet materiale blandes her
- 7 Materiale filtreres gennem si
- 8 Materialerotation stoppes gennem hulplade
- 9 Materiale formes til rundt tværsnit



For at modvirke overfyldning er der på mange ekstrudere monteret en doseringssnekke. Denne doseringssnekke kan varieres i hastighed, således at den præcist føder ekstruderen med den råvaremængde, som snekken kan forarbejde.

Plastificeringsprocessen

Det egentlige mål med plastificeringsprocessen er at overvinde de kræfter, hvormed molekylerne hænger sammen - den indre tiltrækningskraft mellem molekylerne - og derefter lejre dem i en ny form.

Hanken i en bærepose kan blive meget lang, hvis vi har fyldt lidt for mange varer i posen. Det, der egentlig sker, er, at molekylerne flytter sig i forhold til hinanden, og at de retter sig ud på grund af trækket fra varerne og varmen fra hånden. Man kan også sige, at man overvinder den indre friktion i plastmaterialet eller den indre tiltrækningskraft mellem molekylerne.

Det er disse såkaldte forskydningskræfter, vi skal overvinde i ekstruderen. Det sker ved at tvinge materialets molekyler til at glide mod hinanden under transporten gennem ekstruderen.

Når snekken roterer, vil der foregå en fremadrettet transport, idet udfræsningen i snekken ligger som et gevind med meget stor stigning. Den maksimale transporteffekt må være, når materialet bevæger sig i en ret linje, parallelt med snekken. Den minimale transporteffekt er, når materialet følger snekkens rotation.

Under tragten (traverszonen) presses materialet ind i ekstruderen som granulat eller pulver. Der er altså mellemrum mellem plastkornene, hvori der findes luft. I kompressionszonen klemmes materialet sammen, og luften fortrænges hen imod tragten. Samtidigt sker der en trykopbygning hen imod værktøjet. Trykkets størrelse er også afhængigt af modtrykket i værktøjet og af eventuel filter/si.

Varme

Ekstrudering foregår som ved andre termoplastforarbejdningsmetoder i tre faser:

- Opvarmning: Tilført varme, friktionsvarme, modtryk (aflæses som zonetemperatur, massetemperatur og massetryk)
- Formgivning
- Afkøling

Opvarmning af cylinderen

Plast er en dårlig varmeleder, hvilket medfører, at det er vanskeligt at få varmen ind i plastmaterialet, og det er vanskeligt at få den jævnt fordelt.

Det forhold er man nødt til at tage hensyn til i produktionsprocesserne.

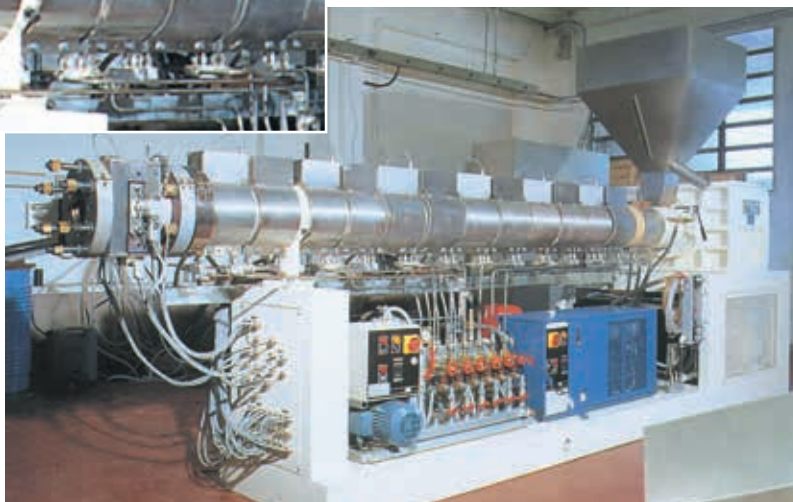
Opvarmning af plasten i ekstruderen foregår bl.a. ved hjælp af de uden på cylinderen anbragte varmebånd. For at kunne styre temperaturen er der for hver zone anbragt en føler og en temperaturstyring.

En zone kan bestå af flere varmebånd, der tændes og slukkes samtidigt. Føleren er da anbragt i midten af de tilhørende varmebånd.

Dog må det her gentages, at det ikke alene er varmebåndene, der opvarmer plasten til forarbejdningstemperaturen. Varmebåndene yder kun et tilskud af varme til plastificeringsprocessen. Resten er friktionsvarme.



Her er der to varmebånd til hver zone. Føleren sidder imellem varmebåndene.
(Pro-Consult A/S/MAI VIRGINIO)



Plasten vil undervejs komme i berøring med den varme cylindervæg. Men på grund af den dårlige varmeledning er det kun den del af granulatet, som rører ved cylinderen, der blødgøres. Snekkens opgave er derfor at få materialet til at rotere, således at granulat-kornene blødgøres på hele overfladen. Snekkens udformning, kompressionsforholdet, er medvirkende til, at plasten bliver presset hårdere og hårdere mod cylinderen. Derved presses granulat-kornene ”flade”, og de endnu kolde områder kommer i berøring med cylinderen og bliver blødgjort.

I pumpe-zonen, hvor der er mindst plads, foregår den sidste blødgøring og æltning af plasten.

Ved mange materialetyper sætter man temperaturen lavest ved tragten. Derefter sætter man oftest temperaturen højere og højere hen mod snekkespidsen. Som en tommelfingerregel kan man i mange tilfælde sætte indgangstemperaturen ca. 20 °C lavere end udgangstemperaturen, som sættes tilsvarende den vejledende forarbejdningstemperatur i databladet.

Temperaturforhold ved PVC

Hvis du skal ekstrudere PVC, vil du sandsynligvis ikke kunne finde en vejledende, anbefalet forarbejdningstemperatur i materialedatabladet. En sådan findes sjældent. Massetemperaturen kan variere fra ca. 70 °C og op til ca. 185 °C, afhængigt af hvor blødgjort PVC'en er. Jo mere blødgjort PVC'en er, jo lavere temperatur.

Samtidigt er temperaturen meget afhængig af opholdstiden i ekstruder og værktøj, altså fra materialet falder ned i snekken, og til det forlader dysen.

I PVC er der tilsat varmestabilisatorer, som skal forhindre, at PVC'en ”forbrænder” under ekstruderingen. Stabilisatorerne skal hindre iltning af PVC'en, men ”brændes” i princippet selv af. Inden indholdet af varmestabilisator er brugt op, skal PVC'en altså have forladt dysen, ellers forbrænder den.

Hvis man skal genbruge PVC-regenerat, kan det således være nødvendigt at tilsætte ny varmestabilisator.

De samme forhold kan gælde for smøremidler og andre tilsætningsstoffer, når der er tilsat sådanne.

Friktionsvarme

Den varme, der udvikles ved snekkens arbejde med plastmaterialet, er friktionsvarme.

Friktion opstår, når to flader glider mod hinanden. Jo større kraft de to flader presses mod hinanden med, jo større friktion og friktionsvarme.

Friktionen er forskellig, afhængigt af fx plasttype, smelteindeks, varme og tilsætningsstoffer. Den kan bl.a. aflæses som det tryk, ekstruderen opbygger hen mod værktøjet.

Vi må betragte endnu et forhold, som kan møde plastmaterialet under processen. Hvis vi placerer en stump stearin på sålen af et koldt strygejern, vil den blive liggende, selv om vi holder fladen lidt skråt. Men er strygejernet varmt, vil selv en meget lille afgivelse fra vandret, bringe stearinstumpen i bevægelse hen over strygesålen. Dette skyldes, at der opstår et smeltet lag mellem strygesålen og den ikke smeltede stearin.

Hvis plasten undervejs i ekstruderen bliver udsat for så varme områder, at overfladen bliver flydende, er snekken ikke i stand til at transportere granulatet. Dette benævnes som stearineffekt.

Modtryksfilter/-si

I de fleste plastforarbejdende virksomheder råder man ikke over et større udvalg af snekker med tilstrækkeligt varierende snekkekompressionsforhold. Derfor kan man have problemer med at forarbejde forskellige typer af termoplast.

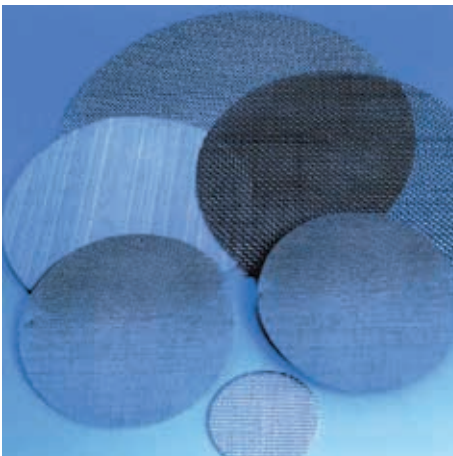
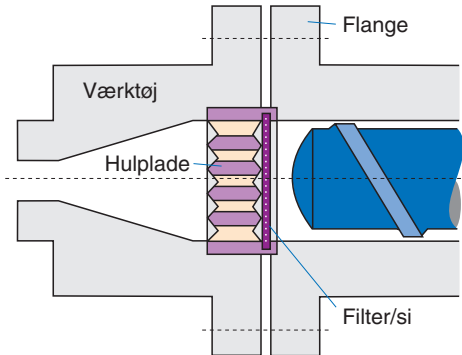
For at gøre ekstruderne universale er der derfor anbragt en hulplade, hvorpå der kan sættes et finmasket metalfilter. Maskernes størrelse og dermed modtrykkets størrelse kan være alafgørende for, om plasten bliver gennemplastificeret.

Filtret skal:

- Opfange snavs
- Øge modtrykket
- Stoppe snekkerrotationen i materialet

Filtret ligger op mod hulpladen. Det bevirker som nævnt, at materialets strømning efter filteret ikke bliver berørt af snekkens rotation.

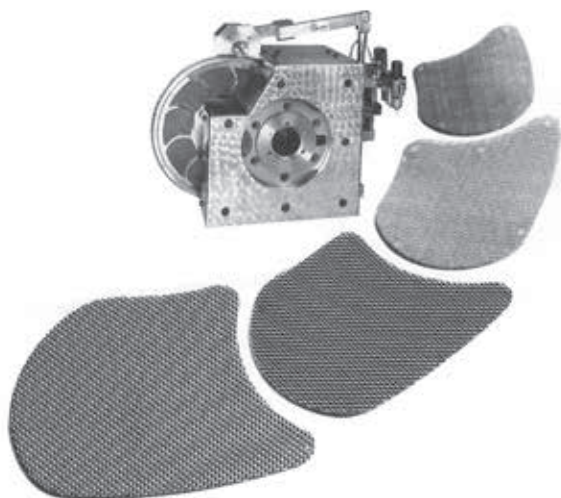
Filteret/sien er placeret op mod hulpladen. Hvis det er et 2-lags eller 3-lags filter, skal materialet først igennem det fine filter, dernæst igennem det grove og til sidst igennem hulpladen. De grove masker på filteret er der kun for at understøtte de fine masker. Ellers ville de fine masker blot sprænges og føres ind gennem hulpladen på grund af det store tryk.



Eksempel på filtre

(BOGØ Filter ApS)

Bemærk, at der findes både 1-, 2- og 3-lags filtre.



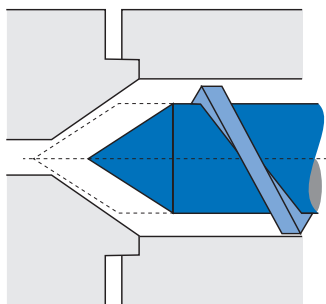
Automatisk filterskifter

(Svanström Extrotec AB/Haver og Boecker)

En trykmåler er placeret umiddelbart før filterskifteren. Når trykket før filteret bliver tilstrækkeligt højt, sendes signal til drejemekanismen, som drejer et nyt filter frem foran gennemstrømningshullet. Derved falder trykket, og drejemekanismen stopper.

Drosselspalte

Snekken kan forskydes frem og tilbage.



Massetrykmåler

(BASF)

Trykmåleren er typisk placeret ved indgangen til værktøjet.

Trykket, der vises på et display, kan variere fra ca. 50 til flere hundrede bar, alt afhængigt af plasttype og andre forhold.

Husk at undersøge, hvor stort et tryk den aktuelle maskine kan tåle. Ellers risikerer du at snekken knækker eller værktøj-et sprænges.

Hvis der er risiko for, at der lægger sig snavs op mod filteret, vil der samtidigt være risiko for, at der forekommer stillestående materiale foran disse områder med snavs. Hvis man forarbejder en plasttype, som ikke tåler varmen i længere tid, fx POM eller PVC, er det u hensigtsmæssigt at anvende filtre. Man bliver nødt til at køre uden filtre og lade eventuelt snavs passere.

Men da man ved ekstrudering i disse følsomme materialer også har brug for modtrykket, må dette frembringes på en anden måde. Man anvender da en spærring eller modtryksring.

Spærreringen eller modtryksringen er en forsnævring, som bliver indsat ved overgangen mellem cylinder og værktøj. Den er udstyret med et lille hul af en given størrelse. Ved at udskifte ringen med en, der har større eller mindre hul, har man mulighed for at opnå det tryk under plastificeringsprocessen, man ønsker.

Det tryk, som snekken udfører på plasten ved fremdriften og ved kompressionsforholdet, kan udvikle meget varme. Varmeudviklingen kan være så kraftig, at temperaturen langt overstiger det ønskede. Derfor er det meget vigtigt, at man

kører med et korrekt antal snekkeomdrejninger. Få omdrejninger giver for lidt friktionsvarme, og for mange omdrejninger giver ofte for megen friktionsvarme.

Modtrykket har også stor indflydelse på temperaturen. Højere modtryk giver større friktion og dermed mere varme, lavt modtryk giver lav friktion og dermed kun lidt friktionsvarme.

Snekkenes kompressionsforhold har også stor betydning. Lav kompressionsforhold giver lav friktion og kun lidt friktionsvarme. Højt kompressionsforhold giver høj friktion og megen friktionsvarme.

Endelig kan man på visse ekstrudere regulere modtrykket ved at forskyde snekken frem eller tilbage. Åbningens størrelse - drosselspalten - mellem cylinder og værktøj giver så større eller mindre modtryk.

Massetrykmåler

Massetrykmåleren placeres således, at dens flade ende sidder præcist glat med den indvendige side af den del, den er skruet fast i. Massetrykmåleren måler kun med den lille, glatte endeflade. Vær meget forsigtig, når den skal håndteres, den tåler ikke slag.





Massetrykmåler

"Ekstruderingsværktøj" eller bare "værktøj"

er en benævnelse af mange mulige. Nogle virksomheder kalder det "Hoved", "Form", "Dyse", "Matrice" eller andet.



Massetemperaturmåler



Øverst aflæsning af opnået massetemperatur.
Nederst aflæsning af masse-tryk (ekstruderen kører ikke)

I stikket/kablet til føleren sidder der en masse meget tynde ledninger. Vær også forsigtig ved af- og påmontering af dem.

Massetemperaturmåler

Massetemperaturmåleren er udstyret med en 10-20 mm lang følerspids, som skal stikke ind i den forbistrømmende plast. Der er således meget stor risiko for at rive spidsen af føleren, hvis man starter, inden plasten er helt gennemvarm.

Ligeledes er der risiko, hvis man under drift skifter til en mere varmekrævende plasttype. Det alt for høje tryk, der opstår, kan rive følerspidsen af, foruden at det måske knækker snekken.

Nogle følere er udstyret med en fladtrykt spids. Her er det meget vigtigt, at strømningsretningen på plasten ikke går på tværs af den fladtrykte spids, for så vil den øjeblikkeligt knække.

I stikket/kablet til føleren er der to meget tynde og dårligt isolerede ledninger. Vær også forsigtig ved af- og påmontering af dem.

Ekstruderingsværktøj

I ekstruderingsværktøjet formgives den opvarmede plast. Om plasten formes til fx en slange, profil, folie, plade eller monofil, er i den her sammenhæng underordnet. Det er de samme forhold i værktøjet, der skal tages hensyn til.

Varmebåndene på værktøjet tilfører normalt en lille smule varme. Varmen er kun medvirkende til at hjælpe plasten igennem værktøjet og har grundlæggende ingen indvirkning på plastificeringsprocessen. Dog kan værktøjer med en meget lille dyse- eller spalteåbning udøve et ret stort modtryk på lige fod med filteret/sien.

Hvis man forestiller sig, at der ikke er noget filter eller si eller anden form for modtryk, og at værktøjet er til fx store rør med en spalteåbning på 15 mm, så vil plastkornene rent faktisk kunne "trille" stille og roligt igennem ekstruder og værktøj. Snekken vil da i princippet blot fungere som en transportsnegl, når der ses bort fra kompressionsforholdet.

Er det derimod et værktøj med meget små/tynde flydeveje, kan der opstå så megen friktionsvarme i værktøjet, at dele af plasten eller dele af tilsætningsstofferne, som måske ikke tåler så høj temperatur, kan brænde fast indvendigt i værktøjet.

Dette kan opleves som brandstriber (mørke striber af forkullet plast, som forringer kvaliteten). Der kan være matte striber i overfladen. Det kan også forekomme som sorte klatter i overfladen fra forbrændte klatter, som river sig løs og følger med produktet ud.

En af måderne at løse dette problem på er at sætte produktionshastigheden ned. En anden måde kunne være at hæve temperaturen en anelse på værktøjet der, hvor der er mindst plads. Derved varmes overfladen i plasten, som bliver mere blød og derved smutter nemmere igennem. Men pas på, at plasten ikke bliver nedbrudt og derved mister kvaliteten.

Hvis man hæver temperaturen på dysen, vil man i de fleste tilfælde også opleve, at emnet bliver mere blankt i overfladen.

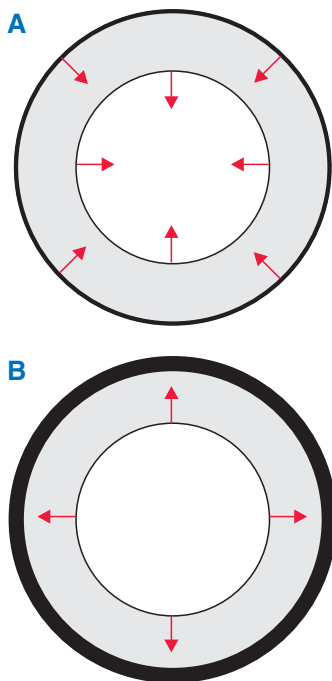
Køling

Efter formgivningen skal produktet køles ned. Det kan ske ved berøring mod vandkølet metal, fx valser til køling af plader eller en kalibrator til køling af rør. Ujævnheder i plader bliver rettet, ved at pladen passerer mellem et sæt vandkølede valser, som samtidigt køler overfladen på pladerne.

Indefrysning

Man skal altid være opmærksom på et forhold vedrørende afkøling af plast: Det tager lige så lang tid at nedkøle plastmaterialet, som det tager at opvarme det. Når man anvender en kraftig køling, medfører det ofte, at man får "indefrosset" nogle spændinger i produktet.

- A. Høj produktionshastighed = ringe køling = mindre diameter.
Den afkølede skal trækkes ind mod centrum af svindkræfterne i den indre del af røret. Diameteren bliver meget mindre end kalibratoren.
- B. Lav produktionshastighed = god køling = stor diameter.
Den afkølede skal er i stand til at modstå svindkræfterne i den indre del af røret. Diameteren forbliver næsten samme størrelse som kalibratoren.



Røret får den glatte udvendige overflade, ved at det føres ind gennem et vandkølet stål- eller messingrør, også kaldet *kalibrator*. Et overtryk inden i plastrøret, eller vakuum i kalibratoren uden om plastrøret, presser/ suger plastrøret ud mod den omgivende stål- eller messingrørskalibrator. Derved køles og glettes den udvendige overflade på plastrøret. Rindende vand, brusere eller kølekar fyldt med vand fjerner ofte den sidste rest af varme fra emnerne.

Profilindustrien anvender en tilsvarende kalibrator som ved rørene. Her har kalibratoren blot den samme facon som profilet.

Luftblæsere eller køleluft anvendes i folieindustrien. Men ofte anvendes en kombination af flere kølemetoder.

At køle materialet er, modsat opvarmning, at fjerne energi, indtil det frembragte produkt er stift nok til at holde sin form. Emnet skal afkøles af det kølende medium - vand, luft eller metal, hvorved varmeenergien fjernes. Jo bedre kontakt, og jo lavere temperatur kølemediet har, desto bedre køler det.

En ting, man skal være opmærksom på vedrørende nedkøling af plast, er, at det tager lige så lang tid at nedkøle materialet, som det tager at opvarme det. Det medfører ofte, når man anvender en kraftig køling, at man får "indefrosset" nogle spændinger i produktet.

Plastmaterialer skrumper meget. Hvis man fx køler kraftigt og længe med en vandkølet kalibrator på et rør, vil den ydre del stivne. Røret vil så få den størrelse, som kalibratoren har. Men hvis der kun køles kort tid, vil den indre del af røret få en langsom, naturlig køling og vil, samtidigt med at det bliver koldere, blive mindre. Den tynde, stivnede ydre skal er ikke i stand til at modstå trækkes fra svindet i det indre rør, og diameteren bliver mindre.

Lav produktionshastighed giver større diameter. Høj produktionshastighed giver mindre diameter.

Ved høj produktionshastighed opnås kort køletid og ringe køling af røret, hvilket medfører stort eftersvind.

Ved lav produktionshastighed opnås længere køletid og god køling af røret, hvilket medfører mindre eftersvind.

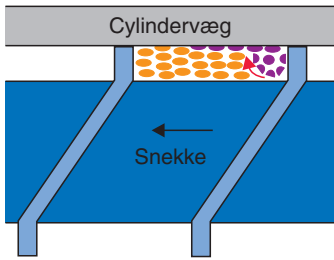
Strækning

Plasten har "hukommelse", hvilket indebærer, at den form, som plasten har, når den forlader dysen, vil den søge tilbage til, hvis den omgivende temperatur bliver høj nok.

Når man fx strækker en folie ved opblæsning af boblen, er det en ændring, som plasten "husker". Det betyder, at hvis man klipper et stykke ud af en plastpose, fx på 100 × 100 mm, og lægger det ind i en ovn ved 130-150 °C, vil man få at se, hvor stor folien var, inden den blev blæst op. Denne egenskab udnyttes til krympefolier.

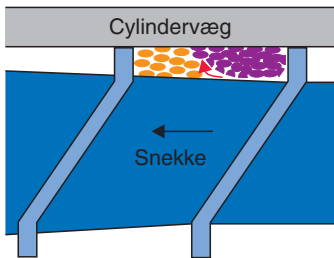
Det samme gør sig gældende ved mange fibre. For eksempel skal tøj, der er lavet af PA, vaskes ved meget lav temperatur (30-45 °C). Hvis man kogevaske en skjorte, kan man opleve, at den kommer ud som en "børneskjorte", dog en noget kraftig skjorte. Det sker, fordi fibrene begynder at krybe tilbage til den størrelse, som de havde inden strækningen.

Dette medfører, at hvis man strækker/trækker i emnet for at opnå mindre godstykkelse, vil emnet, hvis det bliver udsat for tilstrækkeligt varme, krybe tilbage til den oprindelige godstykkelse ved dysen.



Fødezonen

Når hulrummet mellem gængerne i fødezonen fyldes med koldt granulat (de gule piller), vil de piller, som kommer i berøring med cylinderen, blive opvarmet/smeltet (de mørkere farvet). Når snekken roterer, vil den "bagvedliggende" gænge skrabe de smeltede piller af cylinderen, og denne ophobning af smeltet plast vil til stadighed rotere rundt om sig selv på grund af snekkens rotation og gængernes fremadbevægende bevægelse. Den "foranliggende" gænge bevæger sig hele tiden fremad, og de endnu kolde piller bliver skubbet fremad i dette hulrum. Derved kommer nye piller i berøring med cylinderen, og disse bliver således også opvarmet.



Kompressionszonen

De sidste, endnu kolde piller kommer i berøring med cylinderen, og samtidig bliver hulrummet mellem gængerne mindre og mindre, og luften mellem pillerne bliver presset bagud mod tragten. Det reducerede hulrum sikrer samtidig, at al plasten får en meget god kontakt med cylinderen, hvilket bevirker en god opvarmning. Da plasten er en dårlig varmeleder, kan selve kernen i den enkelte pille stadig være koldere end det udenom, men i slutningen af kompressionszonen mases pillerne effektivt sammen, så en æltning kan begynde.

Snekkens arbejde

For at kunne styre opvarmningen af plasten, må man vide, hvad der foregår i de enkelte zoner i snekkeregionen. Snekken består normalt af:

- Fødezone
- Kompressionszone
- Pumpezone
- Eventuelt snekkekøling

Fødezone

Granulatet eller pulveret er relativt koldt og stift, når det falder ned om-kring snekken. Det kan være forvarmet, men må ikke være for blødt. Snekkægængerne er da i stand til ved snekkens rotation at skubbe materialet fremad.

Det er meget vigtigt, at materialet i starten er tilstrækkeligt stift. Hvis det var eller blev letflydende lige under tragten, ville det blot klæbe fast til snekken og følge med denne rundt eller flyde tilbage i gængerne, mens snekken roterer. Det skal være fast materiale, som snekken skubber på.

Igennem fødezonen sker der en vis opvarmning af materialet, men det er kun den del af plasten, som er i berøring med cylindervæggen, der bliver blødgjort. Gængen vil så under rotationen skrabe den blødgjorte plast af cylindervæggen. Plasten bliver presset ned langs gængevæggen af den kontinuerlige strøm af nyt, afskrabet materiale. Derved opstår der rotation i den blødgjorte plast i den bagerste del og i bunden af hulrummet mellem gængerne.

Vi må forestille os, at dette blødere materiale strømmer i større og større "cirkler" foran gængen, mens flere og flere af plastkornene smeltes.

Luften har dog hele tiden mulighed for at undvige bagud gennem det ikke smeltede materiale.

Kompressionszone

Når plasten kommer frem til kompressionszonen, er en større del af den plastificeret, men der mangler stadig den del, som befinder sig i den forreste del af hulrummet mellem gængerne.

På grund af den vigende plads presses plasten hårdere og hårdere mod cylindervæg og snekke. Derved opnås endnu bedre varmeoverførsel fra cylinderen, og snekkerotationen giver mere varmetilskud i form af friktionsvarme.

Varmen fordeler sig langsomt, men snekkens rotation hjælper med fordelingen, ved at den drivende gænge skraber plastmaterialet af cylindervæggen, så nyt materiale kan komme i berøring med cylindervæggen.

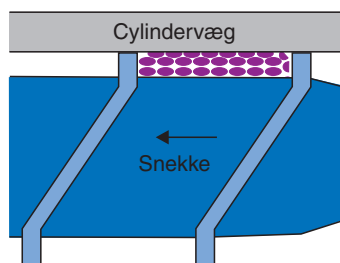
Hvis der er vakuum- eller afdampningszone med skueglas på ekstruderen, vil man her kunne se, at plasten ligner "en ikke helt færdigæltet dejmasse", som det kendes fra bagning.

I kompressionszonen presses plasten desuden så hårdt sammen, at den resterende luft mellem de resterende granulat-korn fortrænges bagud mod tragten.

Pumpezone

På vej ind i pumpezonen forsvinder den sidste luft bagud.

I pumpezonen udlignes den sidste varmetilskud, som endnu måtte være til stede, eventuelt på grund af enkelte meget store granulat-korn, og her sker den optimale blanding/æltning af materiale, farver og andre tilsætningsstoffer.



Pumpezonen

Alle piller skal her være blødgjort/smeltet, og bliver her æltet og blandet, således at alle eventuelle fyldstoffer, tilsætningsstoffer, farver og andet bliver effektivt fordelt i plasten. Her må der ikke være luft til stede mellem granulatene, som tegningen måske ellers antyder. Illustrationen er lavet for at vise, at hulrummet er blevet mindre, og at alle piller er opvarmet og smeltet.

I nogle snekker kan der som nævnt være indskudt en eller flere forskelligt udformede mikse-enheder eller barriereenheder. Den nævnte "barriere" skal forhindre ikke-smeltet materiale i at nå frem til værktøjet. Først når plasten er helt smeltet, vil den være i stand til at komme igennem den meget lille åbning ved barrieren.

Når plastmaterialet forlader snekken, skal det være en fuldstændigt homogen masse.

En vigtig faktor ved ekstrudering er snekkens rotationshastighed. Såvel for få som for mange omdrejninger har uheldig indflydelse på plastificeringen.

Ved meget få omdrejninger kan varmen fra varrebåndene selvfølgelig alene smelte plasten. Men ingen virksomheder tillader så lav en produktionshastighed.

Ved lidt flere omdrejninger kan varrebåndene ikke nå at varme plasten op, og hastigheden er stadig så lav, at der ikke udvikles nok friktionsvarme. Det vil selvfølgelig resultere i dårlig plastificering.

Ved endnu højere hastighed vil udviklingen af friktionsvarme være så høj, at den sammen med den tilførte varme vil være i overensstemmelse med den ønskede masstemperatur, og resultatet vil være optimalt.

Ved meget høj snekkehastighed er der to muligheder. Måske kan plastkornene ikke nå at smelte helt ind i midten (plast er en dårlig varmeleder), og derved får man en uhomogen plastmasse. Eller måske udvikles der så megen friktionsvarme, at molekylerne brister, og kvaliteten forringes væsentligt.

Hvis man kører med mange snekkeomdrejninger, er det muligt, at temperaturen i pumpezonen og masstemperaturen er høj nok eller måske endda for høj. Men det er jo ingen garanti for, at al plasten er lige varm. Det er jo kun en gennemsnitstemperatur, der vises. Således kan den ydre "skal" af et korn udmærket være fx 240 °C og "kernen" kun 180 °C. Dette vil man måske kunne aflæse som en masstemperatur på 210 °C.

Hvis der i kompressions- og pumpezonen opstår for høj temperatur, måske på grund af for stort modtryk eller for høj snekkehastighed, starter zonekølingen/køleblæseren. Men husk på, at temperaturen kun sænkes i cylinderen. Temperaturforskellen på plasten og den omgivende cylinder kan godt være stor. Tænk blot på temperaturforskellen i en gryde. Det er ikke på siden af gryden, at maden brænder på, men i bunden.

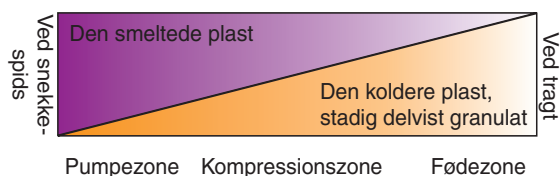
Husk, at plasten kan være endog meget varm på grund af friktionsvarmen, selv om cylinderen er kølet af blæserne.

Snekkekøling

Tegningen forestiller materialet på snekken rullet ud som et langt bånd. I starten er "båndet" granulat. Derefter sker der en begyndende plastificering, som lægger sig op mod gængen. I slutningen er al plasten smeltet.

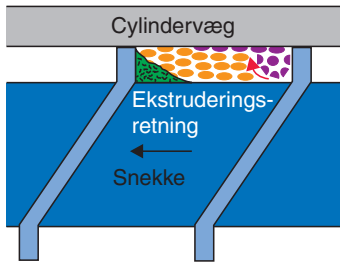
På ekstrudere, hvor der er temperaturstyring på snekken, kan man således delvist styre fremdriften af plasten ved hjælp af snekketemperaturen. Lav snekketemperatur giver kraftig fremdrift og dermed højere friktionsvarme. Høj snekketemperatur giver dårligere fremdrift og dermed mindsket friktionsvarme.

Snekker med indvendigt, lukket kølesystem kan man ikke regulere.



Snekkens udseende

Hvis man forestiller sig, at man kunne stoppe snekken og rulle den plastmasse ud, der sidder mellem gængerne, vil man få et langt bånd, som ville se ud som på tegningen til venstre.



Fejl i fødezonen

Bag ved gængen sidder størket plast, som nedsætter ydelsen, og som måske rives løs senere.

Når man tager snekken ud for rengøring, bør den se således ud:

I fødezonens bør den være blank og pæn som ny, måske med enkelte smeltede plastkorn siddende foran og på den drivende gængeside/flanke. Bag ved gængen må der ikke sidde materiale. Hvis det er tilfældet, har fødezonens været for varm, og der har været for dårlig fremdrift af den alt for blødgjorte plast.

Hvis der sidder materialerester her, vil det nedsætte ydelsen, og også kunne resultere i, at man endog meget længe efter et farveskift uden at have rengjort snekken vil kunne opleve, at der pludselig kommer materiale ud med den forrige farve.

I kompressionszonen sker der en gradvis farvning (blå) af snekken på grund af varmen. Samtidigt vil der på den drivende gængeside sidde rester af smeltet plast. Dette tiltager frem mod pumpezonen. Mængden af fastsmeltede plastrester vil dog være afhængig af plasttypen. Fx efterlader PE næsten ingen rester, mens ABS sikkert efterlader en del.

Pumpezonen kan være helt farvet (blå) på grund af varmen. Her vil der i mange tilfælde være fyldt med materialerester, igen afhængigt af plasttypen. Nu kan det jo være svært at se, hvordan platen har været smeltet her, men måske kan farverester afsløre, om platen har været homogen i hele gængehulrummet. Eventuelt usmeltede korn her kan stamme fra, da snekken blev kørt tom.

Det bør være unødvendigt at forklare, hvor vigtigt det er at få snekken helt rensat ved materiale- eller farveskift.

Mangelfuld rensning kan medføre, at man må kassere måske flere hundrede kg misfarvede emner eller bruge en arbejdsdag på at lede efter emner med rester af andre plasttyper. For slet ikke at nævne, at virksomheden måske mister kunder på grund af overset dårlig kvalitet.

Hvis snekkens gænge i fødezonens er blevet bøjet bagover på grund af det tryk, den skubber materialet frem med, kan det være tegn på, at der har været for lidt varme på en eller flere zoner. Andre mulige årsager er for lav temperatur i fødezone, forkert temperaturprofil, for stort kompressionsforhold, forkert zoneopdeling i forhold til materiale-type, for høj snekkehastighed og for stort modtryk.

Temperatursætning

Det er umuligt at give regler for, hvordan temperaturen skal sættes i de enkelte varmezoner på ekstruderen samt på værktøjet. Her er dog nogle synspunkter, som måske kan være en hjælp.

Tanken bag vejledningen er, at det er den tilførte varme, der bestemmer, hvad massetemperaturen bliver. Hvis det udelukkende er friktionsvarmen, som bestemmer temperaturen i de sidste zoner og i værktøjet, er der meget stor risiko for, at temperaturen vil svinge uacceptabelt, eventuelt på grund af små ændringer i trykforhold, filter, granulattørrelse, blandinger osv.

Dog skal en stor del af opvarmningen komme fra friktionsvarmen, men ikke så meget at den overtager "magten".

Desuden er der den risiko, at der opstår forbrændinger indvendigt i værktøjet, hvis dette udelukkende holdes varmt af friktionsvarme.

Sagt kort og godt: Det er dig, som skal bestemme temperaturen, og ikke maskinen.

Derfor er det vigtigt at se på den "aktuelle" temperatur i forhold til den, du har sat.



Omkring fødezonen: Her må ”aktuel” temperatur gerne være få grader lavere end den indstillede. ”On”-lampen på varmereguleringen må gerne lyse en stor del af tiden, men skal slukke en gang imellem. Ellers er der noget galt med varmebåndene (eventuelt brændt af).

Hvis der er uafbrudt varme på, vil cylinderen blive rødglødende ligesom varmebåndene, og der vil sætte sig fastbrændt materiale på cylindervæggen. Det vil efterhånden komme ud som sorte klatter eller slagger.

Omkring kompressionszonen: Her må ”aktuel” temperatur gerne være den samme som den indstillede. ”On”-lampen på varmereguleringen må gerne lyse en gang imellem, men bør slukke ofte.

Der kan ikke gives et fast interval, men der må være varme på 10 til 50 % af tiden.

For megen varme her er tegn på for lidt friktionsvarme og vil måske resultere i fastbrændt materiale på cylindervæggen. Det vil komme ud som sorte klatter eller slagger.

Omkring pumpezonen: Her må ”aktuel” temperatur gerne være den samme som den indstillede. ”On”-lampen på varmereguleringen må gerne lyse en gang imellem, men bør slukke meget ofte.

Der kan heller ikke her gives et fast interval, men der må være varme på 5 til 25 % af tiden.

For megen varme her er også tegn på for lidt friktionsvarme og vil måske resultere i fastbrændt materiale på cylindervæggen.

Hvis temperaturen er højere end den indstillede, er udviklingen af friktionsvarme så stor, at man har mistet kontrollen. Så er det friktionsforholdene i materialet og ekstruderen, som bestemmer massetemperaturen. Løsningen på det problem kan være fx temperaturændring eller færre om-drejninger.

På værktøjet: Her må ”aktuel” temperatur gerne være den samme som den indstillede. ”On”-lampen på varmereguleringen må gerne lyse en gang imellem, men bør slukke meget ofte.

Varme båndene bør kun erstatte det varmetab, der er fra værktøjet, og yde et lille tilskud til ekstra blødgøring af den plast, som glider langs væggen i værktøjet.

Den plast, som presses langs væggen, er den, som møder mest modstand.

For megen varme fra varme båndene kan resultere i fastbrændt materiale i værktøjet.

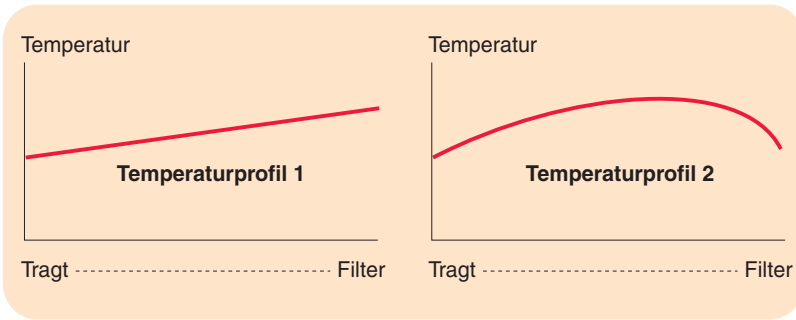
Hvis temperaturen i værktøjet er højere end den indstillede, er det tegn på, at der udvikles friktionsvarme i de snævre områder i værktøjet. Derved opstår der risiko for, at varmfølsomt materiale eller tilsætningsstoffer brænder fast, og der kommer matte striber og forbrændinger i produkterne.

På dysen: Temperaturen sættes ofte 5-15 °C højere end de øvrige værktøjstemperaturer. Det medvirker til at lette materialets vej her, hvor der er mindst plads.

Samtidigt er det med til at give en mere glat, blank og glansfuld overflade på produktet.

Temperaturprofil

Temperaturprofil er et udtryk for, hvordan man har sat temperaturen i de forskellige zoner. Temperaturprofilen kan være stigende eller faldende, eller stigende i starten og dernæst faldende osv.



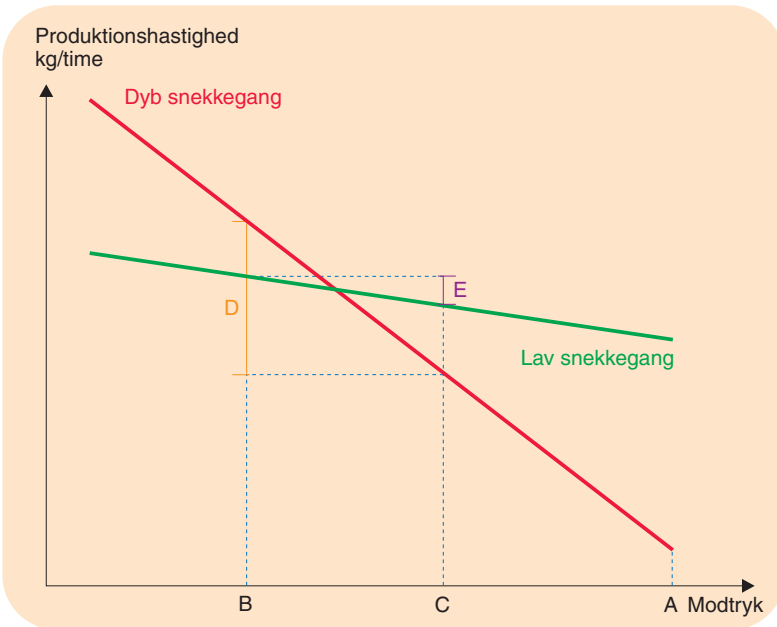
Temperaturprofil 1 og 2

I nogle tilfælde, hvor man får en dårlig blandet eller plastificeret masse, kan det måske hjælpe at tvinge temperaturen i pumpezone ned ved hjælp af kølingen/køleblæseren i pumpezone (se temperaturprofil 2).

Det kan fx gøres for at opnå højere modtryk, når platen skal gennem filteret/spærreringen. På denne måde vil kompres-

sionszonen komme til at arbejde hårdere og dermed tilføre mere friktionsvarme. Når platen således smeltes på et tidligere tidspunkt, kommer pumpezone til at arbejde mere effektivt med æltningen/blandingen af materialet.

Hvis massetemperaturen bliver for høj, kan det i nogle tilfælde hjælpe at hæve varmen i fødezone. Det bevirker, at snekken kommer til at arbejde med en lidt blødere plast. Derfor vil den kraftige fremdrift aftage, og trykket vil falde og dermed også mængden af friktionsvarme.



Snekkekaraktistik

Når modtrykket i ekstruderen vokser, stiger returstrømmingen i snekkegængerne. I dybe gænger opstår en forholdsvis større returstrøm, end i de lave gænger. Ved stigende modtryk falder snekkens transportevne, og timeydelsen falder mod nul (A).

Dybe snekkegænger har større transportvirkning ved lavt tryk, idet de giver plads til mere granulat end de lave snekkegænger.

Stiger modtrykket fra B til C, fx ved et snavset filter, falder timeydelsen for de to snekketyper med henholdsvis D og E.

Snekker med dybe gænger har et større fald i ydelsen, når modtrykket stiger.

Snekker med lave gænger bevarer næsten den fulde ydelse, selv om modtrykket stiger.

Dornvarme

På store værktøjer kan dornen være hul. Her er det muligt at montere varmebånd i dornen, således at man også kan styre temperaturen på inderdornen.

Hvis der er en stor inderdorn med luftgennemstrømning i værktøjet, anbefales det at montere varmebåndene i inderdornen, hvis sådanne findes. Luftgennemstrømningen vil til stadighed køle inderdornen, og derved får man dårlig flydning langs den. Det kan som før nævnt resultere i friktionsvarmeudvikling og forbrændinger eller dårlig flydning. Materialet kommer måske til at "rulle" langs den kolde dorn, og dermed forringes kvaliteten. Desuden bliver emnet mat indvendigt, hvis dornen er koldere end platen.

1 cm pr. 36 sekunder svarer til 100 cm (eller 1 meter) i timen.
 → Antal cm pr. 36 sekunder
 = antal meter pr. time

1 gram pr. 36 sekunder svarer til 100 gram i timen.
 → Antal gram pr. 36 sekunder
 = antal gram × 100 pr. time

Ydelse

Der er flere måder at kontrollere en ekstruders ydelse på. Her nævnes den nok mest enkle måde at gøre det på, hvis der ikke findes automatik på maskinen, som kan beregne ydelsen. Man kunne jo også have brug for at kontrollere automatikken!

En time består af 60 minutter a 60 sekunder: I alt 3.600 sekunder. Hvis man måler den mængde eller længde, som ekstruderes på 36 sekunder, får man altså at vide, hvor meget der produceres på 1/100 af 1 time. Med denne viden kan reglerne i boksen til venstre opstilles.

Generel klargøring inden opstart

Inden man begynder at ekstrudere, er det vigtigt at være velforberedt. En vellykket opstart med et minimum af affald afhænger af god forberedelse. Hvad hjælper det at have gennemført en fin opstart, hvis det viser sig, at afkortereren ikke kan køre, fordi der er en, som har "lånt" fx trykluft-slangen, eller måske en specialnøgle til indstilling af saven.

Det er umuligt at give en opskrift som dækker alle former for opstart, men følgende systematik kan være til hjælp.

Klargøring

1. Fremskaf alle nødvendige produktspecifikationer og produktionsordrer, således at der ikke laves en forkert opstilling.
2. Vær sikker på, at råvarerne til produktionen er til stede. Hvis det er en fugtfølsom råvare, skal den måske først fortørres/forvarmes.
3. Rengør materialetragt og eventuel materialesuger. Et enkelt korn fra forrige produktion kan ødelægge mange meter produktion eller i værste fald brænde sig fast i værktøjet og skabe en "brandstribe", som kræver produktionsstop og værktøjsrensning.
4. Udtag og rens eventuelt snekken, hvis det ikke allerede er gjort. Her er det selvfølgelig nødvendigt at sætte varme på forinden, hvis ekstruderen er kold.
5. Klargør formværktøjet til ekstruderen. Rengør og polér alle de flader i værktøjet, som kommer i berøring med plast. En lille grat i værktøjet, som måske ikke er synlig for øjet, men kun kan mærkes med fingerspidsen, kan give en meget synlig ridse i produktet. Sørg for, at alle samlingsflader i værktøjet er fuldstændigt rene og fri for grater. Rengør alle bolte for fedt- og plastrester, og smør dem omhyggeligt med varmebestandigt fedt på gevindet og under hovedet. Rengør gevind- og følerhuller, eventuelt med blæsepistol.

Det er i øvrigt god virksomhedspolitik at klargøre værktøjerne med det samme, når de tages ud af produktion. Har der været et problem med et værktøj, er der ingen, som kan huske dette en måned efter, når man skal bruge værktøjet igen. Desuden er det langt lettere at rengøre værktøjet, når det er varmt. Yderligere undgår man rustdannelser under fastbrændt plast.

HUSK: Polér altid på tværs af materialets flyderetning.

Langsgående ridser i værktøjet giver synlige ridser i produktet.

Poleringen skal også være ens overalt på berøringsfladerne, ellers ændres gennemstrømningshastigheden, da materialet altid flyder hurtigst der, hvor det møder mindst modstand.

6. Klargør eventuel si/filter og filterholder eller eventuel spærring.
7. Montér formværktøjet på ekstruderen.

Det kan være nødvendigt at montere, opvarme og efterspænde de enkelte værktøjsdele enkeltvist, hvis der er utilgængelige bolte i det samlede værktøj.

Hvis de monterede dele i værktøjet er opvarmet, kan det være nødvendigt at opvarme næste del inden monteringen, da metallet udvider sig temmeligt meget. Diameteren i en varm værktøjsdel kan blive så meget større, at den kolde del ikke kan gå ind over den varme.

HUSK: Alle bolte må i princippet ikke efterspændes, før værktøjet er i driftstemperatur. Monter alle varmebånd og følere, og tænd for varmen. Det kan i nogle tilfælde være en fordel at lade værktøjet opvarme trinvist, eller sætte varmen 10-20 °C lavere end driftstemperaturen. Derved undgår man overophedning af råvaren under opstart.

Mens ekstruder og værktøj bliver varm - det kan tage fra 30 minutter til 16 timer, afhængigt af værktøjets størrelse - kan tiden bruges til at klarlægge resten af linjen.

Hvis det generelt er meget store værktøjer, man arbejder med, kan det være en fordel at have et ekstra elskab, hvor man sætter værktøjet til forvarmning.

8. Klargør, montér og indstil eventuelt kalibratorudstyr. Klargør og afprøv eventuelt køleudstyr. Start så vidt muligt alle elektriske dele for at sikre, at de er i driftsklar stand.

Hvis det er store eller tykke emner, der produceres, skal man måske være opmærksom på, at emnet skrumper undervejs, og at de forskellige kalibratørenheder derfor skal være mindre og mindre hen mod trækbænken.

Der kan være forskellige størrelser af kalibratorer til forskellige typer af plast, da den termiske svindprocent er meget forskellig.

9. Klargør og indstil eventuelle trækruller/trækbænk og andet transportudstyr på de korrekte mål. Tilpas eventuelt opstartshastighed, således at en kommende opstart ikke ødelægges.
10. Klargør og indstil eventuel afkorter/afklipper til den rigtige størrelse og længde.
11. Indstil eventuelle vippeborde eller udløbsrender, som det færdige, afsavede eller afklippede produkt skal køres ud på.
12. Saml eventuelle rammer, kasser, spolerør og paller til det færdige produkt. Det ville være ærgerligt at skulle smide gode produkter på gulvet, fordi man ikke kan finde netop de kasser, man skal bruge til emballering, eller det der er værre, nemlig at produktionen "falder ned", mens man går ude på lageret for at finde kasser.
13. Noget af det vigtigste mangler dog endnu, nemlig at klarlægge og indstille det måleudstyr/måleværktøj, som skal bruges til kontrol af det færdige produkt. Samtidigt skal de fornødne produktionspapirer/rapporter være til stede.





14. Og sidst, men ikke mindst: Husk at klargøre en affaldscontainer, og måske et vandkar til eventuel affaldsproduktion. Det er ærgerligt at smide mange kg god plast på gulvet og derved få den varme plast fyldt med snavs.
15. Der er her ikke nævnt noget om produktionsbearbejdende udstyr, som kan være et led i produktionslinjen. Her tænkes fx på treatere, stempelapparater, svejseudstyr, termoformningsudstyr og stanseværktøj. Disse funktioner skal selvfølgelig også klargøres og afprøves inden opstart.
16. Mens følgeudstyret nu blev klargjort, er værktøj og ekstruder sandsynligvis blevet varme og klar til opstart.

Husk efterspænding af værktøjet. Husk at krydspænde boltene.

Husk at sætte temperaturen på forventet produktionstemperatur.

Hvis ekstruderen er standset med materiale i, er det vigtigt at rengøre dysen inden opstart. Årsagen er, at materialet kan brænde fast i spalteåbningen, hvor det bliver iltet.

Manglende rengøring af dyseåbningen vil resultere i striber og ridser i det færdige emne. Rengøringen skal foregå med kobber-/messingværktøj.

Undertiden kan det være nødvendigt at afmontere inderdorn og/eller yderring for at foretage total rengøring af disse dele.

Rengøringen kan foregå med kobber-/messingværktøj og roterende børster af samme materiale. Sådant værktøj kan købes i forskellige varianter. Nogle virksomheder anvender et poleremiddel indeholdende et svagt slibemiddel, men vær varsom, det slider på værktøjet.

Husk: Polér altid på tværs af plastens flyderetning.

Ovenstående skal betragtes som generel vejledning til klargøring af en ekstruderingslinje, men der findes længere fremme en omtale af opstart under de forskellige produktionsformer:

- Folieanlæg
- Røranlæg
- Profilanlæg
- Plade- og planfolieanlæg
- Monofilamentanlæg
- Kabelisolerings-/kapperørsanlæg

Generel start af ekstruder

Følgende er en generel vejledning til opstart af en almindelig, manuelt betjent ekstruder, som er monteret med værktøj.

1. Tænd for hovedkontakt.
2. Tænd for varmesystem.
3. Tænd for eventuelt olie kølesystem.
4. Tilse temperaturvisere:
 - Jævn stigning - i orden
 - Store udsving - følerkabler kan være fejlmonteret eller defekte.
5. Tilse strømforbrug på alle zoner:
 - Jævn temperaturstigning og strømforbrug normalt - alt i orden.
 - Lav temperatur og intet strømforbrug - sandsynligvis defekt varmebånd.
6. Når alle zoner er gennemvarmet, skrues der 20 °C ned for de zoner, hvor der er køleautomatik indbygget:
 - Starter køleblæseren - alt i orden.
 - Starter køleblæseren ikke - der er fejl i kølesystemet.

7. Stil temperaturen tilbage.
8. Bemærk: Ekstruderen må ikke startes, umiddelbart efter at temperaturen er nået. Der går yderligere tid, før snekken og det indre af værktøjet er gennemvarmt.
9. Når alt er gennemvarmt, kan hovedmotoren startes. Hold øje med strømforbruget på hovedmotoren, indtil der kommer materiale ud gennem dysen i værktøjet.
10. Hvis der sker en pludselig stigning i strømforbruget:
Afbryd straks hovedmotoren.
 Maskinen er endnu for kold. Der er en koldprop, som stopper materialet. Vent 10 minutter, og forsøg igen at starte hovedmotoren. Er der stadig problemer med for stort strømforbrug, tilkald da værkfører, eller find årsagen til, at en enkelt zone stadig er for kold.
11. Når der efter en vellykket start er konstant bevægelse i det varme materiale, føres dette gennem køleanlæg og trækstation.
12. Når foranstående er i orden, øges snekkeomdrejningerne og øvrige hastigheder til produktionshastighed.
13. Timeproduktion og kvalitet kontrolleres. Målene noteres.
14. Nu sammenholdes ekstrudens ydelse med hovedmotorens strømforbrug. I skemaet herunder er angivet sandsynlige årsager til afvigelser.
15. Maskinindstilling korrigeres om nødvendigt.
16. Den ønskede produktion gennemføres efter ordreseddel.
17. Forbrug og spild noteres ved ordrens afslutning.

Ekstrudens ydelse	Strømforbrug på hovedmotor		
	Mindre end maskinkortværdi	Som maskinkortværdi	Større end maskinkortværdi
Mindre end maskinkortværdi	Blokering i tragten	Snavs i filter	For lav temperatur
Som maskinkortværdi	For høj temperatur	I orden	Snavs i filter
Større end maskinkortværdi	Forkert materiale	Forkert materiale	Forkert materiale

Generelt stop af ekstruderen

Inden man stopper produktionen, er det vigtigt, at man undersøger eller ved, hvordan der skal stoppes. Hvis det er en varmfølsom plasttype, fx POM eller PVC, er det bedst at køre ekstruder og værktøj tom. I mange tilfælde vil det være en fordel at anvende en start/stop-kompound eller en anden plasttype til at køre ekstruder og værktøj tom med. I nogle tilfælde letter det også rengøringen af udstyret, når der anvendes et alternativt stopmateriale.

For de ikke så varmfølsomme plasttyper gives her en mere generel stopanvisning.

Når produktionen er slut, eller man skal stoppe midlertidigt, er der risiko for, at der er smeltet materiale i fødezone eller en eventuel notzone. Hvis dette materiale stivner under stoppet på grund af kølingen, er der stor risiko for, at man ikke kan starte ekstruderen igen. Derefter er der ikke andet at gøre end at lukke for kølingen og håbe på, at varmen fra nabozonen blødgør det stivnede materiale, hvorefter man kan starte forsigtigt op igen. Denne opvarmning fra nabozonen kan i bedste fald tage

flere timer. Ved et selvoplevet eksempel tog det 4,5 time, før snekken lod sig dreje rundt igen.

Nogle virksomheder anbefaler dog, at man stopper med en fyldt snekke for at undgå iltning af den smeltede plastrest, der altid vil befinde sig på snekke/cylinder. Derved undgås sorte klatter i opstarten.

Med de ovennævnte problemer i erindring er det klogeste nok, at man lukker for tragten, og kører med snekken, netop så længe at køleområdet ved tragten er tomt for materiale.

Adiabatisk ekstruder

I en adiabatisk ekstruder opvarmes hele cylinderen af én varmezone, og følere og varmestyring er kun i funktion ved opstart og er således unødvendige for selve produktionen.

Den plastiske smelte opnås altså udelukkende ved friktionsopvarmning. Snekken er meget kort, 8-15 D, og kører med meget høje omdrejningstal.

Denne ekstrudertype er i termisk balance, hvorfor man ikke har de store justeringsmuligheder på processen. Der er ingen specielle styresystemer, og man er meget afhængig af, at snekkegeometrien og materialet er korrekt afstemt efter hinanden.

De materialer, som forarbejdes i en adiabatisk ekstruder, skal kunne tåle den ret hårde behandling. Velegnede materialer er polyethylen og polypropylen.

Indkøring og optimering

Den optimale form for indkøring og optimering bør omfatte følgende hensyn:

- At fremstille mest muligt pr. time
- At overholde kvalitetskrav
- At fremstille produktet med minimum af råvareforbrug
- At fremstille produktet med minimum af energiforbrug
- At registrere alle vigtige data
- At levere til tiden

For at kunne gennemføre indkøring og optimering, er der en række ting, som først og fremmest skal være til stede.

Specifikation

Til hvert produkt hører en produktbeskrivelse eller specifikation. Den omfatter fx:

- De mål og data, emnet skal opfylde efter aftale med kunden
- De mål og data, emnet skal opfylde ifølge standardiseringskrav (fx DS)
- De mål og data, emnet skal opfylde efter sundhedsmyndighedernes krav
- De mål og data, emnet skal opfylde af hensyn til videre forarbejdning

De mål og data, som ekstruderføreren skal tage sig af, omfatter hovedsageligt mål, vægt, styrke, svind, emneflade og ensartethed.

Disse målinger og test skal udføres med passende kontroludstyr.

Kvalitet

Det mest velegnede produkt har en kvalitet, som er tilpasset formålet. Tilpasningen kræver, at alle forhold omkring produktet tages op til vurdering. Det færdige produkt bliver i sidste instans vurderet af forbrugeren,

som kan vælge et andet produkt, vælge vort produkt én gang, vælge vort produkt og returnere det med klage eller vælge vort produkt flere gange. Det er den sidste situation, som skal tilstræbes.

Husk derfor:

- Alle anstrengelser er forgæves, hvis arbejdet i produktionsleddet udføres dårligt
- Firmaets kontrol skal beskytte kunderne imod vore fejltagelser
- Alle ”numre” bliver opdaget, før eller senere

Råvarekontrol

Til enhver råvare hører en beskrivelse. Heri gøres der rede for råvarens egenskaber. Nogle af disse egenskaber har betydning for produktionsafdelingens arbejde. Nogle har betydning for den færdige vares egenskaber. Råvarekontrollen sikrer, at sækkenes indhold svarer til teksten, og finder desuden de oplysninger, som skal hjælpe produktionsafdelingen med at udføre et godt stykke arbejde.

Kontrol med det færdige produkt

Det er ekstruderføreren, der skal overvåge, at det produkt, der fremstilles, overholder de mål, der er opgivet, og at produktets udseende er, som det er foreskrevet fx med hensyn til farve, glathed, gennemsigtighed osv.

Fx er de plastrør, som er DS-mærket og fremstilles her i landet, underkastet statens kontrol og skal følge bestemte normer for at være godkendt. De skal fremstilles efter bestemte tolerancer for godstykkelse, diameter, ovalitet osv.

På større virksomheder har man ofte en særlig kontrolafdeling som foretager stikprøvekontrol. Desuden foretages længerevarende og specielle test af færdige produkter af kontrolafdelingen. Men ekstruderføreren skal til stadighed efterkontrollere sine produkter og sørge for, at de ligger inden for de tolerancer, som kontrollen kan godkende.

Proceskontrol

Den proceskontrol, som foregår i produktionen, støtter sig ofte til notering og overvågning af procesdata. Pludseligt indtrufne ændringer i procesdata vil ofte give et fingerpeg om, at en kvalitetsændring er på vej.

Alarmer for temperaturoverskridelse samt automatisk måleudstyr, alarm for trykfald osv. er blot nogle af de mange hjælpemidler, som findes på mange anlæg i dag.

Når der er lang vej fra ekstruderen og frem til saven, betyder det, at der kan være fx fire timers produktion mellem dysen og målestedet. Dette medfører fire timers ventetid, før virkningen af en rettelser kan observeres. Og måske fire timers affald!

Derfor er der ved mange ekstrudere monteret automatisk måleudstyr meget tæt på dysen. Dette måleudstyr sender kontinuerligt måleresultater til ekstruder og trækbænk. På baggrund af disse resultater kan ekstruder og trækbænk korrigerer for eventuelle afvigelser i godstykkelsen.

Når emner kasseres ved efterkontrol, medfører det, at alle de emner, som er undervejs fra maskine til kontrol, også må kasseres.

Derfor er det vigtigt at sætte ind med kontrol så tidligt som muligt under produktionen. Derved kan der spares en stor del affald og dermed mange unødvendige omkostninger samt i mange tilfælde et stort fysisk sorteringsarbejde.



Hvis fabrikkerne ikke gennemfører tilstrækkelig kontrol med produktionen, kan det forekomme:

- At hele produktionsserien kasseres
- At fabrikken mister sin godkendelse
- At råvareforbruget ligger fx 10 % over det nødvendige minimum
- At der mistes kunder

Desuden er der store penge at spare ved omhyggelighed og omtanke. En forøgelse af materialeforbruget på 10 % kan nemt betyde 50 kg råvare ekstra i forbrug pr. time.

Med en materialepris på 10 kr. pr. kg løber dette således op i 500 kr. pr. time, som leveres unødvendigt til kunden.

Hvis man fremstiller en folie, som må leveres på 40 μm , og den produceres på 44 μm , er det faktisk 10 % overvægt. Det samme gør sig gældende, hvis man producerer et rør med 3,30 mm i godstykkelse, og dette må leveres med 3,00 mm.

Snekkeomdrejninger og periferihastighed

Ved hjælp af snekkens omdrejningshastighed kan man regulere materialetransporten.

Høje omdrejningstal giver imidlertid større friktionsvarme, så der er grænser for, hvor hurtigt en snekke må køre.

De fleste materialer tåler en periferihastighed på op til 0,5 m/sek.

Periferihastigheden beregnes ved udtrykket V_p

$$V_p = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times 1.000} \text{ m/sek.}$$

D = snekkediameter
n = omdrejninger/minut

Eksempel på beregning af periferihastighed

D = 150 mm og n = 85 omdr./min

$$V_p = \frac{3,14 \times 150 \times 85}{60 \times 1.000} = 0,67 \text{ m/sek.}$$

Hvis resultatet 0,67 m/sek. fremkommer ved beregning på en produktion, man er i gang med, er der risiko for, at materialet er nedbrudt. Nedbrydningen kan bestå i, at der udvikles uheldige bestanddele i plasten. Friktionsvarmen ved toppen af gængerne kan udvikle et eller flere af de stoffer, som kan fremkomme ved forbrænding med dårlig ilttilførsel. Hvad der kan udvikles, kan findes under de respektive plasttyper. Kendere af dette fænomen siger, at der er "gas" i produktet.

Desuden medfører det helt klart almindelig kvalitetsforringelse af produktet. Forringelsen kan fx bestå i forringet slagsejhed, brudstyrke, strækve, dimensionsstabilitet, varmebestandighed osv.

Har man mistanke om, at der sker forringelse af kvaliteten på grund af hastigheden, bør man spørge hos råvareleverandøren, hvad den maksimale periferihastighed er for denne råvaretype.

Ydelsesgraf

Hvis der er tvivl om, hvad den optimale hastighed for ekstruderen ved den aktuelle råvaretype er, kan det være en god ide at udføre en ydelsesgraf.

Det går ud på at aflæse maskin- og produktdata ved forskellige hastigheder. Umiddelbart før der sker en u hensigtsmæssig ændring på en eller flere af dataene, har man nået den optimale hastighed.

Afprøv ekstruderens ydeevne og emnets kvalitet ved forskellige hastigheder fx 42, 62, 82, 102 og 122 snekkeomdrejninger.

Når produktionen er kørt ind på mål, må der kun ændres på snekkeomdrejninger og aftrækshastighed. Der må ikke ændres på varmen.

Der skal gå ca. 15 minutter mellem aflæsningerne, for at friktionsvarmen kan stabiliseres.

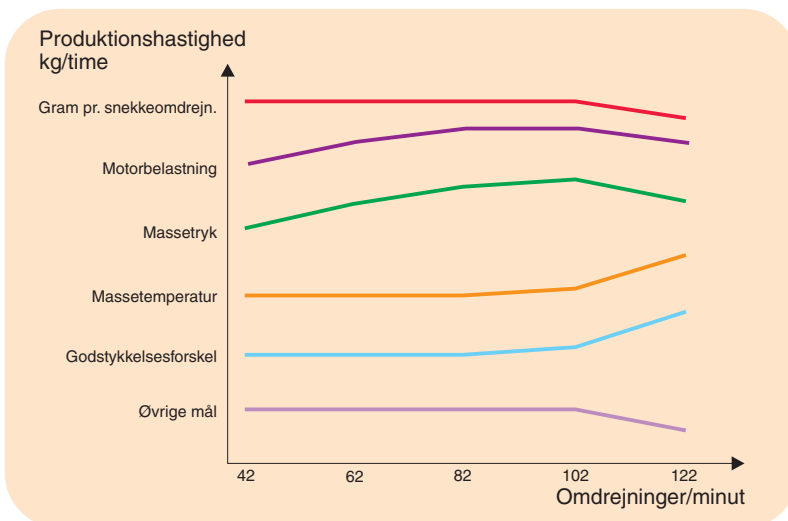
Test følgende:

- Gram pr. snekkeomdrejning
- Kg pr. time
- Motorbelastning i ampere eller procent
- Massetryk
- Massetemperatur
- Bliver udsvingene i godstykkelse større eller mindre?
- Ændrer emnernes øvrige mål sig?
- Overfladens udseende

Tegn en graf på millimeterpapir over:

- Gram pr. snekkeomdrejning eller kg pr. time
- Motorbelastning i ampere eller procent
- Massetryk
- Massetemperatur
- Udsvingene i godstykkelsen (minimum og maksimum)
- Emnernes øvrige mål

Vurdér, ved hvilken snekkehastighed ekstruderen arbejder bedst, og om kvaliteten forringes ud over det tilladelige.



Eksempel på ydelsesgraf

På figuren her vises et eksempel på en ydelsesgraf, som vi efterfølgende vurderer.

Ydelsesgraf

Værdierne på y-aksen er udeladt af hensyn til overskueligheden.

Gram pr. snekkeomdrejning (eller kg pr. time): Der sker et fald i ydelsen over 102 omdr./min. Her begynder plasten måske at klistre på snekken eller bliver for varm i fødezone.

Motorbelastning i ampere eller procent: Der sker en jævn stigning i energiforbruget på hovedmotoren, i takt med at der er flere kg, som skal plastificeres, men over 102 omdr./min falder energiforbruget. Det skyldes sandsynligvis, at materialet begynder at klistre eller bliver for varmt i fødezone.

Massetryk: Der sker en jævn stigning i trykket, i takt med at der er flere kg, som skal plastificeres ved friktionsvarme, men over 102 omdr./min falder trykket. Det falder sammen med, at ydelsen og motorbelastningen også falder.

Massetemperatur: Temperaturen er tilsyneladende under fuld kontrol indtil 102 omdr./min, men derefter sker der en kraftig stigning. Det hænger fint sammen med de før nævnte ændringer. Når materialet bliver varmere, smutter det nemmere igennem pumpezone, filter og værktøj, og trykket vil falde.

Udsvingene i godstykkelsen (minimum - maksimum): Godstykkelse be-gynder typisk at svinge mere, når plasten bliver varmere. Det stemmer helt overens med temperaturstigningen ovenfor.

Ofte ser man også, at der kommer små buler i overfladen ved dysen.

Emnernes øvrige mål: Målet i dette eksempel stammer fra diameteren på en rørproduktion. Diameteren holder sig stabil indtil 102 omdr./min, men derefter bliver den væsentligt mindre.

Det skyldes, som omtalt under køling, at den tyndere (på grund af hastigheden), ydre, fikserede skal på røret ikke er i stand til at modstå svindkræfterne i den indre del af røret.

Konklusionen må være, at hvis man ønsker at køre hurtigere end 102 omdr./min, vil det være forbundet med en væsentlig risiko for kvalitetsforringelse.

Man kan eventuelt lave en undersøgelse med et mere detaljeret skema fra 102 til 122 omdrejninger.

Visuelle fejl under produktionen

Der findes mange fejlmuligheder på det emne, der produceres. Det vil være en uoverkommelig opgave at beskrive alle. Her skitseres blot nogle få generelt forekommende. Men det vil i mange tilfælde være muligt at overføre observerede fejl til de nævnte.

Ridser

Under produktionen forekommer det, at der begynder at opstår ridser i emnet. Der er som regel ikke andre muligheder end at rense dysen. Det foregår, ved at man stopper produktionen (sænker eventuelt varmen forinden) og rengør så langt ind i dyseåbningen, som man kan nå med passende blødt rengøringsværktøj, eventuelt tynde messingblade eller stænger.

Årsagen til ridserne er, at der foregår en iltning af plasten omkring dyseåbningen. Ved denne iltning forkuller/fastbrænder plastpartikler i dyseåbningen. De små partikler skal væk, da de ridser i overfladen af emnet.

Ofte medfører ridserne, at man mister vakuum i en vakuumkalibrator.

Skæg på dysen

Hvis der danner sig en skæg-lignende ring af materiale på dysen omkring emnet, kan det være tegn på, at der er et eller andet overskudsstof i råvaren, som ikke vil indgå i plasten. Det lægger sig på overfladen af plasten, og sætter sig som en skæg-lignende ring på dysen.

Ofte er der tale om en smule fugt, og da vil fortørring/forvarmning af råvaren være tilstrækkeligt til at løse problemet.

Fiskeskællignende overflade

Hvis der er fugt i råvaren, kan der vise sig en fiskeskællignende overflade. Her vil en fortørring/forvarmning af råvaren være tilstrækkeligt til at løse problemet.

Andre årsager kan være dårlig plastificering. Her er der usmeltede områder i dele af plasten. Problemet er især stort, hvis der blandes råvarer med forskelligt smelteindeks og dermed forskelligt varmebehov. Her er den umiddelbare løsning at hæve massetemperaturen en smule.

Det er især vigtigt, at plastificeringen foregår så tidligt omkring snekken, at den kan nå at foretage en effektiv blanding af disse materialer med forskellige varmebehov.

Den højere temperatur kan fx skabes ved mere friktionsvarme, tilført varme, flere snekkeomdrejninger, lavere værktøjstemperatur, større modtryk, lavere temperatur i fødezone og ændring af snekketemperaturen.

I tilfælde, hvor snekketemperaturen er meget høj, og man derved har ringe materialetransport, skal snekketemperaturen sænkes.

I tilfælde, hvor snekketemperaturen er meget lav, og derved forhindrer effektiv plastificering, skal snekketemperaturen hæves.

Mat eller blank overflade

Hvis man forudsætter, at massetemperatur og værktøjstemperatur er korrekt, kan man give emnet en mat eller blank overflade. Meget kraftig kø-ling giver matte emner. Dårlig køling giver meget blanke emner.

Hvis der skæres et lille stykke profil eller rør af ved dysen, skal det skæres op på langs. Hvis rør/profil er pænt blankt indvendigt og mat udvendigt, er det tegn på, at værktøjstemperaturen er for lav.

Inderdomen har jo den temperatur, som plasten har, og her var den blank. Udvendigt har værktøjet "stjålet" varmen fra plasten, da denne er mat. Altså skal der mere varme på værktøjet.

Hvis derimod rør/profil er mat indvendigt, og måske også udvendigt, er massetemperaturen ikke høj nok.

Hvis plasten er meget blank både ind- og udvendigt og måske fuld af små buler, er det tegn på, at plasten er for varm.

Matte striber på emnet

Ofte forekommer der matte striber på emnet, når der anvendes vandkølet kalibrator. Det skyldes som regel, at der er uens køling fra kalibratoren. Årsagen kan være for lidt køling, eller at der er en belægning indvendigt i kalibratoren. Ofte afsætter der sig en hinde af et overskudsstof på kalibratoren, hvorved kølingen nedsættes. Her er det nødvendigt at polere kalibratoren.

Matte striber kan også skyldes for stor forskel i godstykkelse.

Farveændring og koksklatter

Der kan være tre eller flere årsager til, at emnerne bliver lysere eller mørkere under produktionen, når der produceres emner med farve.

Man må i den forbindelse huske på, at farven er mikset med en råvare af nogenlunde samme plasttype som den, den skal anvendes i.

Hvis farven bliver lysere, kan det skyldes, at en del af farvepartiklerne er brændt af og sidder som små sorte nister i emnet.

En anden mulig årsag er, at farven ikke er ordentligt gennemsmeltet, og dermed ikke ordentligt fordelt i emnet.



En tredje årsag kan være, at temperaturen i ekstruderen er for høj til farven, hvilket kan forårsage, at farven brænder af og sætter sig som en belægning på snekke og cylinder. Dette resulterer i, at denne belægning pe-riodisk (måske en gang i timen, hver ottende time eller en gang i døgnnet) vil rive sig løs og komme ud som en stor hob af kokslignende klatter i emnet. Disse afrevne, forbrændte råmaterialer medfører ofte produktionsstop, da der i mange tilfælde vil gå hul på emnet.

Synlige spor efter dornholder

Hvis der i emnet forekommer langsgående, tynde striber svarende til de steder, hvor emnet bliver skåret op på langs i værktøjet, er det tegn på, at masstemperaturen er for lav.

Snekkestriber eller pulsering

Til tider hænder det, at der forekommer en bølgelignende overflade indvendigt i emnet. Det er især synligt, når emnet er kølet ved hjælp af kalibrator. Sådanne bølger eller pulseringer kan skyldes, at snekken er for varm, at masstemperaturen er for høj eller ustabil, eller at snekken er for slidt.

En for varm snekke eller snekkespids har tendens til at give pulserende ydelse. Det skyldes dens manglende evne til at slippe materialet. Er der mulighed for at sænke snekketemperaturen, vil det ofte afhjælpe problemet.

En slidt snekke medfører ofte, at der opstår varierende godstykkelse. Denne godstykkelsesforskel optræder med sekunders eller minutters intervaller. Opmåling af sådanne emner vil vise, at der er stor forskel i godstykkelsen fra emne til emne.

Det samme kan forekomme, hvis der er isat en snekke med for kort fødezone, især ved delkrystallinske materialer.

I øvrigt kan det samme forekomme, hvis temperaturen er for høj i fødezonens. Derved mister snekken evnen til at holde trykket og dermed konstant friktionsvarme.

Godstykkelsesændring under produktion

Hvis der sker pludselig ændring af godstykkelsen, kan det være tegn på, at der er opstået en fejl på et varmebånd - især på store værktøjer og værktøjer med todelte varmebånd.

Ofte er varmebånd delt op i to sektioner, en øvre og en nedre halvdel. Hvis den ene halvdel bliver defekt under produktionen, vil plasten begynde at flyde langsommere der, hvor varmebåndet er koldt.

Har man ikke andre muligheder for at kontrollere varmebåndene, kan det gøres med en dråbe vand. Denne lille test kan kun anvendes på almindelige, ikke isolerede varmebånd. Hvis man under almindelig produktion drypper en dråbe vand på overfladen af et aktivt varmebånd, vil dråben hoppe og danse rundt, næsten uden at røre varmebåndet (prøv eventuelt først på en varm kogeplade på et elkøkken). Hvis varmebåndet er defekt, vil dråben derimod flade ud og gøre varmebåndet vådt, inden den stille og roligt fordamper.

Men vær meget forsigtig. Kom ikke for tæt på strømførende ledninger med vandet.

Værktøjer og hjælpeudstyr

Basisværktøj

Her gives en kort forklaring på grundprincippet i et formgivningsværktøj.

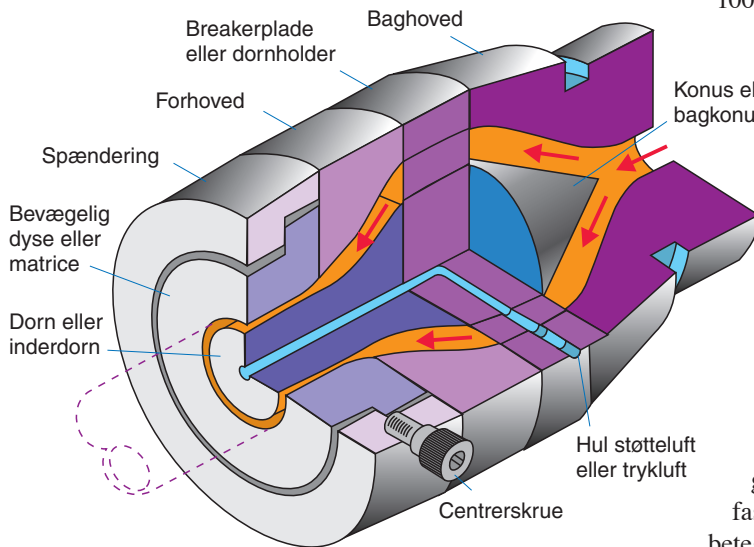
Uanset geometrien er der visse fællestræk i alle værktøjer. Plasten kommer ind i et større hulrum med relativt stort volumen. Herfra fordeles plasten ud eller rundt i værktøjet. I mange værktøjer bliver plasten splittet op i flere flydekanaler, for at indsats (dorne), der skal danne hulrum i emnet, kan sidde fast. Dorne, som laver hulrum i profiler, rør og folier, kan i sagens natur ikke svæve frit rundt i værktøjet.

Efter fordelingen rundt i værktøjet og eventuelt opsplittningen samles plasten igen i et relativt stort hulrum. Derefter bliver den udsat for et modtryk. Dette gøres for at sikre, at plasten er 100 % jævnt fordelt i værktøjet, og også for at sikre, at opsplittet plast flyder sammen igen.

Modtrykket kan skabes i form af en lille dyseåbning, og hvor dette ikke er muligt, kan der på dornen være udformet en vulst eller en forsnævring, som materialet skal over, inden det kommer ud i dysen.

På næsten alle værktøjer, undtagen profilværktøjer, er der mulighed for at regulere godstykkelsen, oftest via en bevægelig del ved dyseåbningen. Denne bevægelige del kan flyttes i forhold til den faste del af dysen. En sådan regulering betegnes ofte som centrering af værktøjet.

Et gennemskåret rørværktøj



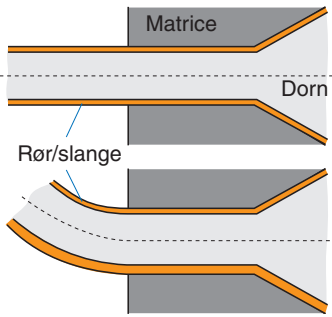
Rengøring af værktøj

Når et værktøj eller dele deraf skal rengøres, kan det være forbundet med stor fysisk indsats. Mange plasttyper klæber så fast til værktøjet, at det kan være meget vanskeligt at få plasten af.

I visse tilfælde kan det være en fordel at afslutte produktionen med at køre en anden plasttype gennem ekstruderen. Denne anden plasttype kan i mange tilfælde presse den vanskelige plasttype ud og selv være meget nemmere at få af værktøjet. Her er man i alle tilfælde nødt til at rådføre sig med sin værkfører eller forsatte, inden man forsøger sig med denne metode.

Flere andre plasttyper er derimod nemme at få af værktøjet. I nogle tilfælde kan man trække plasten af eller ud af værktøjet, hvis man anvender trykluft. Hvis det er muligt at få fat i et stykke af den plast, som hænger ud af dysen, kan man i mange tilfælde trække plasten ud af dysen eller værktøjet, hvis man samtidigt blæser kold luft ind langs dysen eller værktøjet.

Det samme gør sig gældende, når man skal skifte filter på hulpladen. Hvis hulpladen er rengjort på modsatte side af filteret, og man kan få fat i filteret med en tang, kan man blæse trykluft ind omkring den plast, som hænger ind gennem hullerne. Derved vil plasten, som jo har et større kølesvind end metallet, kunne trækkes ud af alle hullerne i hulpladen.



Materialet flyder hurtigst der, hvor der er mest plads.

Dysevarmebåndet er delt i otte enheder. For hver af de otte varmeplader/varmebånd er der monteret en føler. Hvis der er monteret en automatisk godstykkelsesmåler, vil denne, hvis der registreres en større godstykkelse, give besked til automatikken, at den skal sænke varmen, hvor emnet er tykkere (Battenfeld).

Centrerung

For at opnå ensartet godstykkelse på røret kan dorn og dyse forskydes i forhold til hinanden ved hjælp af stilleskruer.

Er spalten indstillet forkert, vil plastmassen flyde hurtigere i det største tværsnit, hvor flydemodstanden er mindst, og røret vil forlade dysen i en krum bane.

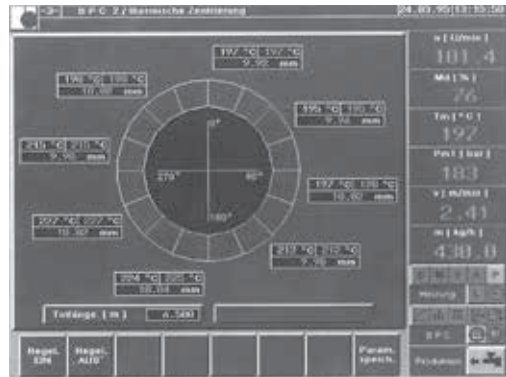
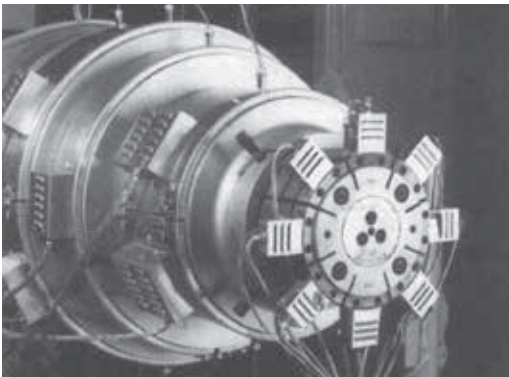
Styring af godstykkelsen ved hjælp af varme

Fidusen med at hæve varmen på dele af værktøjet kan i nogle tilfælde bruges til at styre godstykkelsen. I et større værktøj, til fx folie, rør, plade eller profil, kan der være mulighed for at placere flere mindre varmebånd på dysen i stedet for ét stort.

Ved at hæve temperaturen på et område ved dysen, hvor emnet bliver for tyndt, mindsker man flydemodstanden i værktøjet, og mere materiale vil flyde denne vej. Hvis man derimod sænker varmen på et område, hvor emnet bliver for tykt, vil materialet søge andre veje, hvor varmen er højere.

På moderne ekstruderingsanlæg kan sådanne delte varmebånd være tilsluttet et elektronisk overvågnings- og måleudstyr, som automatisk hæver og sænker varmen, når der sker ændringer i godsfordelingen.

Men vær opmærksom på, at den automatiske justering først går i gang, når der er konstateret en ændring i godstykkelsen, samt at der går en vis tid, før temperaturændringen virker i værktøjet. Der kan altså være ekstruderet en del meter med forkerte mål, inden ændringen virkede.

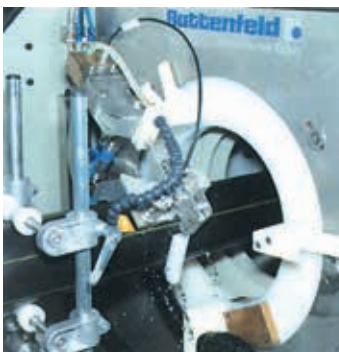


Automatisk indvejning

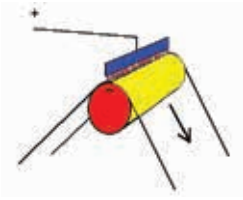
Problemet med at råvarer kan have forskellig volumenvægt, der giver uensartet føddning af snekken og dermed uens produkter, kan løses ved automatisk indvejning af råvaren.

I tragtten kan der være placeret en vægt, som vejer al materialet. Det betyder, at man giver den automatiske styring alle oplysninger om massefylde, emnemål osv.

Når snekken roterer, åbnes et spjæld i tragtten over vægten, og en given vægt af materiale fx 500 gram falder ned i vægten.

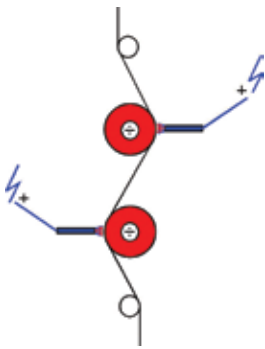


Godstykkelsesmåleren er en lille skanner, som er i stand til at registrere godstykkelsen med ultralyd. Skanneren kan være monteret på en ring, der drejes rundt om røret, eller den kan være monteret på en skinne og bevæges hen over en folie eller plade (Battenfeld).



Princippet i en treater/corona-behandling

Folie ledes hen over en valse, som er tilsluttet en minus-pol. En metalskinne over rullen er tilsluttet plus-pol. Gennem metalskinnen ledes højspænding, og der springer en konstant strøm af gnister ned mod rullen. Molekylerne i overfladen af folien bliver derved brændt over, og der skabes flere frie valenser (bindinger), som trykfarven kan hæfte til.



Dobbeltsidig treater til treatment af rørfolie, således at begge sider af posen kan påføres trykfarve



Maskine til corona-behandling af folie

Gnisterne ses som den lille stribe ved rullen (Tantec A/S)

Nu ved automatikken, at der er råvarer til X emner af en given længde. Når disse X emner er produceret, indvejer vægten nye 500 gram råvarer og afleverer dette ned til snekken.

Nu kører snekken altså ikke tom for hver indvejning, den holdes tværtimod til stadighed fyldt. Skulle der ske det, at materialeforbruget har været mindre end beregnet måske på grund af et tilstoppet filter, vil det for det første resultere i tyndere emner og for det andet, at materialet hober sig op under vægten. Derfor er der placeret en føler et stykke oppe i tragten, registrerer, at materialet bliver forbrugt.

Materialefølere

Sådanne følere (som ovenfor nævnt) kan volde problemer på lige fod med andre råvarefølere. Problemet er, at der ved visse råvarer kan sætte sig noget fint, fnugagtigt materiale på føleren. Det bevirker, at føleren "tror", at tragten er fuld, selv om den i virkeligheden er tom. Det kan medføre falske eller manglende alarmer og i værste fald, at ekstruderen kører tom for materiale.

Hvis man har gentagne problemer med en sådan føler, må man overveje at udskifte den til en anden type med anden følsomhed.

Treatning eller coronabehandling

Enkelte plasttyper, fx PE og PP, kan ikke umiddelbart påføres trykfarve. Overfladen er så "glat", at farven ikke kan hænge ved. Det skyldes, at der er så få frie valenser/bindinger i molekylkæderne, at trykfarven eller malingen ikke kan få nogen at binde sig til (der sidder jo brintatomer - H på næsten alle kulstofbindingerne - C).

Derfor må man forberede overfladen inden trykning. Det kan gøres ved at brænde/svitse overfladen med en gasbrænder. Derved brændes en vis mængde molekyler over, eller nogle brintatomer finder nye "partnere". På de frie bindinger, som fremkommer, kan molekylerne i trykfarven fæstne sig.

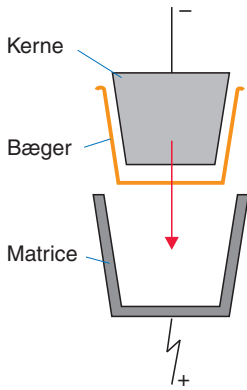
Metoden med gasbrænderen kan i princippet anvendes de fleste steder. Men brandfaren og risikoen for at produktet smelter, er stor, og det kan være vanskeligt at styre effekten. Derfor anvendes oftest elektrisk treatment - eller coronabehandling, som det også kaldes. Det består i at udsætte overfladen for en gnist, som det kendes fra et tændrør til en knallert eller bil. Nu hjælper en enkelt gnist af denne størrelse ikke ret meget på en rulle folie, et salatbæger, en sæbeflaske eller en fjernvarmerørskappe, som skal fyldes med polyurethanskum. Derfor er der udviklet egnede metoder, som omtales efterfølgende.

Al treatment har begrænset holdbarhed. Det skal forstås på den måde, at hullerne/bindingerne i overfladen lukker sig igen, eller andre molekyler hæfter sig på de frie valenser.

Efter få uger eller måneder har overfladen restitueret sig, og vedhæftningsevnen er igen blevet dårlig. Derfor vælger mange at knytte treatment-processen sammen med trykprocessen.

Folie

Følgende princip anvendes i folieforarbejdende virksomheder: Folien køres hen over en metalrulle, der er tilsluttet minusspænding. Over rullen sidder en metalskinne, som er tilsluttet plusspænding (regulérbar højspænding). Derved springer der gnister i hele skinnens længde ned mod rullen.



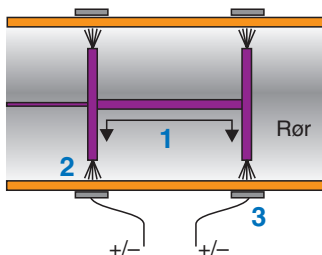
Eksempel på treatning af termoformede og sprøjtestøbte emner

Coronabehandling af flasker (Tantec A/S)



Treatning af kapperør

- 1 Strømrledning skifter uafbrudt.
- 2 Stålbørster sender gnister mod indvendig side af røret.
- 3 Udvendige slæbebånd sender strømmen igennem røret, ind mod stålbørsterne og videre til venstre slæbering/børste.



Udstyr til treatning af kapperør (Vetaphone)



Folien bliver således udsat for en konstant strøm af gnister, som brænder nogle af molekylerne over. Nogle af brint- og kulstofatomerne brændes også af. Jo kraftigere højspændingen og dermed gnisterne er, jo flere frie valenser/bindinger bliver der på overfladen.

Det må dog her tilrådes, at man er omhyggelig med at få startet udsugning, som er tilsluttet sådanne anlæg, da der frembringes en del ozon ved denne metode.

Effekten af treatningen skal afpasses efter behovet. Der skal frembringes så mange bindinger, som trykfarven har brug for for at binde. Derfor må man tage hensyn til, hvilken trykfarve der skal anvendes. For høj effekt skader ikke umiddelbart trykningen, men hvis man trakterer for hårdt, kan man risikere at "brænde" igennem folien med det resultat, at den bliver fuld af huller, eller i værste fald "blokker", hvilket betyder, at den smelter sammen med det næste lag under oprulningen, eller, hvis det er en rørfolie, at det bliver umuligt at adskille de to lag.

Skinnsens længde afpasses efter behov for trykkebredde, og højspændingen afpasses efter

krav til trykningsgrad, trykkebredde, hastighed, plasttype og malingstype.

Hvis man efterfølgende skal svejse folien, må man ikke svejse treatede overflader mod hinanden. Det forringer svejsningens holdbarhed.

Bægre og hule emner

Inden for termoformning og sprøjtestøbning kan man eventuelt løse opgaven som vist øverst til venstre. Salatbægret sidder på en metalkerne (minus), som føres ind i en formet metalskål eller matrice (plus).

Der vil således springe gnister fra skålen eller matricen og ind mod salatbægret, som sidder på kernen.

Flasker

Treatning af flasker foregår ofte ved hjælp af gasbrændere. Flasken bliver fastholdt af en roterende griber (bemærk den lille fordybning i bunden af mange runde flasker). Mens flasken passerer hen over gasbrænderen, drejes flasken rundt af griberen. Flasken bliver fortsat fastholdt af griberen, mens flasken passerer og roterer gennem de forskellige trykværker.

Farverne bliver påført en ad gangen, og derfor er det vigtigt, at flasken bibeholder den rette position.

Kapperør

Når fx et kapperør i PE skal fyldes med isoleringsskum, er det vigtigt, at røret er treatet indvendigt, således at skummet klæber til røret.

Treatningen forgår, ved at der "hænger" en dobbelt ståltrådkost i en ikke strømførende wire indvendigt i røret. Wiren er fastgjort på dysen. Udvendigt sidder der to metalbånd omkring røret.

Højspænding sendes gennem det ene udvendige bånd, som er pluspol. Spændingen slår gennem røret ind i den ene indvendige kost og hen gennem skaffet til den anden kost, som sender spændingen ud gennem røret til det andet, udvendige bånd, som er minuspol. Så vendes strømretningen, og det samme sker blot modsat vej. Når strømretningen til stadighed skifter, vil der dannes små gnister mellem røret og kostene.

Det er tillige muligt at fastholde kosten ved hjælp af udvendige magneter.

Smeltepumpe/gearpumpe

For at opretholde et konstant tryk eller et tilstrækkeligt højt tryk i værktøjet anvender nogle virksomheder en såkaldt gearpumpe eller smeltepumpe, som placeres mellem snekkespidsen og værktøjet.

Gearpumpen, som kan være en tandhjulspumpe drevet af en elmotor eller en hydraulisk motor, presser materialet ind i værktøjet med konstant tryk. Eventuelle udsving i ydelsen/trykket fra ekstruderen vil derved blive udlignet.

For at overvåge tryk og funktion anbringes en trykføler før og efter gearpumpen, og følgende oplysninger indtastes i styringerne:

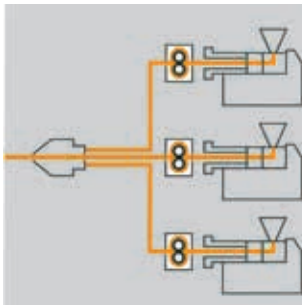
- Ønsket tryk i værktøjet indtastes i styringen til gearpumpen
- Ønsket massetryk ved snekkespidsen indtastes i styringen til ekstruderen

Gearpumpen opretholder nu konstant tryk i værktøjet. Hvis trykket før gearpumpen falder, vil ekstruderen sætte farten lidt op og sørge for tilstrækkelig fødnings til gearpumpen. Hvis trykket før gearpumpen stiger, vil ekstruderen derimod sætte farten lidt ned.

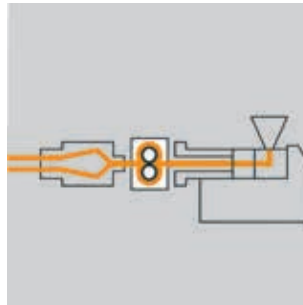
Resultatet skulle blive et mere ensartet produkt.

Systemet anvendes også, når det ikke er muligt at opnå det rette tryk i værktøjet med den tilrådgivende snække.

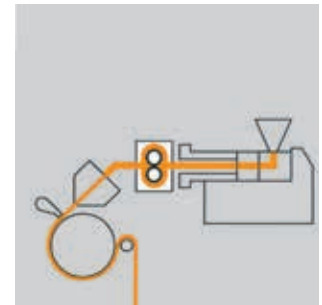
Gennemskåret gearpumpe
(Hans Buch og Co. A/S/Maag Pump Systems, Textron AG)
Nederst ses anvendelseseksempler på gearpumpen.



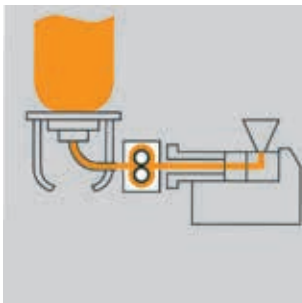
Coekstrudering



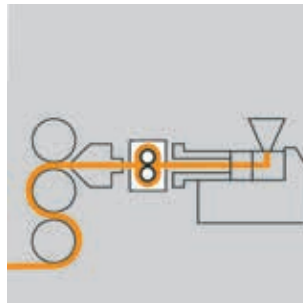
Rørekstrudering



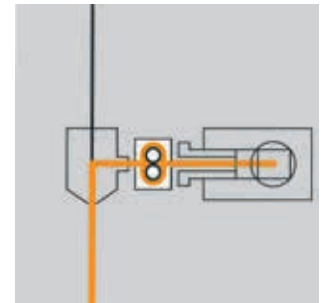
Planfolieekstrudering



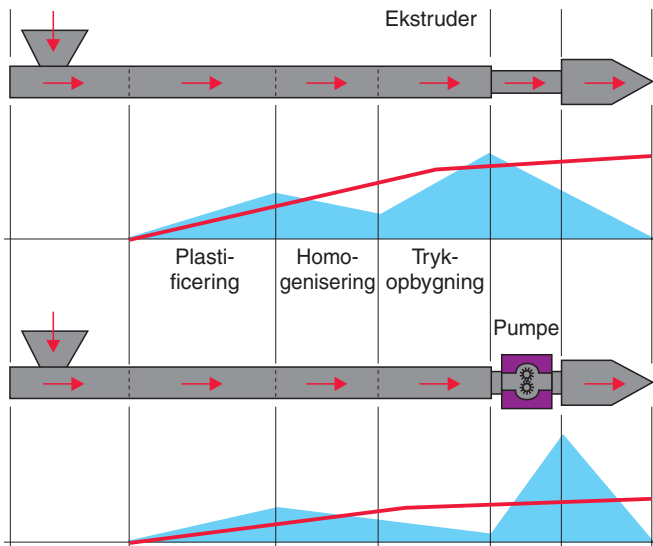
Folieekstrudering



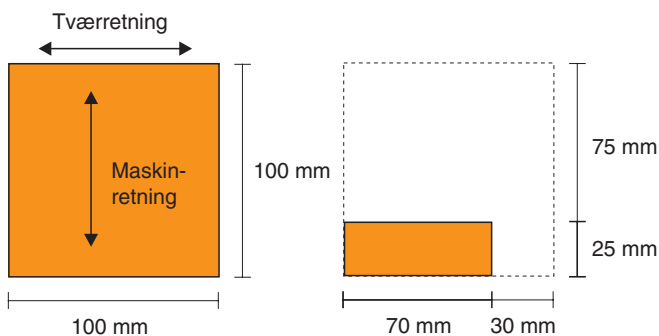
Pladeekstrudering



Kabelekstrudering



Ændringen af trykfordelingen ved anvendelse af gearpumpe



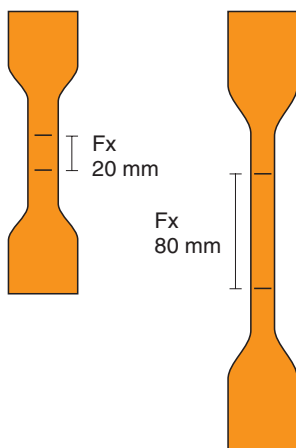
Eksempel på krympeprøve

Prøven er krympet til 70 × 25 mm.

I maskinretningen er folien krympet 75 mm, eller det samme som 75 %.

I tværretningen er folien krympet 30 mm, eller det samme som 30 %.

Trækprøve



emnet bryde. Resultatet aflæses som brudforlængelse og brudkraft.

Der kan fx være specificeret et krav om 400 % brudtøjning, altså 4 gange det oprindelige mål, som er afsat på folien eller emnet.

Man afsætter kontrolpunkter på prøvelegemet fx 20 mm.

Det mål, der i dette tilfælde skal opnås, er altså 80 mm (20 × 400 %). Under trækningen kontrolleres, om man opnår denne afstand, inden brud indtræffer.

Desuden kan man bestemme, hvor stor trækstyrke der skal til for at gennemføre "udstrækningen". Trækstyrken giver et billede af, hvor stærkt materialet er. Fx vil en PEHD-folie have langt større trækstyrke end en PELD-folie.

For at kunne beregne trækstyrken er det nødvendigt at kende både bredden og tykkelsen af trækprøvelegemet, da en dobbelt så tyk folie også vil kræve cirka dobbelt så stor kraft.

Trækstyrken beregnes som brudkraft pr. mm² folie i tværsnit.

Under klargøring til trækprøvning indtastes både tykkelse og bredde på prøven.

Krympeprøve

Når folie og andre produkter forlader dysen, ligger molekylerne i den form, som de "ønsker". Når man derefter strækker folien eller emnet, tvinger man molekylerne ud i en ny form. På grund af den efterfølgende afkøling af produktet er det ikke muligt for molekylerne at trække sig tilbage igen.

Tænk på en elastik. Hvis der sidder en elastik omkring en stor pakke i fryseren, og man tager elastikken af, beholder den formen, indtil den "tør op". Først derefter indtager den sin oprindelige størrelse. På samme måde er det med ekstruderede produkter.

Hvis man udskærer et stykke folie på fx 100 × 100 mm og lægger det i en ovn, vil det indtage sin oprindelige størrelse, når temperaturen er tilstrækkeligt høj.

Krympeprøven kan også bestå i, at et testemne opmærkes med et givet mål.

Derefter udsættes emnet for varme, fx et bad med en given temperatur, indtil molekylerne finder deres oprindelige placering.

Når emnet er kommet op af badet og afkølet igen, kan det markerede mål kontrolleres og krympeprocenten beregnes.

Trækprøvning

Hvis man udfører en trækprøvning på en folie eller et andet emne, får man et billede af, hvor meget strækevne der er tilbage, indtil molekylerne er strakt helt ud.

Det emne, man udstanser til prøvning, kaldes populært for et kødben på grund af formen.

Når molekylerne er strakt helt ud, vil

Materialer

Forbehandling af materialet

Vedrørende forbehandling af materialer kan der være tale om bl.a.:

- Fortørring
- Forvarmning for at undgå fugtoptagelse
- Behandling af opkværnet materiale

Fortørring

Det er normalt kun nødvendigt at fortørre materialet, når det er foreskrevet af råvareleverandøren. Når det er foreskrevet, skyldes det, at materialet er følsomt for overfladefugt, eller fordi visse materialer direkte absorberer fugt.

Selv om et materiale ikke er følsomt over for fugt, må det frarådes at anvende det direkte, såfremt det har været opbevaret på et koldt lager. Ved store temperaturforandringer, fx ved påfyldning af koldt materiale i tragten, er der stor risiko for dannelse af kondensvand på materialekornene.

Yderligere kan koldt materiale bevirke ustabilitet i processen, da der skal tilføres mere varme i fødezonen på cylinderen.

Det må derfor tilrådes, at materialet anbringes i produktionshallen for at tempereres, inden det fyldes på maskinen.

Anvendelse af fugtigt materiale vil altid have negativ indflydelse på emne kvaliteten. Fugten bliver til små dampblærer under opvarmningsprocessen. Efter afkølingen vil der således være små hulrum i emnet, hvilket både nedsætter styrke og tæthed.

Fortørringstider og fortørringstemperaturer for fugtfølsomme materialer

Materiale	Tørretid (ca. timer)	Tørretemperatur (ca °C)
PS	1-3	60-80
ABS	4	70-80
CA	2	70-80
PMMA	8	70-100
PA	16	80-100
PC	8	100-120
PET	4	100-120

Den nødvendige temperatur og tid for at opnå tilstrækkelig fortørring vil kunne oplyses af materialeleverandøren. Vedstående tabel er kun vejledende.

Forvarmning for at undgå fugtoptagelse

Når det fortørrede materiale fyldes på tragten, skal man være opmærksom på, at der også her er mulighed for optagelse af fugt. Det gælder især for PET, PC og PA, som fortørres ved ret høje temperaturer, 80-120 °C. Ved anbringelse i en kold tragt vil der være risiko for, at luftens fugtighed kondenseres på granulat-kornene.

For at hindre dette bør man:

- Kun påfylde så meget materiale, at det kan anvendes på forholdsvis kort tid. Hvis opholdstiden bliver for lang, har fortørringen ingen mening.
- Sørge for ordentlig tillukning af tragten.
- Installere en opvarmningsanordning i tragten, fx en infrarød lampe.

Forvarmning i tragten kan også være en fordel for at øge maskinens plastificeringskapacitet. Den varme, der er tilført i tragten, skal ikke tilføres i cylinderen.

Fortørringstemperaturen må dog aldrig overstige materialets klæbetemperatur. Ved klæbetemperatur forstås den temperatur, hvorved granulatkornene klæber sammen eller i øvrigt klæber til omgivelserne.

Anvendes der forvarmning i tragten, skal man være opmærksom på traverskølingstemperaturen, som skal være passende høj - svarende til forvarmningstemperaturen. Kraftig køling her vil give risiko for kondensfugt.

Behandling af opkværnet materiale

Ved anvendelse af opkværnet materiale - enten 100 % eller ved iblanding til nyt materiale - er der visse faktorer, man skal være opmærksom på.

Emner, som er kasseret på grund af de før omtalte fejl vedrørende fugtigt materiale, kan give problemer ved opkværning og genanvendelse. Den fugt, som ved første forarbejdning er blandet ind i materialet, lader sig kun vanskeligt fjerne ved ny fortørring.

Nedbrydningen af materialet kan også være så vidt fremskredet, at de tekniske værdier ikke længere kan opnås.

Opkværnet materiale er ligeledes meget uensartet i granulattørrelse. Det kan spænde lige fra meget fint pulver til meget store korn. En sådan sammensætning kan give problemer under forarbejdningen, da fint pulver meget hurtigt opvarmes, forbrændes og nedbrydes, og de store korn er vanskelige at smelte. Det giver uensartet viskositet i smelten.

På grund af de her nævnte problemer er det nødvendigt at have særligt streng kontrol med produkter, som er fremstillet af opkværnet materiale eller af blandinger med opkværnet materiale.

Er man i tvivl om et opkværnet materiales kvalitet, bør man ikke anvende det til kvalitetsvarer.

Det materiale, der har størst indhold af lavmolekylære bestanddele, vil have betydeligt ringere mekaniske og termiske egenskaber, end det materiale, hvor molekylmassefordelingen er holdt inden for et snævert område. Til gengæld vil det flyde lettere under formningen.

I praksis betyder det, at samme middelmolekylmasse for to materialer ikke garanterer, at de vil opføre sig ens. Det ene kan fx være kogebestandigt, det andet ikke.

Strømningskarakteristik

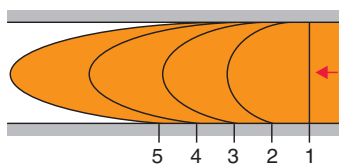
Når plastmaterialet transporteres i værktøjet, sker det langs væggene i værktøjet. I opvarmede omgivelser vil alt materialet bevæge sig - dog med forskellig hastighed. Lad os se på et eksempel.

I en kanal med cirkulært tværsnit er hastigheden lavest ved kanalens vægge og højest i midten som vist på figuren. Hastighedsforskellen giver med den større materialestrøm i midten af kanalen molekylerne en orientering på langs ved kanalvæggen.

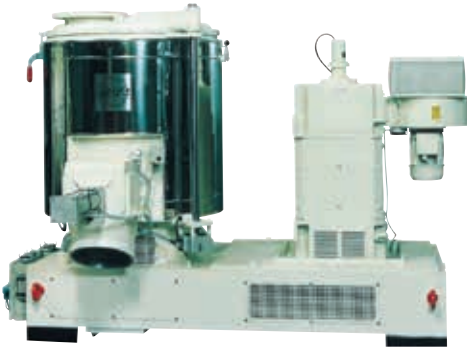
Disse forhold gør sig i øvrigt gældende i alle formgivningsværktøjer. Derfor er det vigtigt at være opmærksom på, om temperaturen på værktøjet er tilstrækkeligt høj for at modvirke, at plasten sætter sig fast på områder i værktøjet, hvor strømmingen ikke er så kraftig.

Stillestående plast vil for nogle plasttypers vedkommende kunne resultere i forbrændinger, opleves som brune "striber" eller "klatter" i produktet.

På store rør- og folieværktøjer er der for at modvirke disse problemer også indbygget varmelegemer indvendigt i værktøjet (fx dornvarme). Ønsket er at opnå lidt højere temperatur på værktøjet end på plastsmelten, således at man får en ensartet strømning i hele flydestrømmen.



Strømningskarakteristik



Hurtigmikser eller varmemikser
(Andertech Plastteknik A/S/MTI)



Kølemikser
(Andertech Plastteknik A/S/MTI)



Kombineret varme- og kølemikser
(Andertech Plastteknik A/S/MTI)

Miksning af PVC

PVC kan fås som granulat ligesom de andre plasttyper. Men mange virksomheder vælger at købe PVC'en hjem i pulverform. Det indebærer, at man selv blander de stoffer i, som er nødvendige for at opnå den kvalitet og de egenskaber, man ønsker. Nogle af de materialer, der oftest blandes i, er forskellige typer af PVC, varmestabilisatorer, smøre- og glidemidler, fyldstoffer og farver samt andre additiver, fx blødgørere og UV-stabilisatorer.

Da næsten ingen ekstrudere er i stand til at blande alle disse stoffer effektivt nok, inden temperaturen i ekstruderen kommer for højt op, blander eller mikser man råvarerne i en mikser forud for ekstruderingen.

Mikseren består af en beholder, der ofte kan rumme flere hundred kg. Når beholderen er fyldt med de forskellige komponenter, startes en vandretliggende rotor (har form som en propel) i bunden af beholderen. Denne rotor roterer med så høj hastighed, at blandingen efterhånden varmes kraftigt op på grund af friktionsvarmen.

Når temperaturen i blandingen når op omkring 115-125 °C (gældende for stiv PVC), stoppes rotoren. Temperaturen for den enkelte type af blanding er ret vigtig og indstilles med en nøjagtighed på 1 °C.

Samtidigt med at rotoren stoppes, åbnes en luge i bunden af beholderen, og blandingen falder ned i en anden beholder, kølemikseren. Den nederste beholder er vandkølet, og rotoren, som her kører meget langsommere, har til opgave at holde materialet i bevægelse, og få det kølet mod beholderens kolde væg. Det er vigtigt at få materialet kølet ned hurtigt, da PVC'en ellers kan begynde at pakkes i små klumper.

Når blandingen er kølet ned til 30-40 °C, kan den hældes over i en silo eller i ekstruderen.

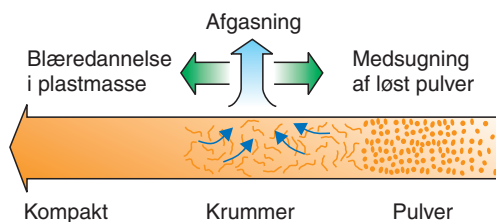
Ekstrudering med PVC-pulver

Forarbejdning af PVC ved ekstrudering adskiller sig fra de andre termoplastmaterialer derved, at "råvaren" ofte er et pulver i modsætning til granulat, samt at PVC ikke kan smeltes til en plastisk masse, men kun kan blødgøres.

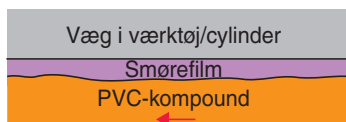
Forudsætningen for at ekstruderen kan presse PVC-pulveret sammen til en solid masse, er, at luften mellem kornene fjernes. Normalt sker det i kompressionszonen, og det gælder også ved dobbeltsnekke ekstrudere. Her fjernes den overvejende del af luften i den første kompressionszone. Men når materialet derefter passerer en åbning i materialecylinderen, kaldet vakuumzonen, er det kun delvist smeltet, og derfor kan man med en vakuumpumpe fjerne den resterende luft og eventuel afgasning fra pul-

veret. Manglende fjernelse af luften vil ofte medføre små blærer eller forbrændinger i produktet.

Hvis materialet er for meget smeltet, når det passerer vakuumzonen, vil det ikke være muligt at fjerne indespærret luft, og disse luftbobler kan medføre nedbrydning af PVC'en, hvilket kan ses og mærkes som små nister i overfladen eller i emnet. Dette medfører tillige en væsentlig kvalitetsforringelse af produktet.



Tilstandsændring i ekstruder med afgasningszone



Forekommer der en punktvise gennembrydning af smørefilmen, kan der opstå en lokal forøgelse af gnidningsmodstanden, og plasten brænder fast på værktøjet.

Doseringen med pulver skal være så stor, at materialet lukker for luftforbindelse mellem tragt og afgasning. Ellers vil vakuumsugen suge pulveret fra tragten hen gennem cylinderen og direkte op i vakuumsugen.

Man kan anvende direkte dosering fra tragt med dækkede snekker eller mekanisk dosering.

Dobbelt-snekkerne tager den råvare mængde med, som der er plads til ved tragten, og hvis kompressionsforholdet er for stort, vil der ske en overfyldning af snekken. Derfor anvendes ofte en mekanisk dosering, som kun fylder netop den mængde råvare i, som snekken kan rumme og forarbejde.

Dette kan foregå med automatisk indvejning eller doseringssnekker. Ofte er der glas over afgasningszonen, således at man kan iagttage, hvor meget plasten er smeltet på dette sted. Temperaturen frem til afgasningszonen skal medføre, at PVC-massen her viser sig i "krumme-tilstand".

I de sidste zoner inden værktøjet er køling ofte nødvendig for at fjerne varme fra friktionen. Desuden er en sænkning af temperaturen medvirkende til, at materialet har sværere ved at passere modtryksringen/spærreringen. Derved udvikles højere tryk i den sidste kompressionszone, og det vil medføre bedre æltning og plastificering af materialet.

Temperaturen i værktøjet skal styres således, at ensartet strømningsstabilitet understøttes.

Jo tættere man er på masstemperaturen, ca. 180 °C for stiv PVC, jo mere forsigtig skal man være. Bruges der køling i en zone for at fjerne friktionsvarme, kan masstemperaturen godt være flere grader over den aflæste temperatur. Fornævnte temperatur er kun nævnt som eksempel.

Når der er indbygget snekketøling, må også den vurderes som et middel til at flytte skadelig friktionsvarme fra de sidste zoner og eventuelt til opvarmning af pulveret i fødezone. Ved anvendelse af olieledede snekker er indstillingen af temperaturen en erfarings sag.

Et forsigtigt bud på snekketemperaturen vil ligge på ca. 130 °C eller mellem 100 og 150 °C ved stiv PVC.

PVC, chlor og smøremiddel

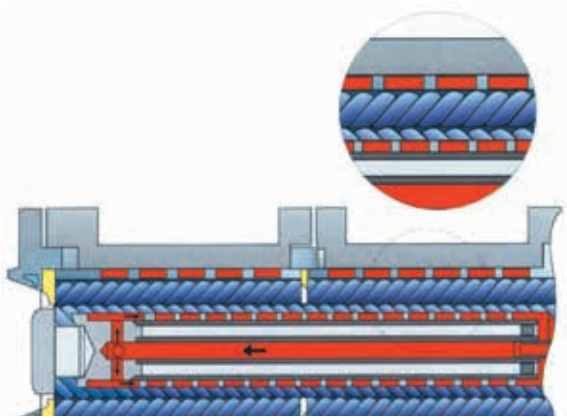
PVC-molekylet indeholder chlor. Ved spaltning af molekylet frigives chlor i form af chlorbrinte, som sammen med vand danner saltsyre. Denne proces er man nødt til at undgå, da saltsyren ætser og ødelægger produktionsudstyret.

Frigørelsen starter allerede ved 100 °C, om end meget langsomt. Men med varmostabilisatorer kan udviklingen holdes nogenlunde i skak op til ca. 180-190 °C. Den smeltetemperatur, som PVC faktisk skulle op på for at opnå samme flydeegenskaber som øvrige plasttyper, er 230-240 °C, og det betyder, at der ikke forekommer en smeltning af materialet, som det kendes fra fx ABS, PS, PE, PP osv. Materialet er ikke homogent og smeltet i almindelighed, men er en sammenpresset blød masse af PVC-korn, stabilisatorer, smøremidler, fyldstoffer osv. Materialeegenskaberne begrænser derfor forarbejdningens muligheder til temperaturer væsentligt under smeltetemperaturen, og opholdstiden ved de 180-190 °C til at være ret kort.

Mængden af varmostabilisator og forarbejdningstemperaturen er således afgørende for, hvor lang tid PVC'en kan opholde sig i ekstruderen. Da varmostabilisatoren gradvis "forbruges/forbrændes" under opvarmningen, vil højere temperatur eller længere opholdstid i ekstruderen i værste fald betyde, at varmostabilisatoren "slipper op", med forbrændinger og nedbrudt materiale til følge.



Planetvalseekstruder med pelleteringsudstyr
(Battenfeld)



Nærbillede af planetsystemet, centersnekken med de omkringliggende små snekker, og varmefordeling
(Battenfeld)

Efter planetvalserne falder den halvsmeltede plast ned igennem vakuumzonen til den nedenfor liggende almindelige snekke. Denne snekke har jævnt stigende kompressionsforhold. Her tilføres den sidste varme også via hedolie i cylindervæggen, som sikrer præcis styring af temperaturen.

Den efterfølgende proces kan i princippet være hvad som helst: pelletering, kalandring og andre processer.

Det betyder, at der intet sted i anlægget må forekomme stillestående materiale. For at undgå det i grænselaget langs værktøjets stål er det nødvendigt at tilsætte smøremidler til blandingen. Disse smøremidler kan være voks og bly- eller tinforbindelser.

Der arbejdes til stadighed med at udvikle nye og mindre skadelige stoffer end fx blyforbindelser. I skrivende stund er der truffet aftale om, at bly skal være ude af produktionen inden for et fastsat tidsrum. Samtidigt har en række danske virksomheder truffet aftale om at indsamle al blyholdig PVC, således at forbrænding og forkert bortskaffelse undgås (se afsnittet PVC og WUPPI-ordningen). Samtidigt er disse virksomheder i gang med et genanvendelsesprogram, således at miljøhensyn tilgodeses.

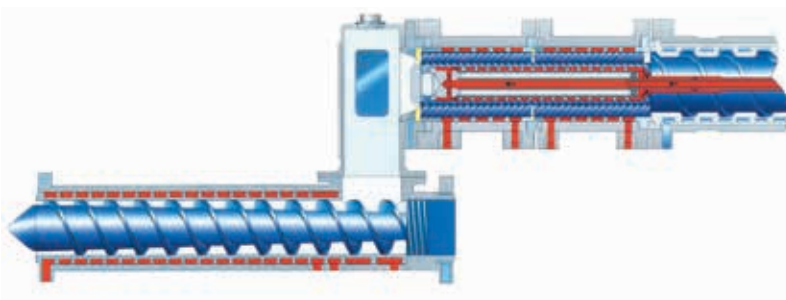
Planetvalseekstruder

Enkelte virksomheder anvender en planetvalseekstruder, som bearbejder plasten i to trin, lidt tilsvarende dobbeltsnekeekstruderen med vakuumzonen. Den store forskel ligger i opbygningen og snekkesystemet. Under tragten falder pulveret ned omkring en traditionel snekke. Fødezonen ved denne snekke er uden varme. Snekken er let opvarmet.

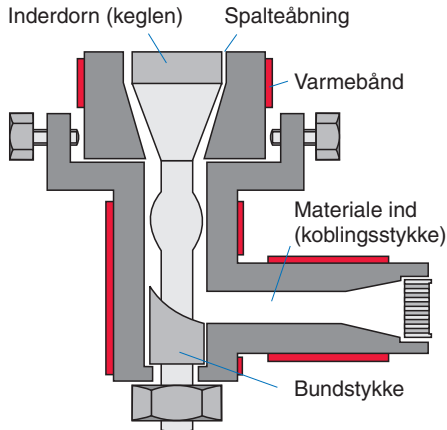
Efter fødesnekken presses pulveret ind i et planetvalse-system. Her er snekken udstyret med mindre gænger, og uden om snekken ligger et antal mindre snekker med samme gængetype. Ved at gængerne går i indgreb med hinanden, tvinges materialet fremad i en række roterende bevægelser, som sikrer særdeles effektiv æltning og blanding.

I denne zone bliver plasten tilført varme både fra den store, med hedolie opvarmede centersnekke, og fra den med hedolie opvarmede cylinder.

Opbygningen i en planetvalseekstruder med hedolie varmetilførsel samt vakuumsektion
(Battenfeld)



Ekstruderingsprocesser



Sidefødt folieværktøj

Materialet strømmer ind på siden af dornens skaft og herfra rundt om dornen og op mod spalten. Med yderringen kan værktøjet centreres. Dette værktøj er noget vanskeligere at arbejde med end det bundfødte.

Folieekstrudering

Ved folieekstrudering er ekstruderen monteret med et folieværktøj, der kan lave et tyndvægget rør med godstykkelser, der normalt ligger på 0,5-2,5 mm.

De fleste virksomheder anvender værktøjer, der leverer rørslangen i opadgående, lodret retning. Det materiale, der anvendes, er i mange tilfælde forskellige typer af polyethylen.

Sidefødt folieværktøj

Det sidefødte folieværktøj er så absolut det simpleste og billigste. Det er som regel nemt både at demontere, rense og genmontere. Dets store fejl er, at ved ekstrudering med denne type er det vanskeligt at holde ensartet folietykkelse ved varierende belastninger fx stammende fra hastighedsregulering af

snekken eller ved overgang til råmateriale med andre flydeegenskaber. Desuden har folie blæst på en sådan dyse ofte en svag linje, forårsaget af vanskelighederne ved at få ekstrudatet, der deler sig rundt om dornen, til at løbe rigtigt sammen igen.

Bundfødt folieværktøj

Bundfødt værktøj med stilbar yderring og fast inderdorn er et mere kostbart værktøj at fremstille. Det giver imidlertid den gunstigste materialestrøm, idet denne bliver formet symmetrisk omkring værktøjets længdeakse.

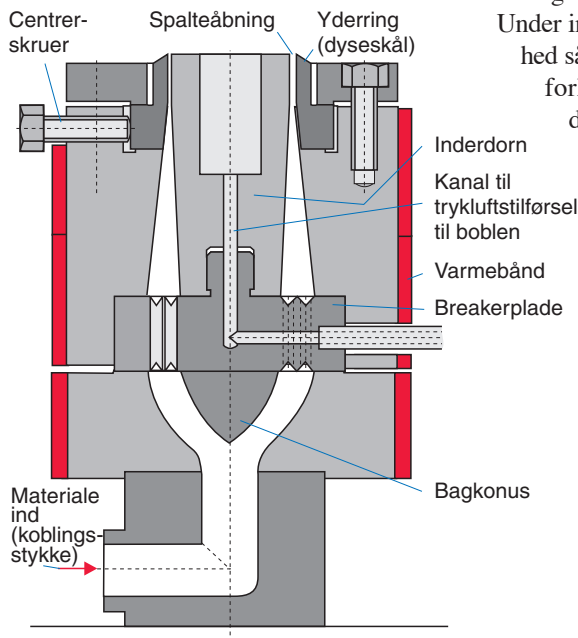
Ekstruderen trykker det varme plastmateriale op gennem folieværktøjet, hvor det passerer dysen og kommer ud som en blød slange med samme diameter som dysens spalteåbning.

Denne slange føres op til aftræksvalserne, der klemmer slangen flad, og samtidigt lukker for slangens øverste ende.

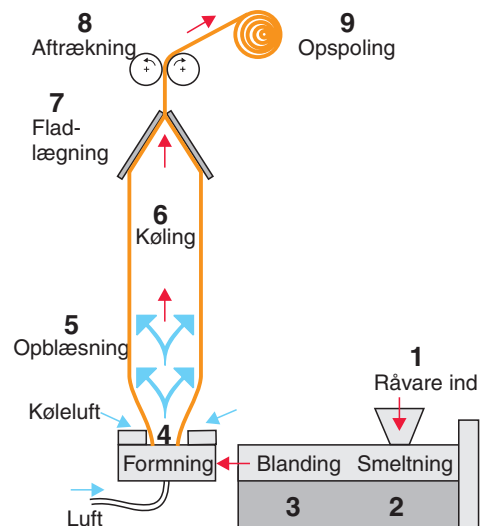
Under indkøring af et anlæg indstilles aftræksvalsernes hastighed således, at de udøver et passende træk i folieboblen i forhold til opblæsningsforholdet. Fra aftræksvalserne kan den nu fladlagte folieslange passere videre til opvikleren, der opmagasinerer folien i ruller.

Ved fremstilling af folie gennemgår plastmaterialet ni trin.

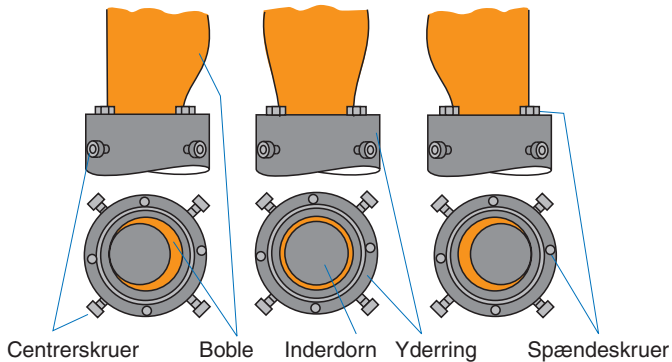
Bundfødt folieværktøj



De ni trin i foliefremstillingen



Dysen til venstre har stor spalteåbning i højre side. Dysen i midten er centreret. Dysen til højre har størst spalteåbning i venstre side.



Gennem folieværktøjet føres der luft med ganske ringe overtryk ind i folieslangen, hvorefter denne buler ud som en lang ballon eller "boble", og dette ord bruges til at betegne den opblæste folieslange.

Folieslangens diameter kan blæses op til flere gange dysespaltens diameter.

Efter opblæsning til den ønskede diameter afkøles folieboblen, samtidigt med at aftræksvalserne udøver et vist træk i længderetningen. Afkølingen sker med kold luft, der blæses ud fra køleringen, som er monteret oven på folieværktøjet.

På store anlæg findes der endvidere en indvendig køleanordning. Herom senere.

På enkelte anlæg findes andre køleanordninger fx væskebad.

Centrering

For at opnå ensartet godstykkelse på folien er det nødvendigt at centrere dorn og dyse i forhold til hinanden.

Der, hvor folien er tykkest, lader den sig blæse mest op. Det skyldes, at folien her er varm i længere tid og har nemmest ved at lade sig strække ud over den indvendige luftmasse.

Fryselinjen

Efter at folieslangen er blæst op til en boble med konstant luftvolumen, skal den afkøles ved hjælp af køleluft fra køleringen.

Køleringen ligger oven på dysen og forsynes med luft fra køleluftsbleseren, der leverer luft med lavt tryk og lav hastighed - men i store mængder. Luften tages som regel fra lokalet.

Det sted på den opblæste folieboble, hvor materialet størkner, kaldes *fryselinjen*. Her kan man i mange tilfælde se, at plasten overgår fra at være næsten glasklar til at blive mat og mælket i udseendet. Dette gælder for ekstrudering af folie med delkrystallinske materialer. Fryselinjen kan reguleres op og ned ved hjælp af køleluftmængden og irisblænden.

Jo kraftigere man køler på boblen, des længere ned kommer boblen og fryselinjen. Det må pointeres, at der, hvor folien er tyndest, fryser/stivner den først.

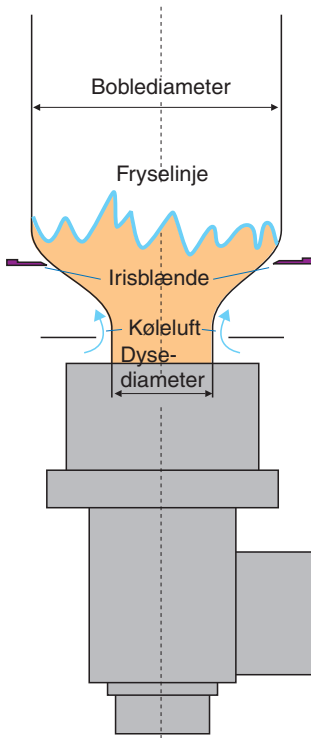
Efter fryselinjen forandrer folien ikke form, måske dog med en enkelt undtagelse. Hvis der er tykke striber/områder i folien, kan der her være så meget varme gemt i materialet, at folien efterkrymper i maskinretningen. Det betyder, at de tynde områder i folien, som hurtigt blev kolde, bliver for lange. Dette resulterer i små folder på tværs i den tynde folie. Problemer af den art, kræver rengøring/polering af værktøjet eller måske en renovering af dorn og dyse.

På vej op til aftræksvalserne fladlægges den opblæste boble af ledepladerne.

Hvis der skal være sidefals i folien, bliver to trekantede foldeplader skubbet ind mod boblen, som derved foldes, inden den går op imellem trækvalserne.

På visse typer af opviklere er monteret et sæt valser/ruller, som er i stand til at dreje folien skiftevis 180°. Derved får man eventuelle tykkere/tyndere områder på folien til at ligge skiftevis på tværs hen over rullebredden.

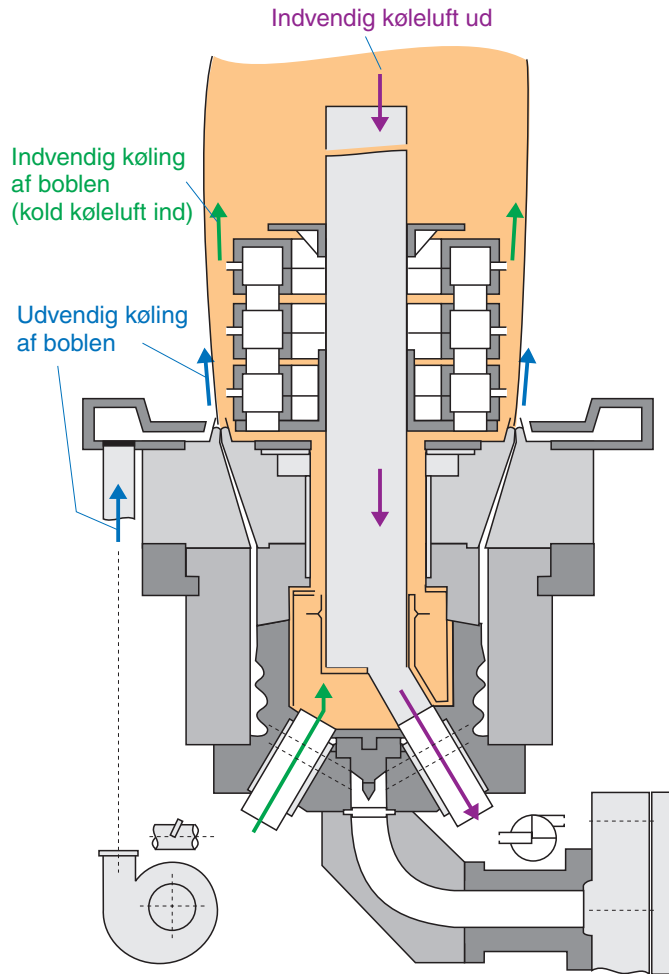
Foliehoved med udvendig køling og irisblænde



En anden måde at eliminere godstykkelsesforskelle på er, at hele opvikleren drejes rundt. Den er da anbragt på en drejesokkel.

En tredje metode er, at nogle ekstrudere er udstyret med roterende folieværktøj. Det betyder, at den sidste del af værktøjet, den del med dysen, roterer. Derved forhindrer man, at en eventuel godstykkelsesforskel bliver synlig ved opviklingen.

Foliehoved med udvendig køling og køleluftkanaler til indvendig køling af boblen

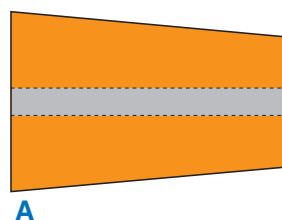


Roterende foliehoved (BFA Plastic GmbH)

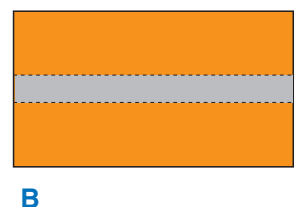
Rotationen finder sted umiddelbart under den spiralformede dorn. Bemærk de strømførende messingskinner, som leder strømmen op til varmegånderne på den roterende top.

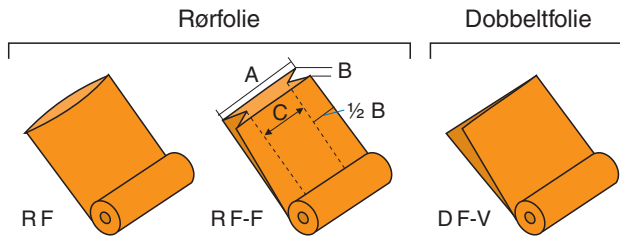


A. Folierulle opspolet uden rotation
Afslørende godstykkelsesforskel.

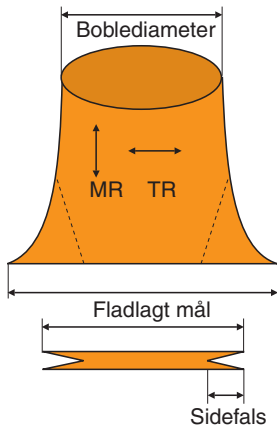


B. Folierulle opspolet med rotation
Sløret godstykkelsesforskel.



**Oprulning af folie**

RF = Rørfolie

RF-F = Rørfolie
med falsDF-V =
Dobbeltfolie,
åben i venstre sideMR = Maskinretning på folien
TR = Tværrretning på folien**Opskæring**

Mellem aftræksruller og opvikler kan folieslangen passere en opskæreanordning, der består af en eller flere skarpe knive, som åbner folien i den ene eller begge sider. I mange tilfælde bliver folien skåret op i baner, som derefter bliver opviklet på ruller som enkeltlagsfolie.

Treatning

Mellem aftræk og opvikler kan treateren være placeret. Den skal gøre folien modtagelig for trykfarver. (se afsnittet "Treatment eller coronabehandling")

Opblæsningsforhold

Opblæsningsforholdet er et udtryk for, hvor stor boblediameteren er i forhold til dyseåbningens diameter.

Boblediameteren er svær at måle på et kørende anlæg, derfor må man beregne den. Følgende metode kan anvendes:

1. Fladlagt bredde på folien ganges med 2 (= boblens omkreds).
2. Resultatet divideres med pi (π) eller 3,14 (= boblens diameter).
3. Boblens diameter divideres med dysens diameter (= opblæsningsforholdet).

Eksempel på beregning af opblæsningsforhold

Fladlagt bredde	=	450 mm	
Boblens omkreds	=	450×2	= 900 mm
Boblens diameter	=	$900/3,14 (\pi)$	= 286,6 mm
Dysens diameter	=	75 mm	
Opblæsningsforhold	=	$286,6/75$	= 3,82 eller 3,82:1

Hvis der er krav om et opblæsningsforhold på 3:1 og en fladlagt bredde på 450 mm, må man beregne, hvilken dysediameter der skal anvendes:

Foliens omkreds	=	$2 \times 450 \text{ mm}$	= 900 mm
Foliens diameter	=	$900/3,14 (\pi)$	= 286,6 mm
Dysens diameter skal være	=	$286,6/3$	= ca. 95 mm

Opstart af folieanlæg

Husk klargøring af linjen inden opstart

1. Træk snor igennem systemet
2. Start ekstruderen
3. Kør knaldluft ud
4. Opsaml spildet i container/vandbad
5. Start køleblæser
6. Kør et lille stykke slange, og klem den sammen
7. Luft i slangen, blæs op så den bliver tynd
8. Snor på boblen
9. Træk op gennem valserne
10. Luk valserne
11. Træd vikleren
12. Juster bredde (luft)
13. Juster tykkelse (snekke-/aftrækshastighed)

Produktionsbetingede egenskaber

Fra folieopvikleren leveres folien i ruller. Her betyder god kvalitet, at rullen skal:

- Have de rigtige:
 - tykkelser
 - breddemål
 - sidefals
 - opskæringer
- Være opviklet:
 - pænt og på et spolerør, der svarer til rullens bredde
 - cylindrisk
 - med glatte endflader
 - med passende banespænding
- Være:
 - korrekt mærket
 - ren
 - uden skader



PEHD-foliefremstilling (BASF)

Bemærk den høje hals under boblen. Den skyldes til dels den langsommere afkøling på grund af materialets tæthed. Desuden skyldes det materialets større styrke, inden det tvinges uden om luftboblen.

Specielt kan rullen have en overflade, som ved treatning er forberedt til påtrykning af tekst m.v. Treatningsgraden skal i så fald svare til trykkeriets krav og være ensartet over hele rullens længde.

Knaldluft

Når man starter en ekstruder op, som har været stoppet og nedkølet med plastmateriale i ekstruder og værktøj, er der stor sandsynlighed for, at der fra dysen lyder et eller flere høje knald. Årsagen kan skyldes to forhold.

Plastmaterialet er måske termisk følsomt, hvilket har resulteret i, at der er dannet monomere stoffer under den forholdsvis langsomme nedkøling, samt en time eller mere til genopvarmningen. Trykket inde i værktøjet medfører, at disse monomere stoffer (gasser) er kraftigt komprimeret, og når disse kommer frem til dysen, og det omgivende tryk forsvinder, vil dette ofte frembringe højlydte knald, når den omgivende plast "springer som en ballon".

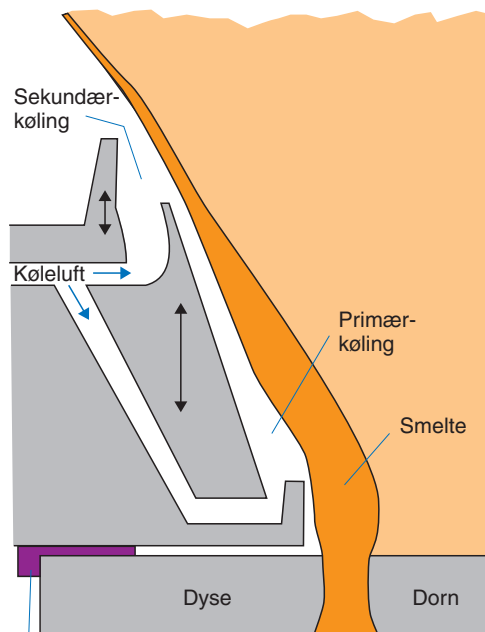
Den anden årsag kan skyldes, at platten omkring snekken har opsugt fugt under nedkølingen og genopvarmningen (evt. kondensfugt). Når ny tilførsel af plast evt. forhindrer fugten i at undvige bagud mod tragten, tvinges dette fugtige materiale ud gennem værktøjet. Fugten danner dampklumper i materialet, og på grund af trykket i værktøjet vil der også her kunne høres højlydte knald, når dampklumperne når frem til dysen og "eksploderer".

Da der altid vil være en vis risiko for at mindre plaststumper springer væk fra dysen ved disse små eksplosioner, skal man aldrig stå med ansigtet eller hænderne foran dysen under opstarten og frem til det "nye materiale" kommer ud af dysen. I modsat fald kan man få ubehagelige brandsår. Øjnene er naturligvis meget sårbare i sådanne situationer. Stå altid bagved/ved siden af dysen, således at evt. "sprøjt" ikke kan ramme dig. Brug desuden briller og handsker. Der er eksempler på, at overophedet plast (pga. fejl i tempereringsudstyr) har sprøjtet flere meter væk fra dysen under opstart.



PELD-foliefremstilling (Nextrom)

Bemærk, hvor tæt boblen er på dysen. Fryselinjen er umiddelbart under det solide boblestyr.



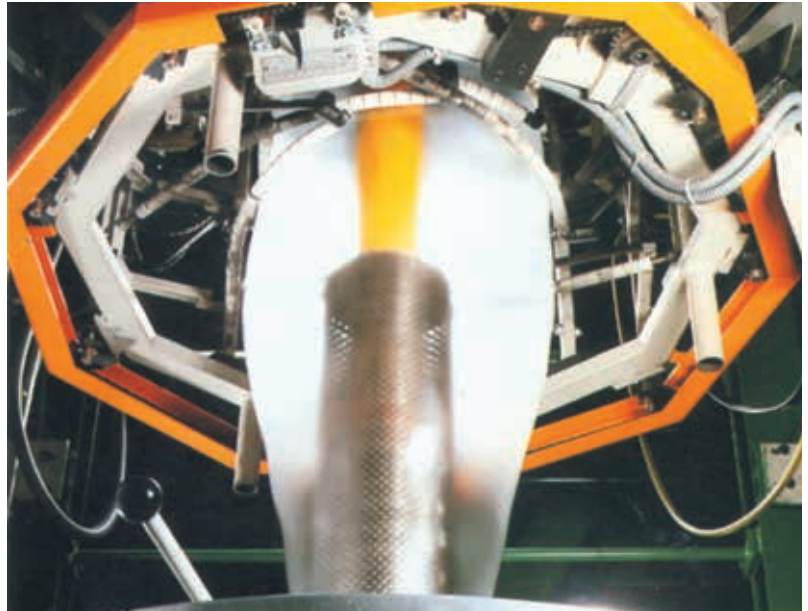
Isolation

Nogle foliekøleanlæg er udstyret med to kølespalter omkring dysespalten: primær- og sekundærkøling. Primærkølingen skal være så kraftig, at folien næsten suges ud mod den omgivende køling. Hvis primærkølingen er for svag, vil folien få en højere hals, inden den buler ud.

Stop af folieanlæg

1. Luk for materialetilførsel, lad ekstruderen køre tom (eventuelt kun i fødezone)
2. Når folien brister, stop ekstruderen
3. Lad en strimmel materiale ligge oven på dysespalten for at lukke for iltning i værktøj
4. Stop følgeudstyr, når folien er spolet op*
5. Fjern folierulle på maskinen
6. Sluk for varmesystemet
7. Sluk for kølesystemet
8. Luk for trykluft
9. Åbn trækvalser og klemvalser
10. Sluk for hovedkontakt

* Nogle virksomheder anbefaler, at man stopper med boblen hængende ned over dysen. Derved undgår man at skulle trække snor igennem systemet. Samtidigt er det let at samle den nye folie med den gamle boble.

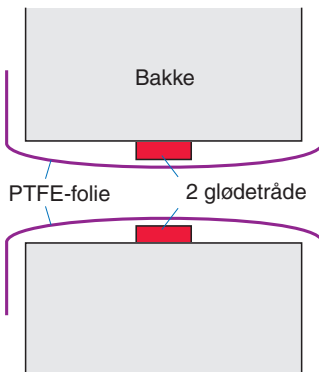


Folieekstrudering med udvendig og indvendig køling (Battenfeld)

Bemærk det indvendige "sugerør", som fjerner den opvarmede køleluft fra toppen af boblen.

Svejsning

Ved svejsning af folie er det vigtigt, at folien er fremstillet af velegnede råvarer, som er svejsbare. Alle former for tilsætningsstoffer fx antiblok, slipmiddel og herunder også visse farver kan have ødelæggende virkning på svejsningen. Det samme gælder, hvis man svejser to treatede foliesider. Det er muligt, at svejsningen holder fint de første dage. Men efter måske en måned slipper svejsningen, og bunden går ud, når man anvender posen.



Bakker til svejsning af folier
Glødetrådene er beskyttet af PTFE-folie (Teflon®).

Kvalitet

Forudsætningen for en stabil folieekstrudering er, at:

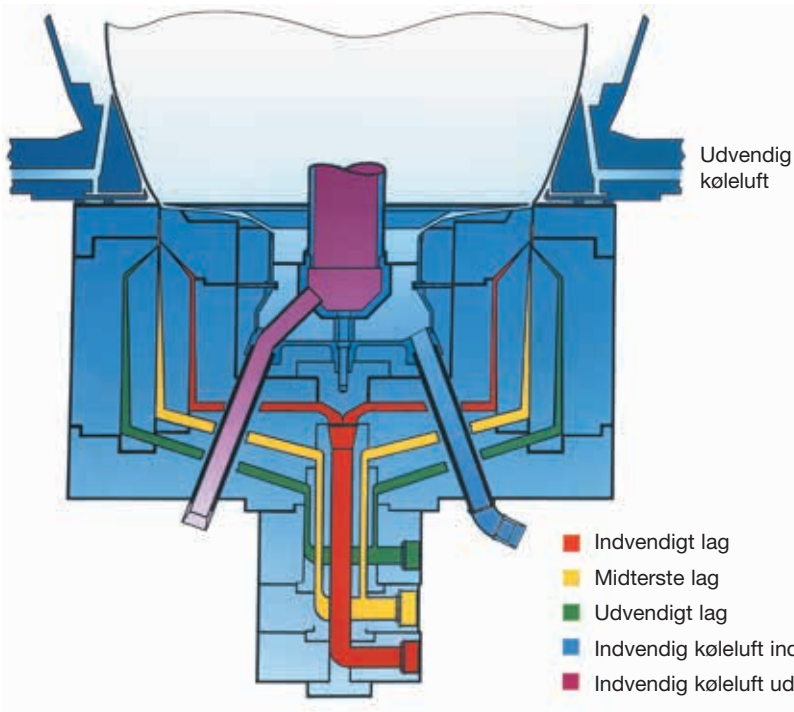
- Ekstruderen afleverer en homogen, plastificeret smelte til foliehovedet.
- Foliehovedet er opbygget således, at man får ensartede trykforhold hele vejen rundt i spaltens fødezone.
- Foliehovedet er ensartet opvarmet på hele omkredsen.

Selv om folieværktøjets ringspalte er nøjagtig ens hele vejen rundt, må man være forberedt på, at folieslangens godstykkelse alligevel kan variere. Det kan skyldes selve plastificeringsprocessen, der eventuelt ikke afleverer materialet med ensartet temperatur, hvoraf der følger forskelle i flydeevne.

Andre årsager kan ligge i tilstoppet siplade eller snavs i ringspalten. Snavs/forbrændinger i ringspalten vil desuden bevirke "dysestriber" i foliens maskinretning.

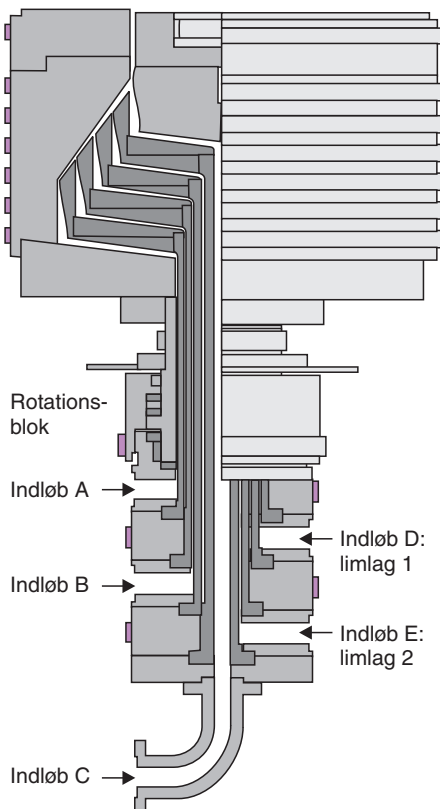
Folieværktøj for flerlagsfolie

Dette værktøj er i princippet bygget op på samme måde som et almindeligt folieværktøj. Her er der blot tale om coekstrudering. Men værktøjet er nu udstyret med 2 eller flere flydekanaler, der mødes umiddelbart før dysespalten.



Tre-lags coekstruderingshoved med indvendig og udvendig køling (Nextrom)

Fem-lags coekstruderingshoved med rotation



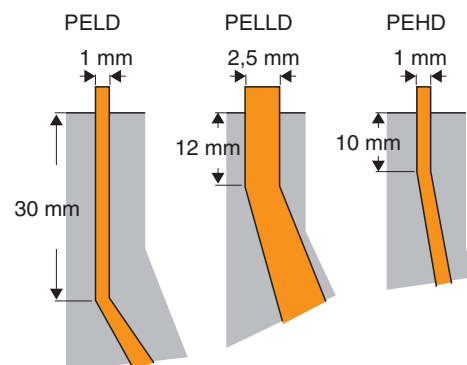
Dyser generelt

Hvad enten det drejer sig om bund- eller sidefødte dyser, er selve de formende dele så godt som ens. Som regel kan der fra maskinleverandørerne fremskaffes dyser af forskellige størrelser, således at forstå, at man til et givent folieværktøj kan skifte mellem 2-4 dysediametre: 50, 80, 100 og 150 mm eller 150, 200 og 250 mm.

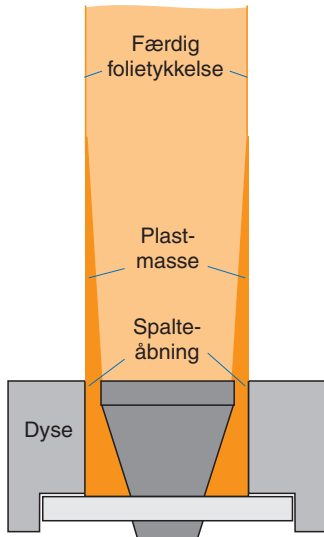
Spalteåbningen kan også variere. Til fremstilling af polyethylenfolie varierer spalteåbningen fra ca. 0,5 mm til 2,5 mm, alt efter hvilket produktområde man tilstræber.

Dyser kan være roterende eller stillestående. Ved rensning eller andet reparationsarbejde med dyser er det nødvendigt at være meget omhyggelig for at undgå fx ridser eller slag, idet disse ofte afsætter uønskede spor i folien.

Udformning af spalteåbning og spaltelængde er ret forskellig, afhængig af hvilke polyethylentyper der anvendes.



Nedtrækningsforhold



$$\text{Nedtrækningsforhold} = \frac{\text{Spalteåbning}}{\text{Folietykkelse}}$$

Når den smeltede plastmasse presses ind gennem den første del af folieværktøjet, forefindes materialets molekyler i en fuldstændigt uordnet tilstand (amorf).

Når materialemassen presses gennem spalteåbningen, begynder der på grund af den forholdsvis snævre plads en ensretning af molekylerne i ekstruderingsretningen (maskinretningen = MR).

Da spalteåbningen almindeligvis varierer fra ca. 0,5 mm til 2,5 mm, og de folier, der normalt fremstilles, i tykkelse kun er en brøkdel af spalteåbningens lysning, sker der en strækning af molekylerne, hvorved disse forlænges/lægger sig i maskinretningen.

Jo større nedtrækningsforhold, des mere forlænges molekylerne i maskinretningen.

Hvis plastmassen vedblivende er varm, vil de i molekylerne indbyggede spændinger delvis aftage.

De forlængelser og spændinger, man udsætter materialet for, indefryses ved køling.

Opblæsningsforhold

Ved opblæsningsforhold 1:1 (dysediameter = boblediameter) er alle molekylerne rettet i maskinretningen og mere eller mindre udspændt, afhængigt af nedtrækningsforhold og køletidspunkt.

Folieboblens diameter kan øges i forhold til dysens diameter, ved at der indblæses mere luft i boblen.

Når man umiddelbart før køletidspunktet gør boblediameteren større, opstår der ganske naturligt en trækning af molekylerne i tværretningen (TR).

Jo større opblæsningsforhold, des mere rettes molekylerne i tværretningen.

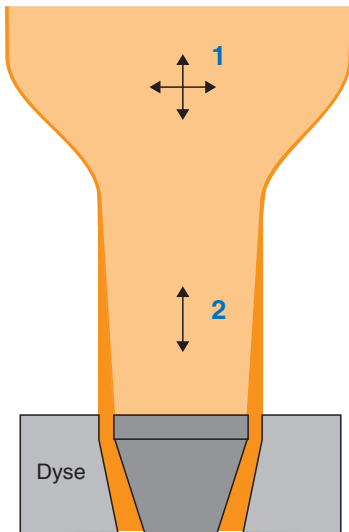
Krympefolie

Al blæst folie er krympefolie. Af det foregående må det være klart, at der ved ekstrudering (blæsning) af en boble altid vil være tale om indefrosne spændinger forårsaget af den udstrækning af molekylerne, der finder sted, mens plasten endnu er i termoelastisk tilstand.

Udstrækningen (orienteringen) af molekylerne vil alt efter ekstruderingsbetingelser og materialevalg være mere eller mindre ligeligt fordelt mellem maskin- og tværretning.

Hvis man, som tidligere nævnt, udskærer et stykke folie på fx 100 × 100 mm, og på foliestykket afmærker maskinretning, vil man ved opvarmning af foliestykket til passende temperatur (130-150 °C) observere en sammentrækning af foliestykket. Denne sammentrækning opstår ganske logisk, fordi de udspændte molekylers tilbagetrækningskraft udløses, når og lidt før foliestykket smelter.

Såfremt molekylerne har været spændt lige meget ud i både maskin- og tværretning, vil foliestykket krympe lige meget i begge retninger.



- 1 Ved forøget opblæsningsforhold trækkes molekylerne mere på tværs af maskinretningen.
- 2 Afhængigt af nedtrækningen orienteres molekylerne mere eller mindre i maskinretningen ved opblæsningsforhold 1:1.

Efter krympningen kan man opmåle foliestykket og beregne krympeprocenten. Krympeeffekterne angives som regel MR/TR. Det svære er at styre fordelingen af krympningen i henholdsvis maskin- og tværretning.

Følgende punkter har bl.a. indflydelse på krympeforholdene (orienteringsforholdene):

- Råvaren (smelteindeks og massefylde):
 - Lavere smelteindeks og massefylde = større tværorientering.
- Materialetemperaturer:
 - Højere temperatur = mindre orientering i maskinretning og større orientering i tværretning.
- Nedtrækningsforhold:
 - Mindre nedtrækningsforhold = mindre orientering i maskinretning og større orientering i tværretning.
- Opblæsningsforhold:
 - Større opblæsningsforhold = større orientering i tværretning.
- Kølehøjde:
 - Større kølehøjde = mindre orientering i maskinretning og større orientering i tværretning.
- Bobleform:
 - Nærmere flaskehalsform = større orientering i tværretning.
- Hastighed
 - Større fart (samme kølehøjde) = større orientering i maskinretning.

Selv om man kan komme ud for krav om meget varierende krympeeffektsfordelinger, er det almindeligst at inddele dem i tre områder:

- MR/TR 60-80/0-15 Aksial
- MR/TR 50-70/15-40 Semiaksial
- MR/TR 50-60/40-50 Biaksial

Rørekstrudering

Rørværktøjet

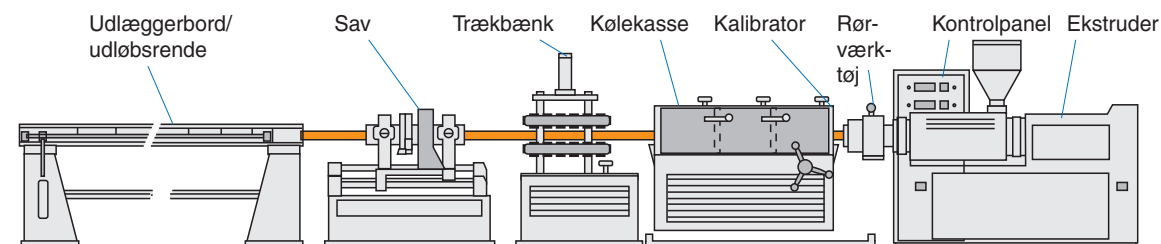
Ekstruderen er monteret med et rørværktøj, der kan forme et rør med en diameter fra få millimeter og op til et par meter (så vidt vides i skrivende stund, er de største rør, som produceres i Danmark, 1,20 meter i diameter). Rør kan fremstilles med godstykkelse fra under 1 mm og op til flere centimeter.

Ekstruderen trykker det varme plastmateriale ud igennem rørværktøjet, hvor det forlader dysen og kommer ud som en blød slange med samme diameter og godstykkelse som dysens spalteåbning.

Mange virksomheder råder over flere værktøjer til forskellige typer af plast. Samtidigt råder man over større og mindre værktøjer til forskellige diametre. Ved at skifte inderdorn og yderdorn (dorn og matrice) kan man desuden på det enkelte værktøj producere flere forskellige diametre og godstykkelser, men kun inden for et begrænset område.

De materialer, der anvendes, kan være næsten alle typer af plast og i næsten alle hårdhedsgrader fra bløde hospitalsslanger til hårde og stive gasrør, vandforsyningsrør og kloakrør.

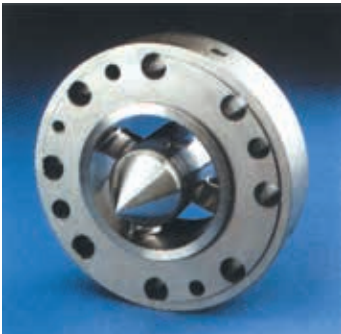
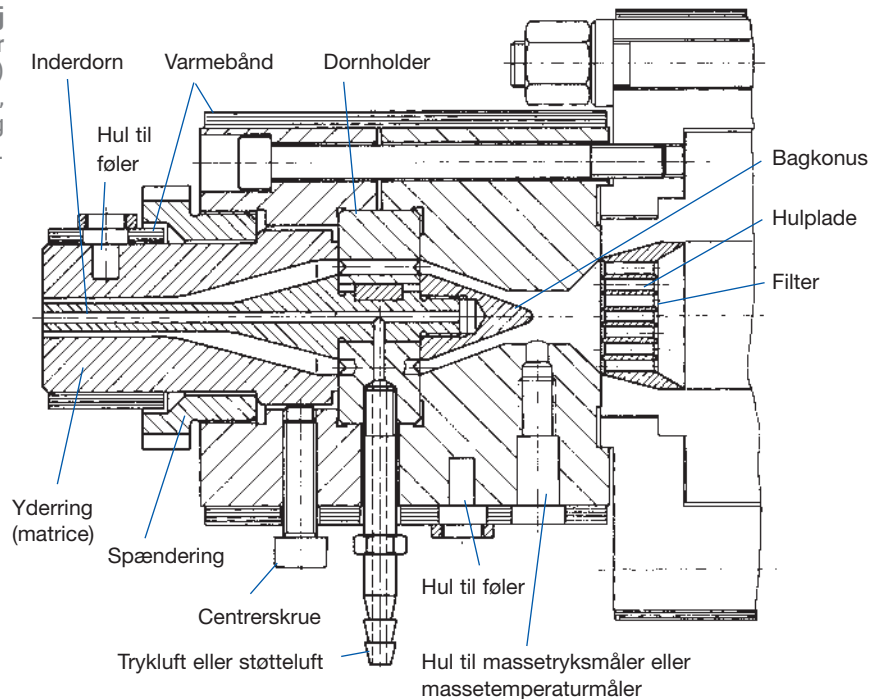
Anlæg til rørekstrudering



Gennemskåret rørværktøj med dornholder

(Degussa-Hüls AG)

Bemærk støtteluftskanalen, den bevægelige yderring og centrerskruene.



Bagkonus og dornholder til rørværktøj til fx PVC-, PA- og PS-rør (Battenfeld)

Når materialestrømmen passerer igennem dornholderens åbninger, deles den op i et antal strenge. For at få et sammenhængende rør må disse strenge "svejses" sammen igen.

I materialer med høj viskositet (sejtflydende) er det svært at sammen-svejs disse strenge. Derfor udformer man dornholderen som et fortrængnings-legeme, der giver materialet en tryk- og temperaturstigning.

Fra materialefysikken ved vi, at plastmolekylerne kan strækkes, men vil søge tilbage mod deres oprindelige form, når belastningen ophører.

Når plastmassen udvides omkring dornholder og dorn, bliver molekylerne strakt både i flyderetningen og på tværs af denne. Den tværgående strækning (diametere) vil ophæves igen, når smelten forlader dysen, og trække røret ned på en mindre diameter.

Netop for at undgå dette fænomen benyttes dornholdere med større diameter end dysen, hvilket modvirker den senere sammentrækning, når plasten forlader dysen.

Efter dornholderen bliver gennemstrømningsarealet i rørhovedet mindre. Under tryk, opnået ved sammenpresning i glattezonen, sammenstukkes materialet på vej mod glattezonen. Sammenstukningen gør det muligt at opnå god sammenflydning af strengene.

Men strengestrukturen vil ved spændingsudløsende varmebehandling altid kunne iagttages i det færdige emne.

PE- og PP-værktøj

På grund af problemerne med at få plasten til at flyde sammen i dornholderværktøjet har man udviklet et værktøj, som er velegnet til fx PE og PP.

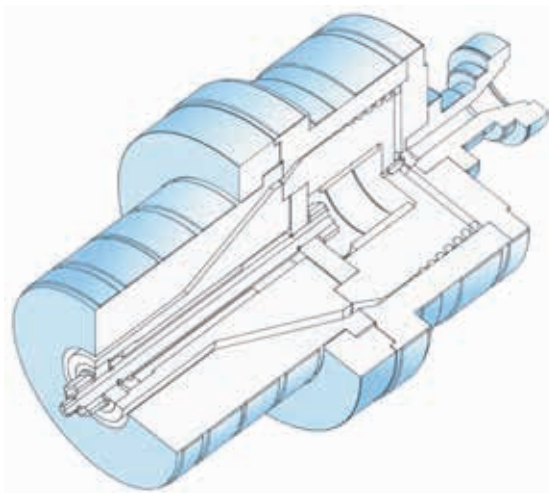
Dornholderen er her erstattet af en spiralformet fordelerblok/dorn. Materialet bliver presset fra centrum (filter og hulplade) ud mod siderne gennem et antal huller og ud i en række spiralformede kanaler udvendigt



Fordelerblok/dorn til fx PE og PP
(BFA Plastic GmbH)

på fordelerblokken/dornen. Disse kanaler fordeler plasten hele vejen rundt om dornen. Dornens diameter bliver gradvis mindre ud mod dysen, hvorved de spiralformede kanaler afleverer en lagvis fordelt masse rundt om dornen. Den lagvise fordeling af materialet sikrer bedre sammenflydning.

Den efterfølgende sammenpresning i dysen på diameteren sikrer røret mod svind og spændinger.

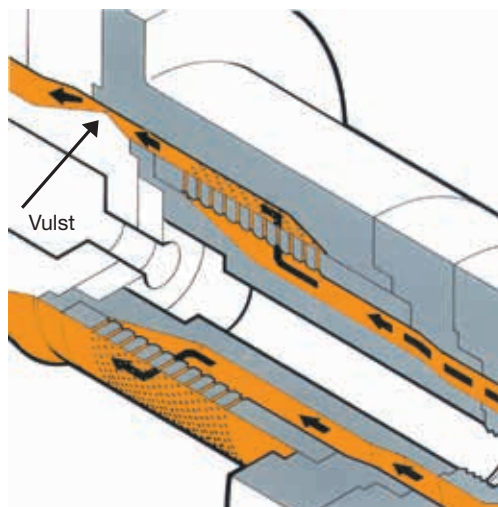


Rørværktøj
(Danatech ApS/AMUT)

Grundprincippet i dette værktøj er sandsynligvis det mest anvendte inden for ekstrudering af PE- og PP-rør.

Vulst

I tilfælde, hvor røret skal have meget stor godstykkelse, kan det være et problem at sikre ordentlig sammenflydning på grund af manglende modtryk. Derfor er der ofte i disse værktøjer indbygget en ringformet vulst på dornen. Denne vulst går meget tæt på yderværktøjet, således at der opbygges et meget stort tryk før vulsten. Derved sikres et meget højt sammenflydningstryk.



Kalibrering

Slangen føres indvendigt i en kalibrator, som skal glatte, køle og derved fiksere rørets udvendige side på det korrekte mål. Kalibratoren kan have forskellige funktioner og udformninger afhængigt af plasttypen.

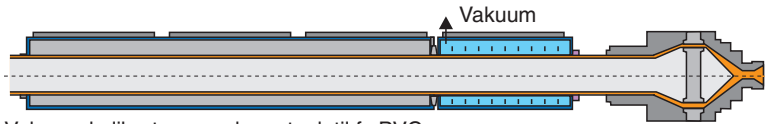
Ved kalibrering forstås at bringe røret på det krævede mål inden for de givne tolerancer. På grund af anvendelsesmæssige krav og proceshensyn kalibreres den ydre diameter på ekstruderede plastrør.

Et andet eksempel på udformning af værktøj til PE- og PP-rør
(Battenfeld)

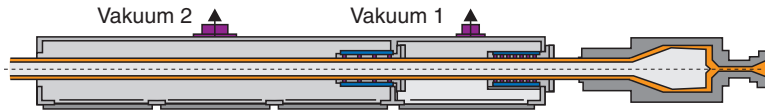
Her ses vulsten umiddelbart efter den ringformede fordelerplade/hulplade.

Vakuumkanibratorer

Bemærk, at der er vakuum i begge køletanke til PE. Det er på grund af den langsomme afkøling (krystallitdannelsen) og deraf kommende eftersvind. Bemærk desuden forskellen i værktøjs-opbygningen.



Vakuumkanibrator og vakuumtanke til fx PVC

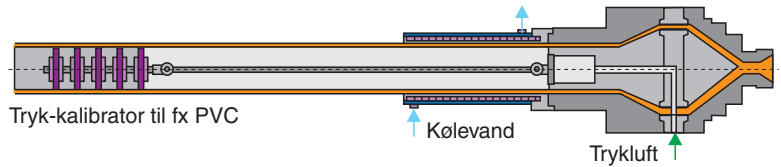


Vakuumkanibrator og vakuumtanke til fx PE

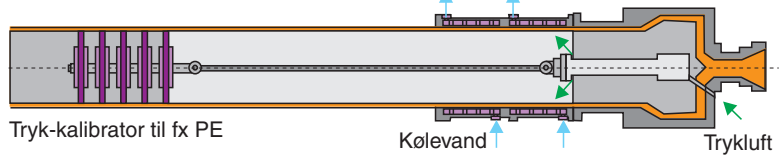
Da den ydre diameter kalibreres, vil de små udsving i ekstruderens ydelse optræde som små variationer i den indre diameter. Den ydre kalibrering kan ske i henholdsvis en vakuumkanibrator eller en trykkanibrator.

I vakuumkanibratoren skabes et undertryk mellem kanibratoren og røret, hvorved atmosfæretrykket inde i røret trykker røret ud mod kanibratorens væg. Kanibratoren er kølet med vand, således at rørets overflade bliver fast nok til at glide samt holde rørets form under den efterfølgende afkøling.

I trykkanibratoren blæses luft gennem støtteluftskanalen ind i røret. En slæbedorn, som hænger i en wire, der er fastmonteret på dysen, sørger for at opretholde det nødvendige tryk inde i røret. Trykket i røret preser røret ud mod kanibratoren.



Trykkanibrator til fx PVC

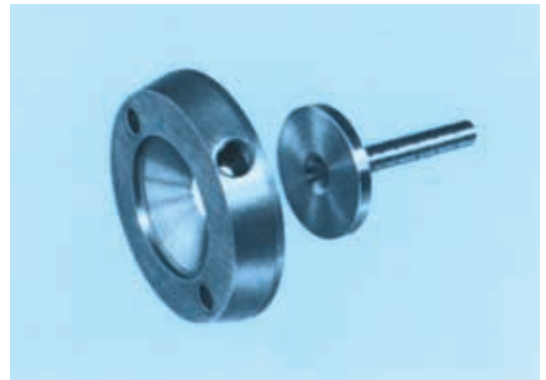


Trykkanibrator til fx PE

Trykkanibratoer

Bemærk kølingen. Ved amorf materialer undgår man ofte chokkøling ved at lade kølevandet løbe modsat rørets retning. Ved delkrystallinske materialer tilstræber man at få mest mulig varme ud af materialet.

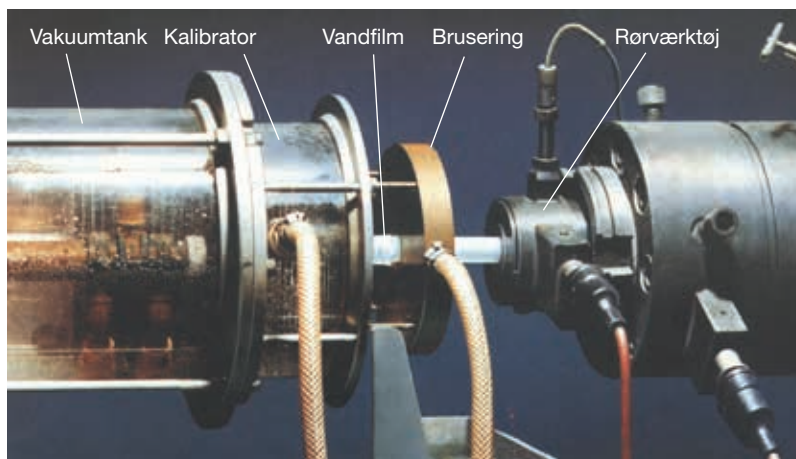
For at opnå tilstrækkelig køling og fastholde den udvendige diameter fortsætter røret igennem en eller flere kølekasser/vakuumtanke fyldt med vand, eller gennem en række brusere, der køler røret.



To varianter af kanibratoer til rør (Degussa-Hüls AG)

Vandfilm

Ved fremstilling af PE- og PP-rør er der i indløbet til mange vakuumkanibratoer monteret en ringformet brusere. Denne ring afleverer på røret en vandfilm, som skal smøre og køle. Ringen er normalt monteret direkte på kanibratoren.



Rørekstrudering med vandkølefilm, vakuumskalibrator og vakuums tank
(DSM Scandinavia A/S)

Den ringformede brusering kan i visse tilfælde være trukket et stykke frem før kalibratoren. Dette er sandsynligvis mest brugt ved fremstilling af PP-rør og også i visse tilfælde af PA-rør.

Swind og spændinger

Når plastmassen er formgivet gennem værktøjet, bliver den afkølet til formstabil tempera-tur. Ved ekstrudering af rør er emnet stadig så blødt, når det forlader værktøjet, at det er nød-vendigt at fastholde formen un-der den første del af afkøl-lingen.

Emnets yderflade køles først, hvorved den ydre form fasthol-des, mens den indre stadig har frihed til at trække sig sammen under den videre afkøling.

Disse temperaturforskelle medfører svindifference og dermed spændinger i det fær-dige rør. I værste fald kan der opstå lunger i tykvæggede rør.



Kalibrator til PP-rør

(Danatech ApS/AMUT)

Bemærk den almindelige brusering samt den fremtrukne ring-formede brusering.

På grund af trykspændingerne i den udvendige overflade og trækspændingerne i den ind-vendige vil siderne i et opskåret rør krumme ind over hinanden.

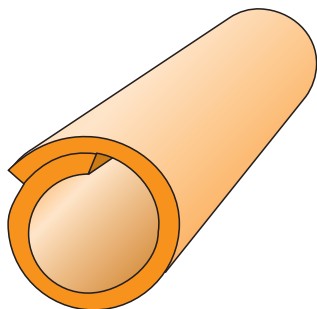
I et rør vil det ydre og indre materiale komme til at stå i spænd i forhold til hinanden. Hvis et ekstruderet rør skæres op på langs, vil siderne krumme ind over hinanden som følge af trykspændingerne i den udvendige overflade og trækspændingerne i den indvendige.

For at undgå store spændinger i ekstruderede rør sænker man afkølings-hastigheden, i praksis ved at hæve kølevandets temperatur eller ved at dele kølezonen op i mindre zoner med ukølede mellemrum (afstand mellem kølekasser). Under den videre afkøling er det derved muligt for plasten at trække sig sammen uden at tilføre emnet de store spændinger, som opstår ved uensartet afkøling af overfladerne.

Trækbænken

Godstykkelsen skal i princippet være den samme som dysens åbning, men ved at trække en anelse hurtigere eller langsommere med trækbænken kan man inden for et mindre område justere godstykkelsen efter behovet. Det kan dog medføre visse produktionsproblemer og kvalitetsforringelser i produktet. Hvis man trækker for langsomt, er der risiko for, at man stukker (sammenpresser) materialet. Derved kan der komme rynker i rørets overflade.

Hvis man trækker for hurtigt, er der risiko for, at der kommer for stort svind i diameteren, hvilket kan bevirke, at en vakuumskalibrator suger falsk luft ind omkring røret. Derved bliver både vakuums og diameter mindre, hvis ikke røret falder sammen.



Ø1.000 mm rør > 300 mm overlæg



Dobbelt rørværktøj (Danatech ApS/AMUT)

Sav eller afkorter

Røret passerer en sav eller afkorter, som aktiveres af en føler eller et målehjul. Når røret er kortet af, kan længderne lægges i kasser eller rammer.

Saven er udstyret med klemmebakker, som griber fat om røret, når det skal saves over. Hele saveenheden, som er monteret på langsgående glidestænger/glidelejer, følger med røret frem, mens røret saves over. Når savningen er afsluttet, åbner klemmebakkerne, og saven returnerer til udgangsstillingen.

På den ene side af savklingen er der ofte monteret et lille skråt fræsejern, som faser (spidser) den ene ende af røret. Det gøres for at lette samlingen af rørene.



Spoleapparat

Blødere rør eller slanger opspoles i mange tilfælde på ruller, som bindes med snor eller bånd.

Samlemuffe

Hvis der er tale om stive rør, foregår der måske efter afkortningen en opvarmning af den ene ende af røret. Derved blødgøres plasten, som derefter kan dornes op til en samlemuffe.

Spoleapparat til rør (Battenfeld)

Opstart af røranlæg

Klargøring af linjen inden opstart.

Ved opstart af rør i amorf materialer og på mindre anlæg vil det ofte være nemmest at trække det nye rør hen gennem kølkassen og hen til trækbenken med hænderne.

Ved større anlæg kan det være en fordel at isætte et trækrør. Når det nye rør er kommet gennem kalibratoren, kan man gøre et kort stop, mens man samler de to rørender med tape. Herefter kan man lade trækbenken trække røret igennem systemet.

Bemærk: Hvis der skal være slæbedorn i røret, kan denne fastgøres på wiren, inden man samler rørene med tape.

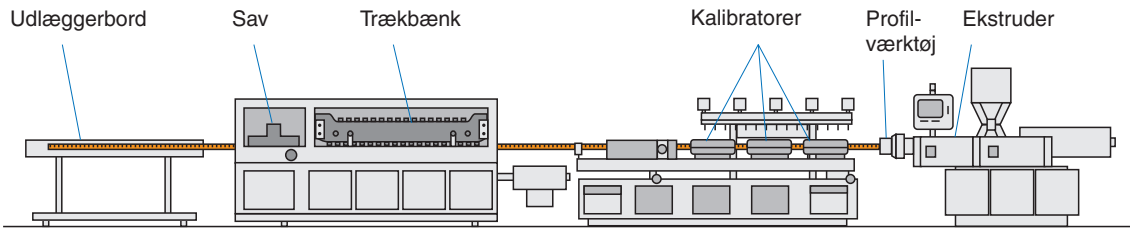
Hvis det er rør af fx PE, er proceduren som nedenfor beskrevet:

1. Indsæt et trækrør af samme plasttype, som når fra dysen og hen gennem trækbenken. Sæt enden af trækrøret imod dysen og lad den blive varm (husk at renskære rørenden).
2. Start ekstruderen.
3. Kør eventuel knaldluft ud.
4. Opsaml eventuel spild i container/vandbad.
5. Kør materiale ud mod enden af det opvarmede trækrør.
6. Sørg for, at de to ender smeltes godt sammen.
7. Samtidigt startes trækbenken, tilpas hastigheden.
8. Tænd for vakuum, eller skab et lille overtryk indvendigt i røret (afhængigt af kalibratortype).
9. Tænd for vandkøling.
10. Centrer.
11. Tilpas godstykkelsen (aftrækshastighed).

Stop af røranlæg

1. Skift om nødvendigt materialetype for at lette rengøringen af snekke, cylinder og værktøj.
2. Luk for materialetilførsel.
 - * Ved vakuumkalibrering: Stop trækbenk og ekstruder, mens røret er intakt, lad dette køle af. Kør restmaterialet ud af ekstruderen (eventuelt kun i fødezonen).
 - * Ved trykkalibrering: Lad ekstruderen køre tom (eventuelt kun i fødezonen).
3. Opsaml spildet i container/vandbad.
4. Stop følgeudstyr.
5. Stop hovedmotoren, når cylinder er tilstrækkeligt tom.
6. Sluk for varmesystemet.
7. Sluk for kølesystemet.
8. Luk for eventuel trykluft.
9. Sluk for udsugning.
10. Sluk for hovedkontakt.

Profilekstrudering



Profilanlæg



Forskellige typer af profiler
(Primo Danmark A/S)

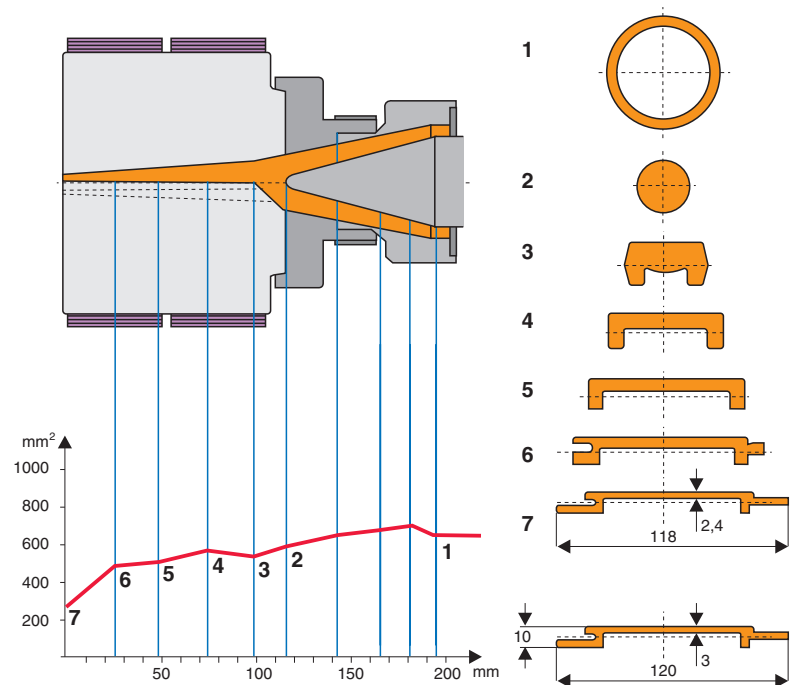
Profilværktøjet

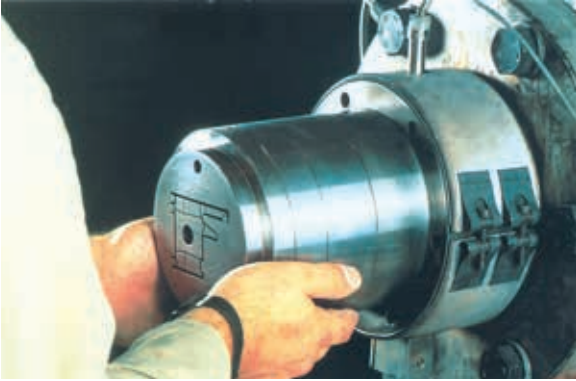
Ekstruderen er monteret med profilværktøj, der kan forme den blødgjorte plast til et profil. Profiler kan fremstilles både hule og massive. Vægtykkelsen i profilet kan være forskellig, hvilket kan stille endog store krav til gennemstrømningsforholdene i formværktøjet. Her er det meget vigtigt at være opmærksom på korrekt klargøring af værktøjet (polering).

De materialer, der anvendes, kan være næsten alle typer af plast og i næsten alle hårdhedsgrader fra meget bløde tætningslister til hårde og stive profiler til fx vinduer og døre.

Ekstruderen trykker det varme plastmateriale ud gennem profilværktøjet, hvor det passerer dysen og kommer ud som et blødt profil med samme ydre form som værktøjet og den efterfølgende kalibrator.

Fremstilling af profil
Til højre i billedet ses, hvordan profilet indtager sin form, efterhånden som det passerer igennem værktøjet. Plasteren starter som et rør, der ligger uden om snekken, bliver til en massiv stang efter snekken, bliver gradvis formet til et begyndende profil, der senere flades mere og mere ud, indtil det til sidst ender som det færdige profil.
Nederst til venstre vises på grafen, hvorledes tværsnitarealet i værktøjet mindskes hen mod dysen.





Profilværktøj under montering (SCHWARZ/Battenfeld)

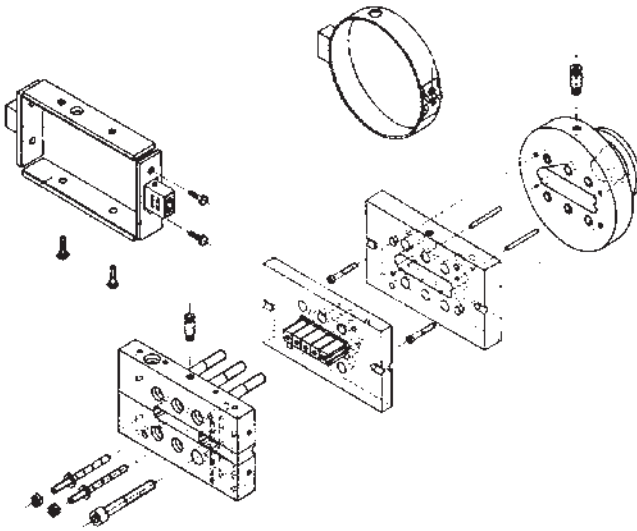
Det er vigtigt, at spalteåbningen i værktøjet monteres vandret, tilsvarende kalibratoren. Bemærk: Et værktøj til et firkantet profil kan udmærket være rundt udvendigt. Her har man så ikke de samme muligheder for at regulere varmen i henholdsvis top og bund.



Profilværktøj (SCHWARZ/Battenfeld)

Bemærk de fire varmebånd. Det er på dette værktøj muligt at styre varmen individuelt på top, bund, højre og venstre side.

De enkelte dele i et profilværktøj

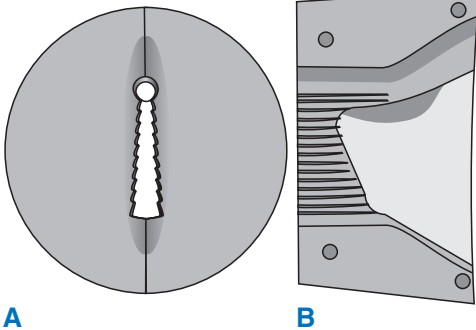


I profilværktøjet er dyseåbningen udformet efter geometrien på det profil, man ønsker at fremstille.

Vi ved, at plastsmelten strømmer hurtigst i midten af et tværsnit på grund af friktionen mellem værktøjsvæggen og smelten. Det yderste materialelag bremses.

Mange profiler har ikke den samme godstykkelse overalt. I de store tværsnit vil smelten strømme hurtigst og derved tvinge profilet til at vride sig eller bøjes. For at undgå dette regulerer man hastighedsprofilet ved at ændre på værktøjskanalernes friktion.

Lad os se på et eksempel.



A

B

Profilværktøj til tætningsliste

- A. Et værktøjs profilstruktur fra materialestrømmens retning. For at der skal komme tilstrækkeligt materiale frem til det smalleste sted tæt ved den cirkelrunde del foroven, må materialestrømningen til dette sted lettes i forhold til omgivelserne.
- B. Værktøjet lukket op og set fra siden. I denne halvdel ses det tydeligt, hvordan modstanden overalt reguleres ved hjælp af udglatningszonens længde. En kort udglatningszone betyder mindre friktion, hvorved materialets strømningsprofil ændres, så materialestrømmen bliver ens over hele profilet. Ligeledes ses en langsgående skillevæg, der hindrer tværstrømning op mod det cirkulære hul.

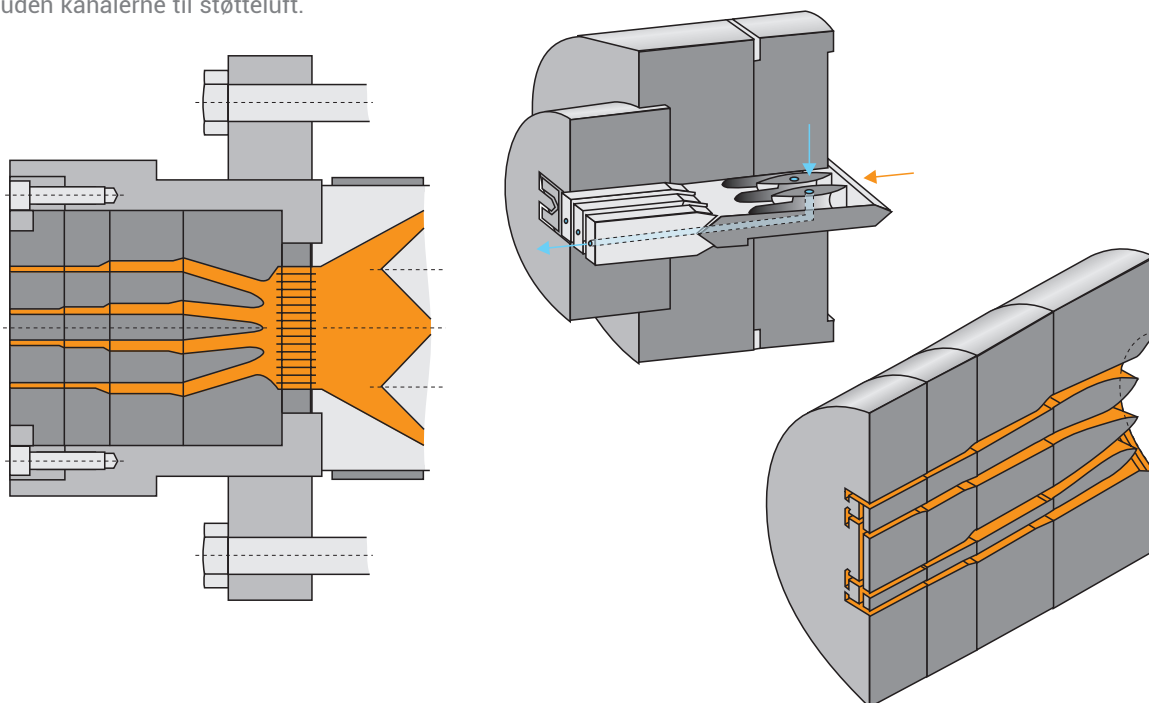
Ekstrudering af profiler især med uens godstykkelse er meget følsom over for variationer i proces og materiale. Den balance, som er opnået ved et samspil af friktion mellem værktøjsoverfladen og materialet samt materialets indre strømningskarakteristik, kan ødelægges ved ændringer i:

- Smøremiddelindhold
- Smelteindeks
- Molekylefordeling
- Massetemperatur

Ved fremstilling af værktøjet skal der tages hensyn til materialets termiske svind. Værktøjet skal have overmål. Der er nemlig begrænsede muligheder for at kalibrere det ekstruderede profil, idet profilet vil ændre dimensioner forskelligt ved nedtrækning.

Profilværktøj (Battenfeld)

Bemærk forskellen på længden af glattezonerne. Bemærk desuden kanalerne til støtteluft.



Kalibrering

Profilet føres indvendigt i en kalibrator, som skal glatte, køle og derved fikse profilets udvendige side på de korrekte mål. Kalibratoren er ofte udført af en bronze/messing-legering, som har ekstremt god varmeledningsevne. Problemet er blot, at disse kalibrаторer er meget lette at ridse. Så vær meget forsigtig ved rengøring og håndtering.

Kalibratoren kan have forskellige funktioner og udformninger afhængigt af plasttypen.

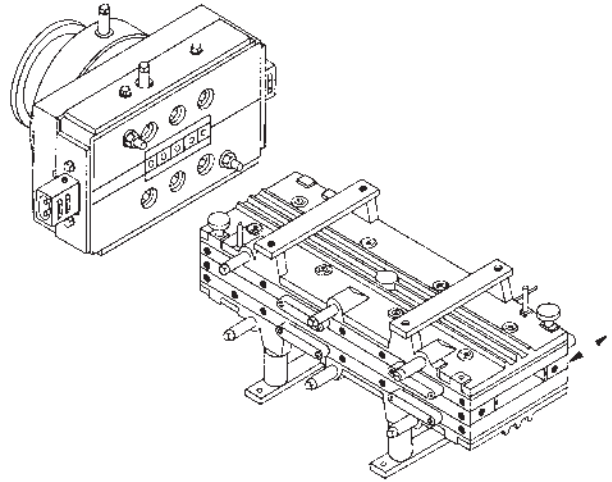
For at opnå tilstrækkelig køling og fastholde de udvendige mål fortsætter profilet måske igennem flere kalibrаторer og måske igennem kølekasser fyldt med vand eller en række brusere for at opnå tilstrækkelig køling af profilet.



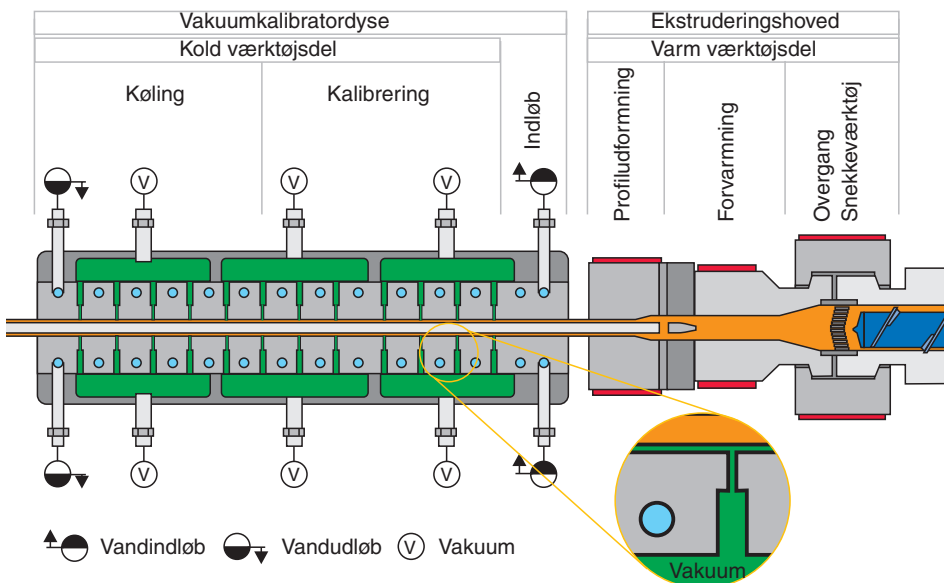


Emnets yderside afkøles først, hvorved den ydre form fastholdes, mens den indre stadig har frihed til at trække sig sammen under den videre afkøling. Disse temperaturforskelle medfører svinddifference og dermed spændinger i det færdige profil. I værste fald kan der opstå lunger fx ved tosidig afkøling af profiler.

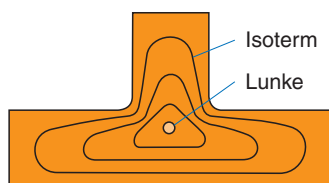
Ni kalibratorenheder er der til dette profil. Ofte bliver målene på kalibratorerne mindre og mindre hen mod trækbenken. Dette gøres af hensyn til det termiske svind undervejs.
(SCHWARZ/Battenfeld)



Profilværktøj og kalibrator (Bayer A/S)



Principiel opbygning af profilværktøj og kalibrator med vakuum og køling
Udsnittet viser vandkølekanal og vakuumkanal/vakuumspalte.



Lunke i tosidet afkølet profil

Trækbænken

Det nedkølede profil trækkes af trækbænken. Hastigheden skal afpasses således, at profilet opnår den korrekte godstykkelser.

Afstanden mellem dyse og kalibrator kan variere fra 5 mm til ca. 30 mm.

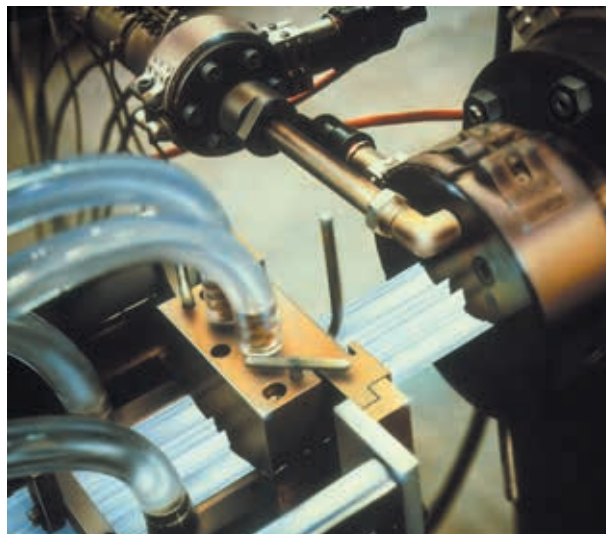
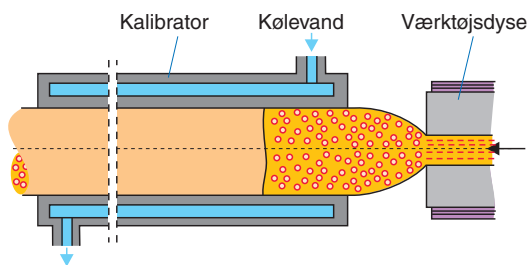
Hastigheden passer, når profilet har en svag udbulning mellem dyse og kalibrator.

Godstykkelseren er i princippet den samme som dysespaltens åbning, men ved at trække en anelse hurtigere eller langsommere med aftrækket/trækbænken, kan man inden for et meget lille område justere godstykkelseren efter behovet. Det kan dog medføre visse produktionsproblemer og kvalitetsforringelser i produktet.

Coekstrudering af profil (Primo Danmark A/S)

Bemærk bi-ekstruderens materialetilførsel foran i toppen af dysen samt den enkle vandkølede kalibrator.

Princippet i et værktøj og kalibrator til opskumning af massive profiler



Opstart af profilanlæg med vakuumkalibrator

Polér altid på tværs af plastens flyderetning.

Klargøring af linjen inden opstart.

1. Sørg for, at alle vakuumhuller/-spalter er rene.
2. Ved vakuumkalibrator anbragt på løst stativ/bordet: Husk at fæstne dette til ekstruderen, ellers vælter stativet/bordet, når der kommer vakuum på.
3. Husk at montere alle vakuum- og køleslanger, og kontroller, at der er gennemstrømning. Der kan have dannet sig kalkaflejringer og algevækst.
4. Åbn for kølingen i kalibratoren.
5. Start ekstruderen.
6. Kør eventuel knaldluft ud.
7. Opsaml spild i container/vandbad.
8. Træk profilet hen gennem den åbne kalibrator og hen i trækbænken. Køl eventuelt med rindende vand undervejs.
9. Samtidigt startes trækbænken, tilpas hastigheden.
10. Luk topdelen af kalibratoren og åbn lidt for vakuum. Hvis der åbnes for meget, risikerer man, at profilet rykkes over.
11. Efterhånden som profilet "suges helt ud mod kalibratoren", og kølingen derved effektiviseres, kan vakuum øges.
12. Det kan være nødvendigt at køre med mindre vakuum i den første del af kalibratoren for at modvirke, at profilet suger sig fast og rykkes over. Dette afhænger fx af plasttypen.
13. Afpas trækbænkens hastighed således, at profilet kommer helt ud i hjørnerne. For høj hastighed giver runde hjørner. For lav hastighed giver folder i profilet.

Stop af profilanlæg

1. Skift om nødvendigt materiale type for at lette rengøringen afsnekke, cylinder og værktøj.
2. Luk for materialetilførsel.
3. Lad ekstruderen køre tom (eventuelt kun i fødezone).
4. Opsaml spildet i container/vandbad.
5. Stop følgeudstyr.
6. Stop hovedmotoren, når cylinderen er tom.
7. Sluk for varmesystemet.
8. Sluk for kølesystem og vakuumsystem.
9. Luk for eventuel trykluft.
10. Sluk for udsugning.
11. Sluk for hovedkontakt.

Sav eller afkorter

Profilen passerer en sav eller afkorter, som aktiveres ved hjælp af en føler eller et målehjul. Når profilet er kortet af, kan længderne lægges i kasser eller rammer.

Saven er ofte udstyret med klemmebakker, som griber fat om profilet, når det skal saves over. Hele saveenheden, som er monteret på langsgående glidestænger/glidlejer, følger med profilet frem, mens det saves over. Når savningen er afsluttet, åbner klemmebakkerne, og saven returnerer til udgangsstillingen.

Blødere profiler opspoles ofte på ruller og klippes måske manuelt for at undgå, at de ruller op igen. Derefter lægges de i kasser.

Stangværktøjet

Afkøling af emner i delkrystallinske plast giver stort svind.

Svindet er så stort, at det ved meget tykvæggede emner, fx massive stænger, er nødvendigt at kompensere derfor.

Uden det rigtige værktøj vil det være vanskeligt at overholde tolerancer og at undgå sugninger, lunker og spændinger. Til denne opgave findes det såkaldte køledyseværktøj.

Ved ekstrudering af massive stænger må dysen have en vis længde, så plastmassen efter at have været gennem hulpladen, hvor den er blevet delt op i stort antal små strenge, igen kan nå at flyde sammen til en homogen masse.

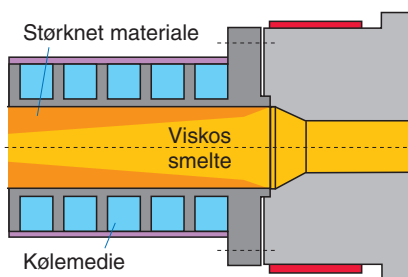
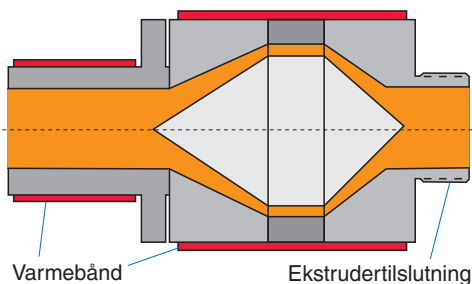
Dysens længde øger flydemodstanden og giver dermed det ønskede tryk i plastmassen.

Dyselængden afgøres af materialets viskositet, hvor høj viskositet (sejtflydende) giver dårlig sammenflydningsevne.

Ved lavviskose materialer er profildysens længde ca. 5 × diameteren.

Ved højviskose materialer burde længden være ca. 10 × diameteren, men i praksis afkortes værktøjet ved at indsætte en konus som fortrængningslegeme.

Stangværktøj



I værktøjet udvides diameteren i første omgang, og så formindskes den igen. På denne måde tvinges plastmassen til længere ophold under højt tryk.

For at undgå dannelse af sugninger og lunker må emnets indre efterfyldes med materiale for at udligne størkningsvindet. Denne efterfyldning må nødvendigvis foregå, mens materialet i emnets indre stadig er viskøst.

Ved kraftig afkøling ved dysen størkner massen ved kalibratorens væg i et stadig tykkere lag og yder modstand mod videre transport på grund af friktion.

Friktionen opbygger et tryk i dysen, som gør det muligt for snekken at presse materiale ind i midten af emnet, hvorved størkningssvindet udlignes.

Stangværktøj med efterfølgende kølekalibrator

Plade- og planfolieekstrudering

Grænsen mellem plader og folier kan være svær at definere, da tykkelsen ikke altid er afgørende for, hvad man kalder produktet. Nogen kalder end- og 2 mm tykke plader for folie.

Men fælles for produkterne er, at ekstruderen er monteret med bred-/fladdyseværktøj, der former en plade eller folie. Bredden kan variere fra under 100 mm til over 2 m. Tykkelsen kan variere fra under 1 til ca. 10 mm.

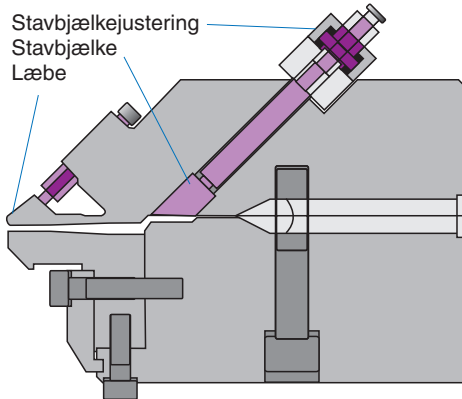
De materialer, der anvendes, kan være næsten alle typer af plast og i næsten alle hårdhedsgrader fra bløde folier til emballering af madvarer og over til hårde og stive plader til fx brusekabinevægge.

Ekstruderen trykker det varme plastmateriale ud gennem bred-/fladdyseværktøjet, hvor det passerer dysen og kommer ud som en blød folie/plade med lidt større mål og lidt tykkere end de ønskede, færdige mål. Målene svarer til dysens mål.

Inde i fladdyseværktøjet kan der være anbragt en såkaldt stavbjælke (kommer sikkert af det tyske ord stau = kø). Dennes funktion er at skabe ensartet flydehastighed i hele værktøjets bredde. Spalteåbningens størrelse bestemmer altså foliernes tykkelse, og stavbjælken justeres således, at folien kommer ud af dysen med samme hastighed i hele dens bredde.

Gennemskåret fladdyseværktøj

Bemærk den justerbare stavbjælke, der holder materialet tilbage, således at der opstår ensartet tryk i hele værktøjets bredde.

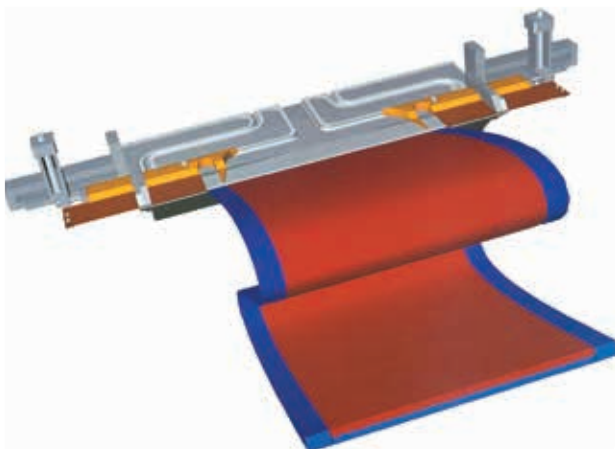


Fladdyseværktøj
(Falcon Plastics-Machinery/
Verbruggen)

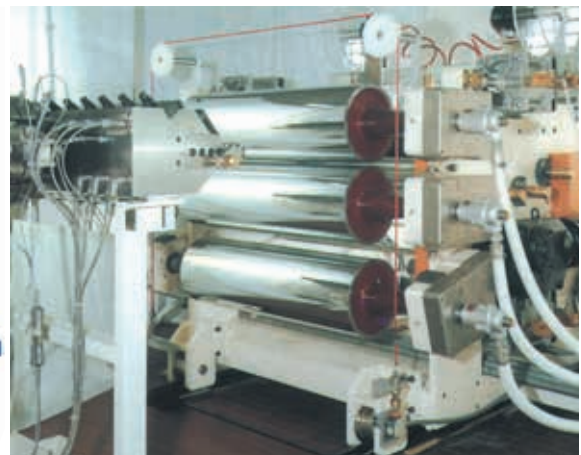


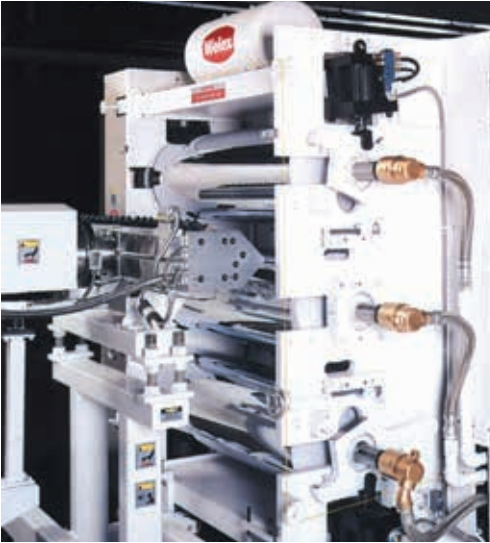
Åbent fladdyseværktøj til to-lags folie (CLOEREN)

Bemærk sidekanalerne, der leder materiale ud til begge sider.



Kalibrering af plader og folier mellem tempererede valser (Pro-Consult A/S/MAI VIRGINIO)



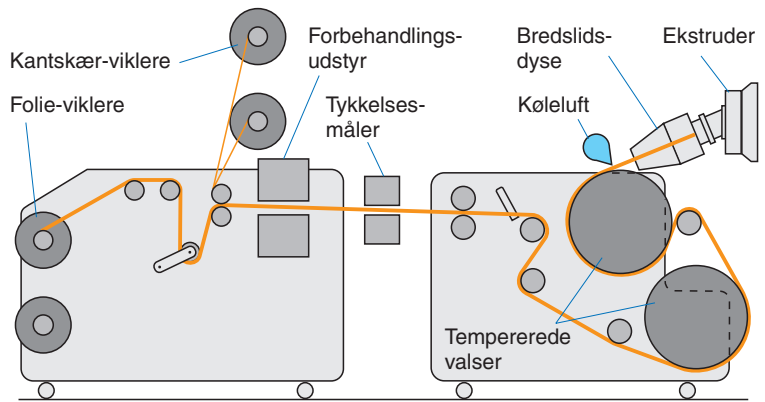


Fladdyseværktøj og kølevalser
(Welex Inc.)



Folien forlader dysen mellem to glattevalser
(CLOEREN)

Anlæg til fremstilling af tynde
folier med godstykkelsesmå-
ling og opskæring



Kølevalser eller kalandrette

Folien/pladen føres ind imellem et sæt af valser, også kaldet en kalandrette, som skal glatte, køle og derved fiksere folien/pladen i den korrekte tykkelse.

Valserne kan have forskellige funktioner og udformninger afhængigt af behovet. Valsens temperatur og overfladeudseende er altafgørende for det færdige produkts udseende.

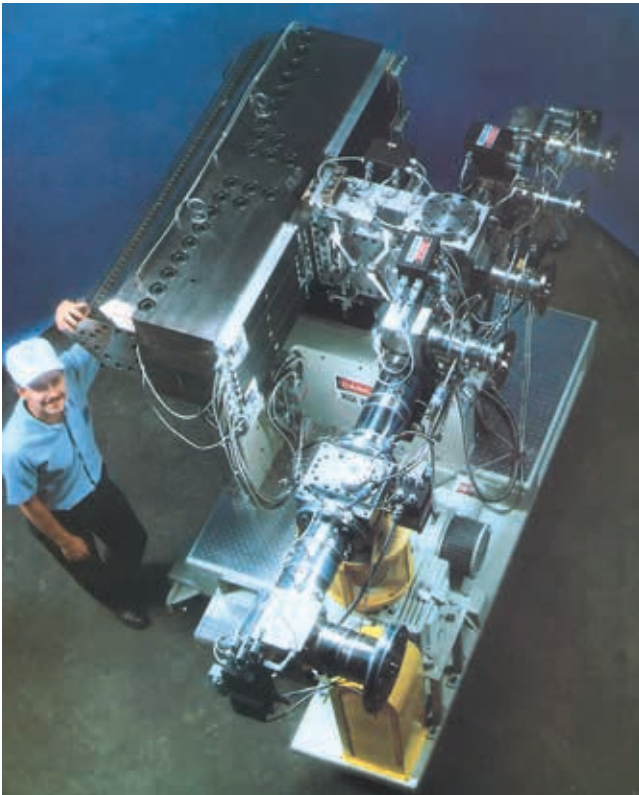
Overfladen kan blive mat, blank, glat, nubret eller måske med læderstruktur alt efter mønsteret og temperaturen på valserne.

For at opnå tilstrækkelig køling og fastholde godstykkelsen fortsætter folien/pladen igennem flere kølevalser fyldt med vand, typisk to valser, når der er tale om tynde folier, og tre eller fire valser, når der er tale om tykkere folier eller plader. Behovet for flere valser stiger, når der er mere varme, der skal bortledes. Det er muligt at styre temperaturen i de enkelte valser for at opnå den glans på overfladen, man ønsker. Disse valser har desuden den funktion, at de virker som trækbenk for folien/pladen.

Sav eller afkorter

Den nedkølede folie/plade passerer en sav eller klipper, som aktiveres ved hjælp af en føler eller et målehjul. Når folien/pladen har passeret saven/klipperen, kan den lægges på paller, rammer eller i kasser.

Tyndere plader og folier kan opspoles på ruller. Disse leveres ofte som halvfabrikata til andre virksomheder, som videreforarbejder dem, måske ved termoformning.



Coekstrudering af folie/plade

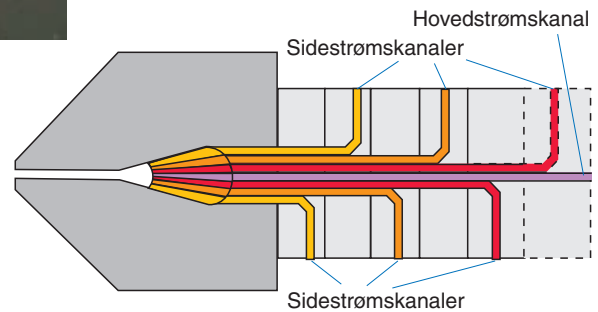
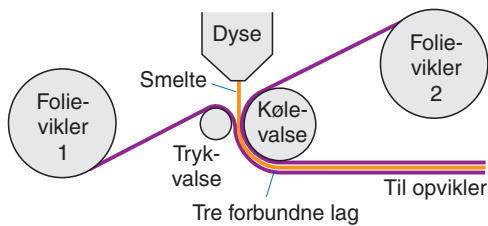
Plader og planfolier kan coekstruderes på lige fod med mange andre produkter. To eller flere plasttyper/blandinger presses side om side gennem værktøjet. Der er mulighed for at fremstille seks- eller syv-lags folie/plader.

Oftentimes vil der kun være behov for tre eller fire forskellige plasttyper i en plade. Men da disse plasttyper måske ikke vil klæbe sammen, er det nødvendigt at placere forskellige limlag mellem lagene. Derfor kommer man ofte op på et væsentligt højere antal lag.

Fladdyse til syv-lags folie/plader (CLOEREN)

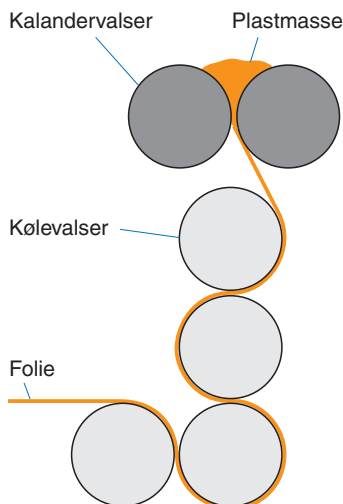
Bemærk, der er seks ekstrudertilslutninger. En af ekstruderne afleverer plast til to lag i folien/pladen.

Fladdyseværktøj til seks- eller syv-lags folieplader



Laminering

Kalandring

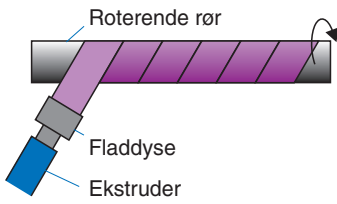


Laminering

Laminering er også en proces, hvor man anvender et fladdyseværktøj. Dysen afleverer folien ned mellem køle- og trykvalsen. Der smeltes folien sammen med et eller to lag af anden type materiale, som kan være fx pap, stofvæv, fin filt, alufolie eller anden type plastfolie. Produkterne kan senere forarbejdes til fx mælkekartoner, regntøj, termoformede indsatser i smykkeæsker, kaffeposer osv.

Kalandring

Kalandring er en valsning af en folie/plade. Materialet tilføres kalanderen fra en ekstruder, fx en dobbeltsnekkeekstruder eller en planetvalseekstruder, hvis der er tale om PVC. Materialet tilføres i form af en lang, tyk "pølse" til åbningen mellem de to vandretliggende valser, kaldet kalanderen. Kalanderens valser er meget kraftige, da de skal være i stand til at forme/valse en folie ud af pølsen uden at bøjes under det store tryk, der er mellem valserne. Ovenpå, mellem valserne, ligger der til stadighed et overskud af plast, således at der ikke bliver huller i folien.



Rørfremstilling med fladdyse-værktøj

Fremstilling af rør eller kapper

Fladdyseanlægget kan også anvendes til fremstilling af store rør eller udvendig kappe på fx et isoleret rør. Fladdysen afleverer da et blødt bånd lidt på skrå på en matrice eller det isolerede rør, som drejes rundt. Kanten fra den forrige omgang holdes varm, eventuelt med en gasbrænder, for at sikre god sammensmeltning i samlingen.

Kantskæring

Ved pladeekstrudering opstår der et ret stort svind i pladebredden. Samtidig påvirker smelteindeks, masstemperatur og værktøjstemperatur molekyleorienteringen, som også påvirker svindet i den færdige plades bredde. Yderligere skal man være opmærksom på, at kanterne er afrundet, hvilket medfører, at spaltebredden og den færdige plade skal have et mindre overmål. Den afkølede plade passerer derfor to kantsave eller fræsere, som fjerner de overskydende kanter. Dette materiale føres ofte direkte til en knuser, hvorfra regeneratet blæses op i materialetragten, og det genbruges løbende.

Opstart af plade- og planfolieanlæg

Polér altid på tværs af plastens flyderetning.
Klargøring af linjen inden opstart.

1. Start valsernes tempereringsudstyr.
2. Start ekstruderen.
3. Kør eventuel knaldluft ud.
4. Opsaml spild i container/vandbad.
5. Før enden af folien/pladen ind igennem valserne. Brug kun blødt hjælpeværktøj og pas på fingrene.
6. Tilpas valsernes hastighed, således at der dannes en lille vulst af materiale mellem de to første valser.
7. Efterjustér eventuelt spalteåbning eller modtryksbjælke, eventuelt ved hjælp af varmeregulering.
8. Tilpas godstykkelsen - afstand mellem valser.
9. Tilpas valsetemperaturen for overfladens udseende, kold = mat, varm = blank.

Stop af plade- og planfolieanlæg

1. Skift om nødvendigt materialetype for at lette rengøringen af snekke, cylinder og værktøj.
2. Luk for materialetilførsel.
3. Opsaml spildet i container/vandbad.
4. Stop følgeudstyr.
5. Stop hovedmotoren, når cylinderen er tom (eventuelt kun i fødezone).
6. Sluk for varmesystemet.
7. Sluk for kølesystemet.
8. Luk for eventuel trykluft.
9. Sluk for udsugning.
10. Sluk for hovedkontakt.

Monofilamenter til fx boligtekstiler, gulvtæpper, sække, garn og snører til fiskeri, reb, tæpper og beklædning (Semex/MECCANICHE MODERNE)

Monofilamentekstrudering

Ordet monofilament er sammensat af mono (som betyder en/enkelt) og filament. Filament kommer af ordet fil, som er fransk og betyder tråd. Altså én tråd.

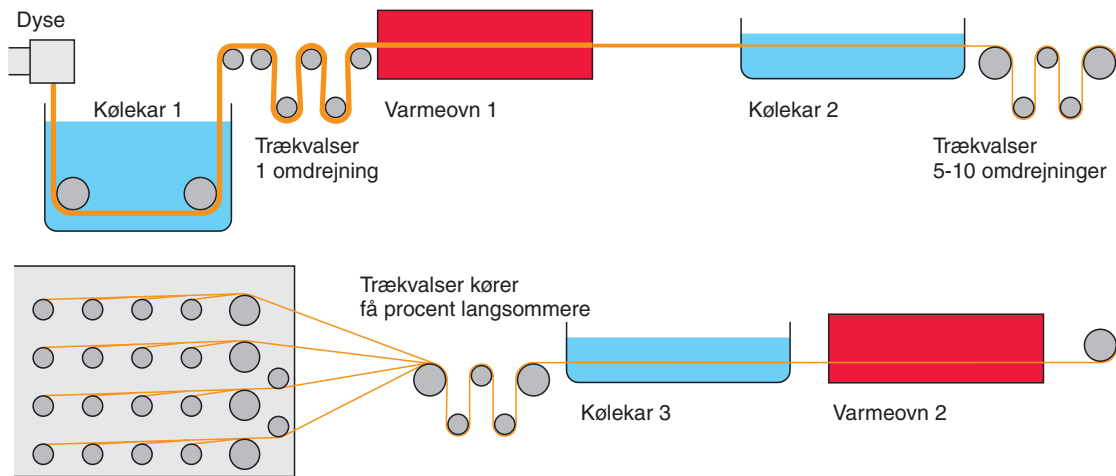
Processen foregår, ved at formgivningsværktøjet er udstyret med en plade med et passende antal huller. Ud gennem hvert hul ekstruderes en streng af smeltet plast. Plaststrengene ledes ned i et vandbad og afkøles. Efterfølgende opvarmes strengene igen i en ovn. Når strengene er varme, strækkes de op til ca. 10 gange den oprindelige længde, afhængigt af plasttypen.

Værktøjet

Ekstruderen er monteret med et nedadrettet værktøj med et ikke defineret antal huller, der former runde massive stænger/tråde/fibre med en diameter fra få μm til flere mm.



Monofilamenter på vej
gennem trækstation
og ind i varmeovn
(Semex/MECCANICHE
MODERNE)



Principopbygning af monofilamentanlæg

Virksomhederne anvender forskellige værktøjer til forskellige typer af plast. Samtidigt råder man over større og mindre værktøjer til forskellige diametre.

Ved at skifte matricen på det enkelte værktøj kan der produceres flere forskellige diametre, men kun inden for et begrænset område.

De materialer, der anvendes, kan være PP, PA, PMMA og PET som de nok mest kendte fra tekstilindustrien. Desuden ekstruderes PE samt nogle af de førnævnte til fiskesnøre, garn, børstehår og stive kostehår til fejmaskiner.

I ekstruderen trykkes det varme plastmateriale ud gennem værktøjet, hvor det passerer dysen med hullerne og kommer ud som massive tråde. Disse føres ned gennem et vandbad (kølekar 1). Et sæt af forskudte trækvalser efter vandbadet fastholder filamenternes hastighed.

Filamenterne føres gennem ovn 1 (vand eller varm luft), som blødgør filamenterne. Et sæt trækvalser, som har højere hastighed end valserne før varmeovnen, strækker filamenterne til tyndere fibre. Tynde fibre køles af den omgivende luft, mens tykkere fibre køles i kølekar 2.

Efterfølgende kan der være tilsluttet en ekstra ovn 2, hvis temperatur er højere end ovn 1's. Deri opvarmes fibrene til over plastens glasovergangstemperatur, hvorved dens "hukommelse" slettes, så den ikke mere kan vende tilbage til den oprindelige form.



Monofilamentanlæg

(Semex/MECCANICHE MODERNE)

Ekstruder med værktøj til otte monofilamenter, vandkasse og trækstation. Værktøjet er monteret med smeltepumpe.

I visse tilfælde kan det være nødvendigt atter at afkøle fi-bræne. Det foregår i kølekar 3. Trækvalserne efter kølekar 3 kører i nogle tilfælde med nogle få procent lavere hastighed. Derved opnår de før helt udstrakte molekyler at få lov til at trække sig en anelse sammen igen, hvorved man opnår en lille elasticitet i fiberen.

Tænk fx på en fiskesnøre. Den er elastisk indtil molekylerne er rettet helt ud, derefter brister den.

Opspoling

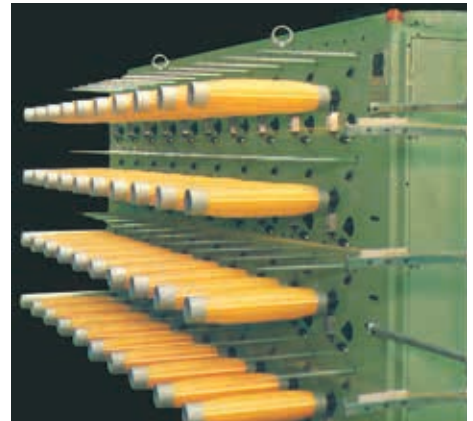
Filamenterne kan efterfølgende klippes i længder, der passer til fx kostehår, men spoles normalt op på ruller. Der kan ved nogle anlæg være over 100 spoler, som selvsagt skal skiftes, når de er fyldt.



Ekstrudering af tekstilfibre

(Semex/MECCANICHE MODERNE)

Ekstruderne står "på loftet" og afleverer ekstrudatet (fibre) i nedadgående retning. En ekstruder kan forsyne flere dyser. Undervejs køles fibre af kraftige køleblæsere. Antallet af fibre fra hver dyse kan være flere hundrede.



Spoleapparat

(Semex/MECCANICHE MODERNE)



Fibre fra de otte dyser samles på samme trækstation, inden de føres ind i varmeovnen.

(Semex/MECCANICHE MODERNE)

Opstart af monofilamentanlæg

Hvis der skal poleres huller i værktøjet, polér da altid på tværs af plastens flyderetning.

Klargøring af linjen inden opstart.

1. Klargør kølebade og ovne.
2. Start trækvalser og eventuelt spoleapparat.
3. Start ekstruderen.
4. Kør eventuel knaldluft ud.
5. Opsaml spild i container/vandbad.
6. Træk fibrene gennem kølebade, trækvalser og varmeovne.
7. Spol de enkelte fibre på hver sin rulle eller gennem klipperen.
8. Tænd for suger, som skal fange eventuelle bristede fibre.
9. Tilpas eventuelt strækket (aftrækshastighed).

Stop af monofilamentanlæg

1. Skift om nødvendigt materialetype for at lette rengøringen af snække, cylinder og værktøj.
2. Luk for materialetilførsel.
3. Opsaml spildet i container/vandbad.
4. Stop følgeudstyr.
5. Stop hovedmotoren, når cylinderen er tom (eventuelt kun i fødezonen).
6. Sluk for varmesystemet.
7. Sluk for kølesystemet.
8. Luk for eventuel trykluft.
9. Sluk for afsuger og udsugning.
10. Sluk for hovedkontakt.

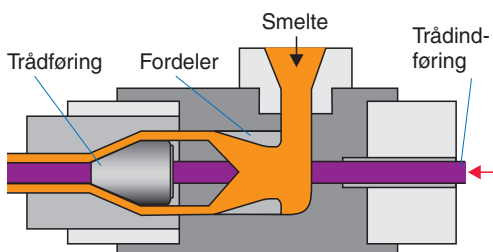
Kabelisolerings- og kapperørsekstrudering

Værktøjet

Ekstruderen er monteret med sidefødt rørværktøj, der kan forme et rør uden om fx en kobbertråd, et metalrør eller et bundt ledninger. Godstykkelse og diameter kan variere meget.

De materialer, der anvendes, kan være næsten alle typer af plast og i næsten alle hårdhedsgrader fra bløde belægninger til hårde og stive kapperør.

De produkter, der fremstilles ved denne proces, kan være så forskellige som isolering på små ledninger, hørerør og kapper uden om isoleringen på store fjernvarmerør.



Sidefødt værktøj



Præisoleret fjernvarmerør (Løgstør Rør A/S)



Ledninger og kabler (NKT Cables A/S)





Lyslederkabler
(Dagussa-Hüls AG)

Virksomhederne råder over værktøjer til forskellige typer af plast. Samtidigt råder de over større og mindre værktøjer til forskellige diametre.

Ved at skifte den gennemborede inderdorn og yderring (nippel og matrice) kan man desuden på det enkelte værktøj producere med flere forskellige diametre og godstykkelser, men kun inden for et begrænset område.

Ekstruderen trykker det varme plastmateriale ud gennem rørværktøjet, hvor det passerer rundt om niplen og kommer ud som en blød slange med samme diameter og godstykkelse som dysens spalteåbning.

Kobbertråden/metalrøret kan føres gennem niplen lidt hurtigere, end ekstruderen afleverer plastrøret udenom. Derved trækkes det ekstruderede rør ind omkring emnet. Der skal dog tages hensyn til, om der er risiko for, at røret/isoleringen trækker sig tilbage (på grund af det termiske svind), når ledningen klippes over.

Kappen kan også suges ind omkring emnet ved hjælp af vakuum. Køling og fiksering af kappens udvendige side foregår ved hjælp af en eller flere kølekasser fyldt med vand eller med en række brusere.

Ved produktion med sidefødt værktøj er der et problem, man skal have sin opmærksomhed rettet imod. Idet plasten kommer ind på siden af værktøjet og skal uden om emnet i midten, vil der blive en sammenflydning af de to materialestrømme på den modsatte side af værktøjet. Det er det samme problem som nævnt ved det sidefødte folieværktøj. Det er meget vigtigt, at temperaturen og trykket i værktøjet er tilpas høje. Sammenflydningen af de to materialestrømme må heller ikke forstyrres af ruhed eller belægning i værktøjet, hvilket vil skabe uensartet strømningsforhold i sammenflydningslinjen. Husk, at jo højere viskositet (sejhed) materialet har, jo vanskeligere er det at opnå en effektiv sammenflydning.

Opstart af kabelisolerings- og kapperørsanlæg

Polér altid på tværs af plastens flyderetning.

Klargøring af linjen inden opstart.

1. Før emnet gennem niplen og ind i trækbenken.
2. Tænd for vandkøling.
3. Start ekstruderen.
4. Kø eventuel knaldluft ud.
5. Opsaml spild i container/vandbad.
6. Klem plasten sammen omkring emnet.
7. Samtidigt startes trækbenken, tilpas hastigheden.
8. Tænd eventuelt for vakuum.
9. Centrér.
10. Tilpas godstykkelsen (aftrækshastighed).

Stop af kabelisolerings- og kapperørsanlæg

1. Skift om nødvendigt materialetype for at lette rengøringen af snekke, cylinder og værktøj.
2. Luk for materialetilførsel.
3. Opsaml spildet i container/vandbad.
4. Stop følgeudstyr.
5. Stop hovedmotoren, når cylinderen er tom (eventuelt kun i fødezonen).
6. Sluk for varmesystemet.
7. Sluk for kølesystemet.
8. Luk for eventuel vakuum.
9. Sluk for udsugning.
10. Sluk for hovedkontakt.

Trækbenken

Det nedkølede, færdige emne trækkes af aftrækket/trækbenken, hvis hastighed afpasses for at opnå den korrekte godstykkelse på kappen.

Godstykkelsen er i princippet den samme som ringspaltens åbning, men ved at trække en anelse hurtigere eller langsommere med aftrækket/trækbenken kan man inden for et mindre område justere godstykkelsen efter behovet. Det kan dog medføre visse produktionsproblemer og kvalitetsforringelser i produktet.

Sav eller afkorter

Det kappebelagte emne kan passere en afkorter, som aktiveres ved hjælp af en føler eller et målehjul. Når emnet er kortet af, kan længderne lægges i kasser eller rammer.

Opspoling

Blødere emner, opspoles på ruller og klippes måske manuelt for at undgå, at det ruller op igen.



Større sportsartikler fremstillet ved blæsestøbning

Her surfbræt, kajak og badebro. (BASF)

Blæsestøbning

Blæsestøbmaskinen

Ekstruderen opvarmer og blødgør plastgranulatet. Desuden skal der ske en effektiv miksning med eventuelle tilsætningsstoffer fx farve.

Ved blæsestøbning er man afhængig af emnets køletid. Dette medfører, at ekstruderen i mange tilfælde kører relativt langsomt, og derfor er det et absolut krav til snekken, at den, selv ved få omdrejninger udfører en effektiv plastificering af platen.

Da man således ofte ikke har mulighed for at tilpasse snekkeomdrejningerne således, at man opnår tilpas friktionsvarme, er snekkens udformning og de øvrige indstillinger meget vigtige parametre. Fx er råvaretemperatur, tilført varme, varmeprofil, traverskøling, snekkekøling, evt. notzonetemperatur, modtryk og hovedets temperatur altafgørende for et vellykket resultat.

Blæsestøbmaskinen består af en ekstruder, som opvarmer og blødgør plastgranulatet. Den blødgjorte plast ledes ind i et formgivningshoved, som former platen til en slange, ofte kaldet en strømpe eller en parison. Slangen ekstruderes normalt i nedadgående retning.

Formgivningshovedet vil her fremover blive benævnt som "slangehoved" eller blot "hoved".

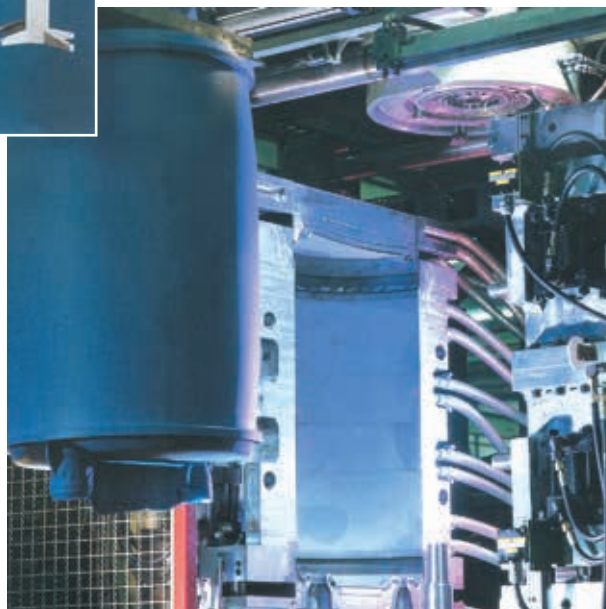
Formen til flasken eller emnet består af to halvparter, som kan åbnes og lukkes. Indvendigt er der et hulrum, der svarer til flaskens/emnets udvendige form, ofte med halsen eller åbningen opad. Formen køres i åben tilstand hen omkring den ekstruderede slange, som skal være lidt længere, end formen er høj.

I bunden klemmes slangen flad af formen, men i toppen stikker slangen op gennem halsåbningen i formen.

En klippe- eller skæreanordning eller en glødekniv klipper slangen over mellem slangehovedets dyse og flaskeformen.



Blæsestøbmaskine til fremstilling af flasker, små dunke og andre mindre emner (Bekum)



Blæsestøbning af tønde (BAFS)

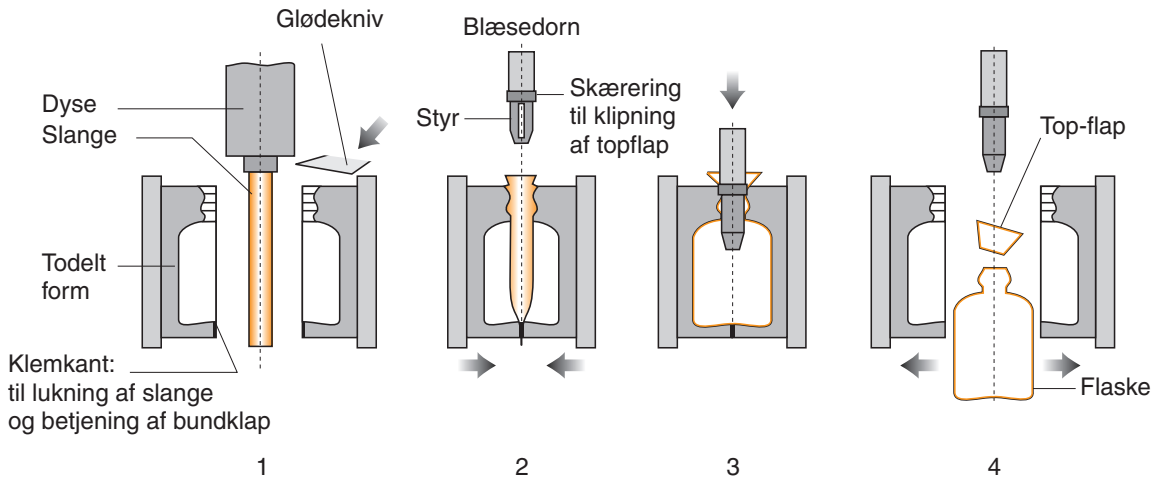
Et meget stort blæsestøbe-
anlæg til fremstilling af store
beholdere
(Bekum)



Formen med slangen indvendigt føres hen til en tryklufstdyse, også kaldet en blæsedorn. Blæsedornen går ned indvendigt i slangen, i halsåbningen, og derved presses det lidt for meget materiale ud i gevindet på flasken/formen. Trykluft blæses nu ind i slangen, og denne blæses op indvendigt i formen ligesom en ballon. Men på grund af formen udenom får "ballonen" altså form som en flaske.

Når flasken er kølet af, åbnes formen, og flasken falder ud.

Nu føres formen tilbage til slangehovedet, og lukkes omkring det stykke slange, som er ekstruderet i mellemtiden, slangen klippes over, og processen gentages.



1: Formen er i åben tilstand kørt hen omkring den ekstruderede slange.

2: Den lukkede form med det afklippede slangestykke er kørt hen under blæsedornen.

3: Blæsedorn med skærering har blæst slangen ud mod formvæggen.

4: Formen har åbnet sig, og den afkølede flaske samt bund- og topflap falder ud. Formen køres nu i åben tilstand over og henter et nyt slangestykke.

Gevindet opstår, ved at slangen er lidt for tyk. Derved presser kalibratorstykket på blæsedornen den overskydende plast ud i halsstykket på formen og danner derved gevindet.

Skæringen napper topflappen over og danner det flade anlæg på toppen af flasken, således at skruekapslen kan holde tæt mod flasken.

På flasken sidder nu den overskydende plast i top og bund. Disse benævnes som topflap og bundflap. Ofte er formen så god, og plasten så stiv, at top- og bundflap brækker af, når flasken falder ned på transportbåndet. I modsat fald må man manuelt brække dem af.

Processen kan automatiseres ved hjælp af et stanse-/maskeværktøj. En enkel støtteform, kaldet maske, griber og holder flasken, mens et tilpasset stanseværktøj, monteret på en luftcylinder, skubber/ stanter top- og bundflap af.

Hvis der er håndtag på flasken/dunken, bliver den del af plasten, som sidder i hullet ved håndtaget, også udstanset.

Symboler (Bekum)



Form



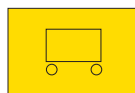
Form åben



Form lukket



Form lukkeforsinkelse



Vogn



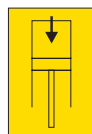
Vogn op



Vogn ned



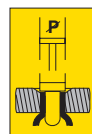
Opblæsning



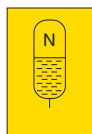
Trykluft



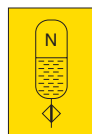
Kalibrering



Dornafkastning



Hydraulik-akkumulator



Hydraulik åben



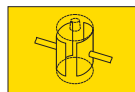
Hydraulik lukket



Kølevand ind



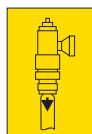
Kølevand retur



Maske



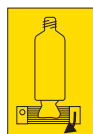
Topafskæring i form



Støtteluft



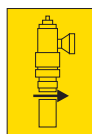
Godstykkesregulering



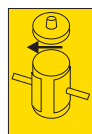
Bundflap-afriver



Topflap-afriver



Afklipe



Afskæring i stanse



Stanse i maske

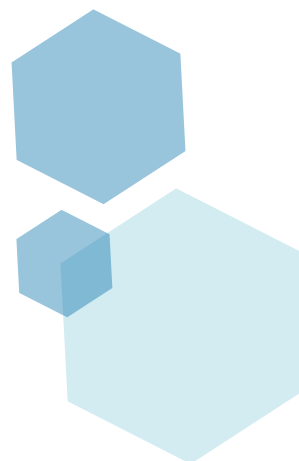


Bundafskæring

Symboloversigt

På de fleste maskiner anvendes en række symboler på kontrolpanelerne. Disse symboler kan være forskellige fra det ene maskinfabrikat til det andet, men der er ofte en vis lighed alligevel.

Til venstre gengives en række symboler, som samtidigt illustrerer de fleste af de beskrevne delelementer på maskinerne.





Lågen ind til hoved og form virker som sikkerhedsskærm. (Bekum)

Sikkerhedsskærm

Inden man kommer ind til slangehoved og form, må man åbne en sikkerhedsskærm, som påvirker maskinens automatik. Det betyder, at hvis skærmen åbnes under produktion, vil maskinen gå i stå. Desuden er det ikke muligt at betjene luft- og hydraulikstyrede bevægelser, fx form, kniv og blæsedorn, mens sikkerhedsskærmen er åben.

Det virker besværligt, at man skal lukke skærmen, hver gang man skal afprøve en funktion. Men det vil før eller siden medføre voldsomme skader på personer, der betjener maskinen, hvis man tilsidesætter sikkerheden. Derfor, både for ens egen og andres sikkerhed, er det meget vigtigt, at der ikke foretages blokering af sikringskontakterne.

Slangehovedet

Slangehovedet, som skal forme slangen, vender ofte dysen nedad. Ekstruderen er derfor normalt placeret ret højt oppe.

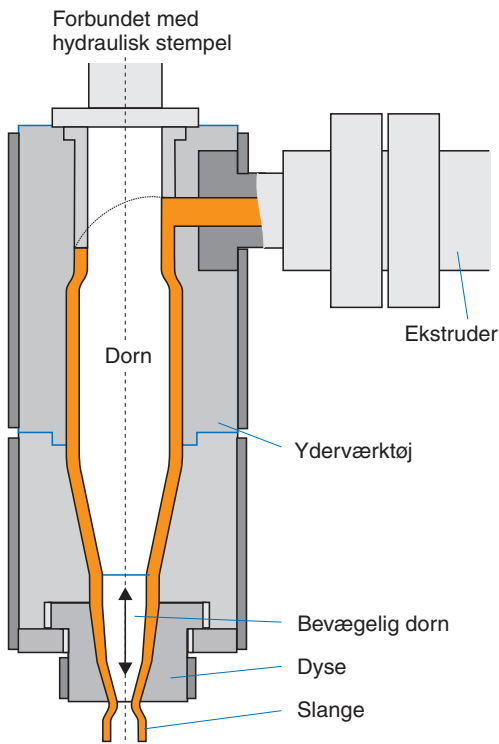
Slangehovederne kan forme en slange med diameter fra få millimeter til mange centimeter. Slangen kan fremstilles med godstykkelser fra langt under 1 mm og opefter.

Blæsestøbevirksomhederne råder normalt over hoveder til forskellige typer af plast. Samtidigt råder de over større og mindre hoveder til forskellige diametre.

Ved at skifte inderdorn og yderring (dorn og dyse) kan man desuden med det enkelte hoved producere flere forskellige diametre og godstykkelser, men kun inden for et begrænset område.

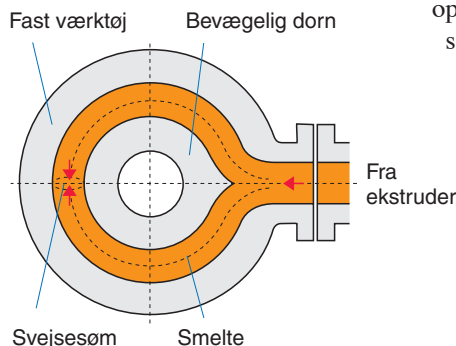
Noget helt specielt ved blæsestøbning er, at inderdorn og yderring kan forskydes i længderetningen i forhold til hinanden. Derved skabes mulighed for at variere godstykkelsen på grund af dornens og yderringens koniske udformning. Forskydningen sker typisk ved hjælp af et hydraulisk stempel, som er placeret på toppen af hovedet.

Hovederne kan deles i to hovedgrupper: Det sidefødte, som har bevægelig dorn, og det bundfødte, som har bevægelig dyse.



Sidefødte slangehoved med bevægelig dorn
Bemærk den koniske dorn og dyse.

Slangehoved med bevægelig dorn
Her fremkommer en svejsesøm, når plaststrømmene mødes på modsatte side af dornen.

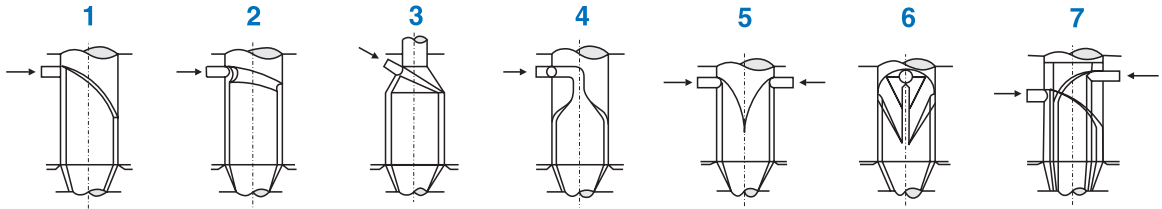


Sidefødte slangehoved

Det sidefødte hoved har bevægelig dorn, hvilket betyder, at dornen går hele vejen op gennem hovedet og op til hydraulikcylinderen, som sidder på toppen af hovedet.

Plasten kommer således ind gennem siden af hovedet og skal bevæge sig på begge sider rundt om dornen og mødes på modsatte side.

Det resulterer i en svejsesøm/sammenflydningsøm i plasten.



Forskellige udformninger af dornen for at opnå bedst mulig sammenflydning af plasten

1. Dorn med hjertebladsudformet fordeler.
2. Fordelerkanal med kileformet fordeler.
3. Fordeler i konussektion.
4. Fordeling i to diametralt modsatte kanaler.
5. Dobbelt hjertebladsudformet fordeler til fremstilling af to-farvet slange.
6. Fordeler med kanal for transparent stribe.
7. Dobbelt hjertebladsudformet fordeler til to-lags slange (coating).

Ved letflydende materialer vil der sjældent være problemer med denne søm. Men ved sejtflydende materialer kan der ofte være problemer med at få en holdbar søm. Ofte vil der også være misfarvning af materialet i sømmen, hvilket kan skyldes, at materialet flyder langsommere der, hvor det berører hovedets flader. Langs skillevæggen, hvor de to materialestrømme mødes, glider materialet normalt langsommere, og ofte vil dette medføre forlænget opvarmning af plasten og dermed begyndende nedbrydning eller misfarvning.

Ekstra tilførsel af varme til dette område af hovedet kan være en mulig løsning på problemet. Derved mindses gnidningsmodstanden mod metallet. Men efter at have passeret uden om dornen skal plasten flyde sammen igen. Derfor er hovedet udført med god plads i toppen af hovedet. Dette forstørrede rum mindses ned mod dysen for at opnå en trykstigning omkring materialet, således at det presses sammen til en sammenhængende masse.

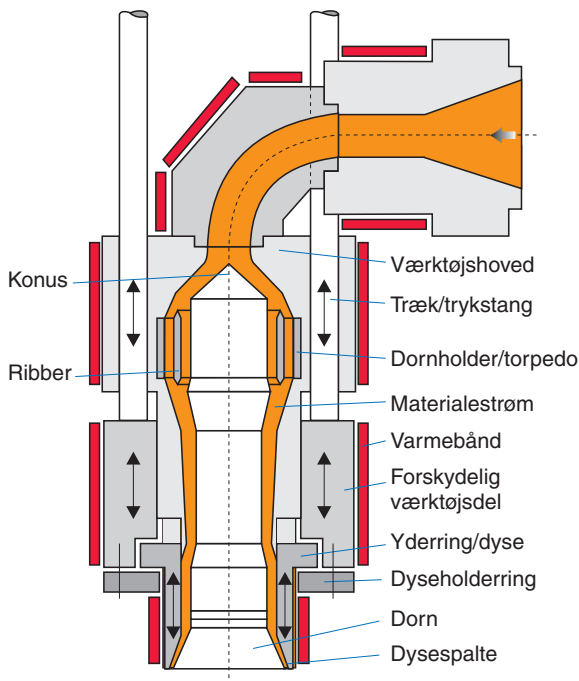
Man må dog altid være opmærksom på, at hvor plastsmelten har været skåret op, er der risiko for en dårlig svejsesøm/sammenflydningsøm.

For at lede plaststrømmingen mest muligt ensartet er der udviklet dorn-typer med forskellige strømningskanaler. Mest anvendt er nok hjerteformet strømningskanal.

En ting, man skal tage hensyn til ved det sidefødte hoved, er, at strømmingen vil finde sted, hvor der er kortest mulig vej til dysen, hvilket bevirker, at plasten har en tendens til at løbe hurtigere ned langs indløbssiden af dornen. Slangen vil da umiddelbart blive tykkere i indløbssiden.

Bundfødt slangehoved

For at undgå svejsesømmen kan man anvende et bundfødt hoved. Her fordeles plasten rundt om dornen ved hjælp af en konus. Konussen udgør starten på dornen, dernæst kommer dornholderen, også kaldet en edderkop eller en torpedo, og derefter selve dornen, som former hullet i slangen.

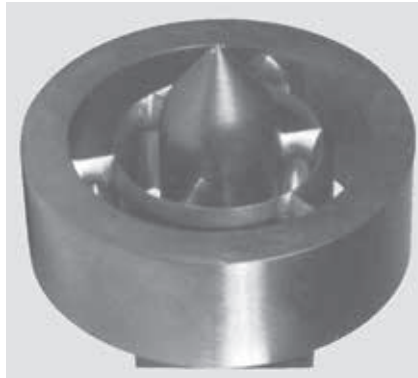


Bundfødt slangehoved med dornholder, mange steder også kaldet torpedo

I dornholderen er der en række huller eller spalter, som plasten flyder igennem. Derved deles plasten op i en række strimler eller strenge, men de flyder sammen igen efter at have passeret dornholderen. De ribber eller huller, som plasten flyder igennem, kan være udformet på flere måder.

Der kan være en sproglig konflikt, da begrebet “bundfødt” stammer fra folieindustrien. I virkeligheden burde det nok i blæsestøbeindustrien kaldes “topfødt” slangehoved, da hovedet ofte ekstruderer slangen i nedadgående retning.

På tysk kaldes det “dornholderslangehoved”. På engelsk kaldes det “torpedohoved”.



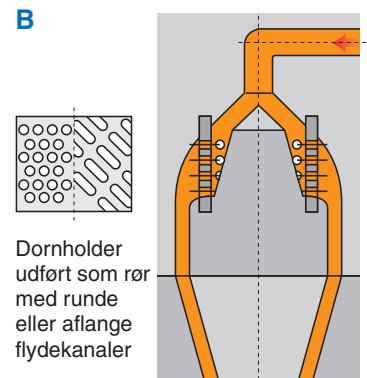
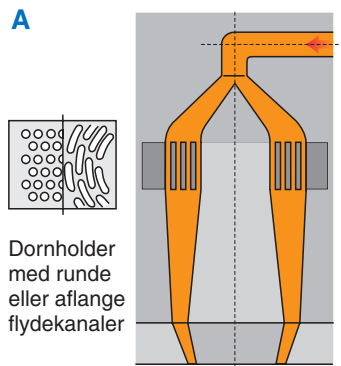
**Dornholder/torpedo med
2 × 3 flydekanaler
(BASF)**

De to rækker tre-delte ringspalter er forskudt i forhold til hinanden.

**Slange udtaget fra hoved
med 2 × 3 flydekanaler
(BASF)**

Slangen er udtaget under farveskift, og derfor ses det tydeligt, hvorledes de 2 × 3 materialestrømme flyder med uens hastighed og dermed uens fordeling.

- A. To varianter af flydekanaler i dornholder
B. Rørdornholder med flydekanaler i to varianter



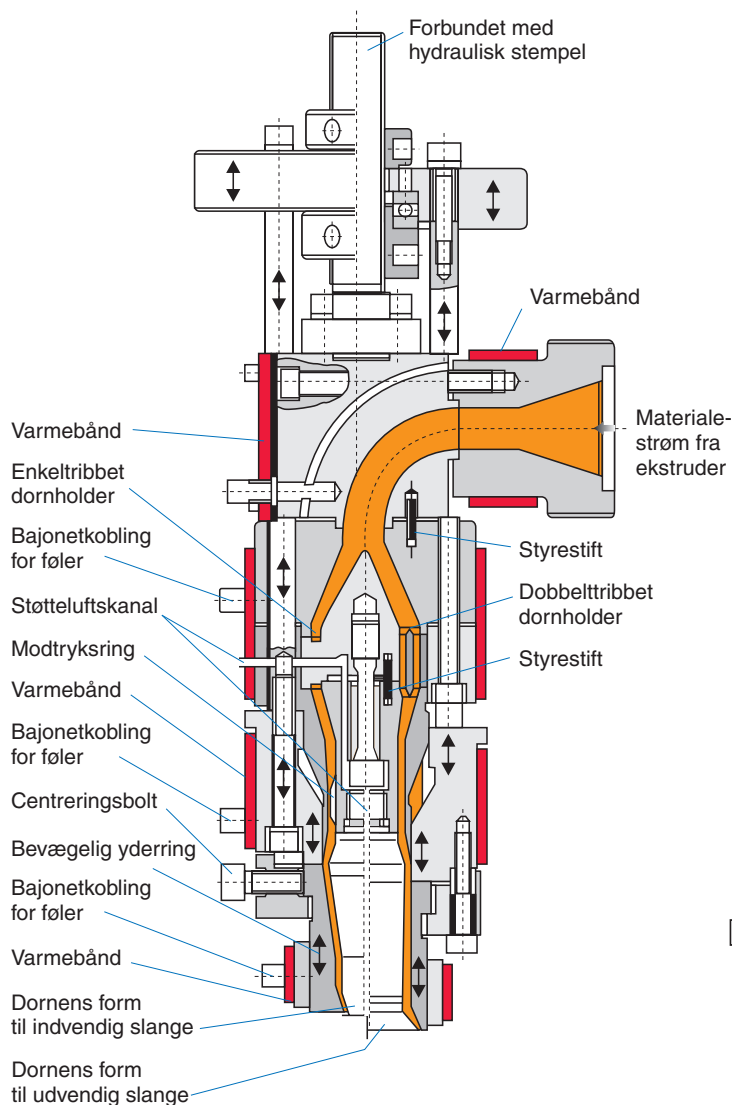
I sagens natur skal dornen fastholdes på en eller anden måde, hvilket gøres ved hjælp af dornholderen, som er udformet med en række huller, således at plasten kan passere. Men efter dornholderen skal plasten flyde sammen igen. Derfor er hovedet udført med god plads efter dornholderen. Dette forstørrede rum mindskes ned mod dysen for at opnå en trykstigning omkring materialet, således at dette presses sammen til en sammenhængende masse.

Man skal igen være opmærksom på, at hvor plasten har været skåret op, er der risiko for kvalitetsforskel i forhold til den øvrige del af emnet.

Nogle hoveder er udført med to rækker flydekanaler. Baggrunden for at anvende dornholdere med to rækker flydekanaler, eller på nogle hoveder endda tre, er at undgå gennemgående sammenflydningsømme i slangen. Enhver svejsesøm bevirker en risiko for, at slangen får uens udstrækning ved opblæsningen i formen. Uens strækning vil medføre tynne stribes/områder i emnet.

Modtryksring

For at skabe tilpas højt tryk i hovedet, således at der opnås bedst mulig sammenflydning, og for at modvirke at plasten flyder den korteste vej til dysen i et sidefødt hoved, er der i nogle hoveder udformet en forsnævring. Denne forsnævring kan være udformet som en udskiftelig modtryksring.



Sidefødt hoved med udskiftelig modtryksring
Der kan i nogle hoveder centreret både på dysen og på modtryksringen.

Bundfødt hoved

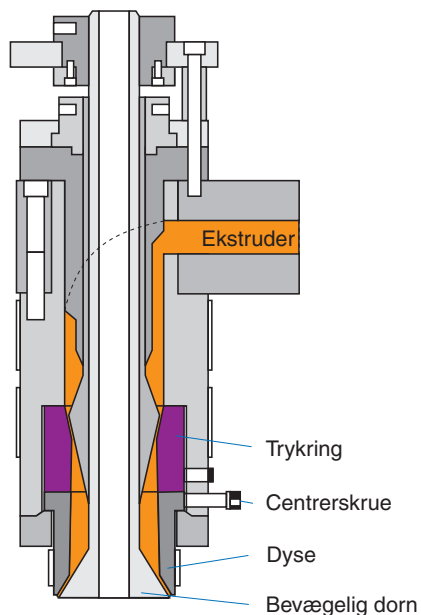
Billedet skal betragtes som to forskellige halvdele.

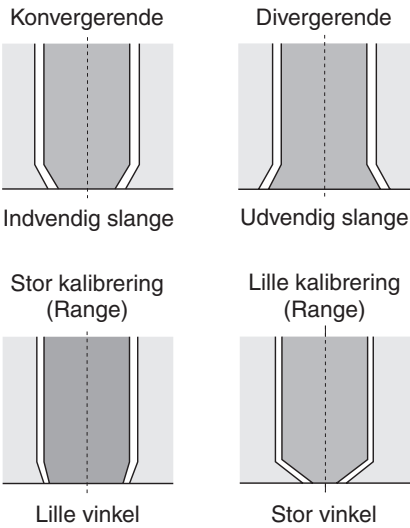
Venstre halvdel viser den bevægelige dyse i top og til indvendig slange (indgående dorn). Desuden vises dornen med modtryksring. Dornholderen vises med én række flydekanaler.

Bemærk også støtteluftskanalen. Det er vigtigt, at den ikke fyldes med smeltet plast eller på anden måde blokeres.

Højre halvdel viser den bevægelige dyse i bundstilling og til udvendig slange (udgående dorn). Dornholderen vises her med dobbelte flydekanaler (to rækker).

Bemærk også styrestifterne, som skal sikre, at man vender hovedets dele korrekt, og at visse af hovedets dele ikke drejes rundt ved fastspænding.





Dysetyper

Dysen

Dysen kan have mange udformninger. Som udgangspunkt arbejder man med to typer dyser til henholdsvis indvendig og udvendig slange. Ved indvendig slange har dornen afsluttende form i indadgående retning. Ved udvendig slange har dornen form i udadgående retning.

Indvendig slange anvendes normalt til runde emner med mindre diameter og uden håndtag.

Udvendig slange anvendes som udgangspunkt til større emner, flade emner og emner med skillerum fx håndtagsdunke.

Dysesæt med stor vinkel er meget følsomme ved justering. Samtidigt vil slangen ofte forsøge at trække sig tilbage til den oprindelige størrelse på grund af plastens "hukommelse".

Det er meget vigtigt at være opmærksom på, hvilken type dyse der anvendes, når man skal foretage justeringer under processen. Som sagt kan dorn og dyse bevæges op og ned i forhold til hinanden. Det kan som før nævnt ske ved hjælp af en hydraulisk cylinder, som er anbragt på toppen af hovedet. Hvis justeringer foretages forkert, kan dorn og dyse lukkes mod hinanden med risiko for, at der lukkes for materialestrømmen. Lukningen kan i værste fald medføre sprængning af hovedet. Desuden er der fare for, at dorn og dyse skader hinanden.

Centrering

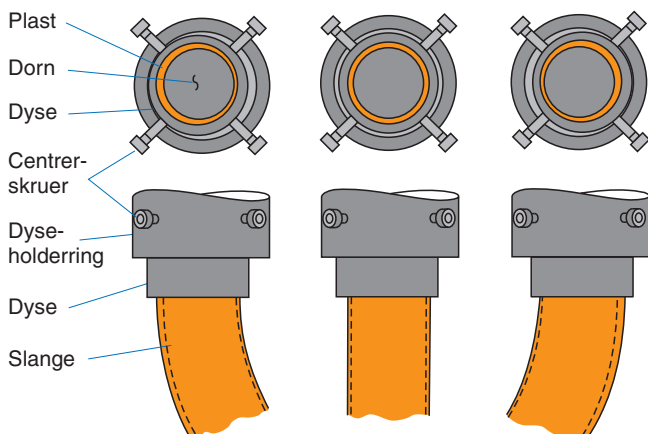
For at opnå ensartet godstykkelse på slangen er det muligt at flytte cirku-lært på dysen eller - i nogle hoveder - på dornen. Til dette formål er der anbragt et antal centrerskruer, ofte fire eller flere til styring af dysens placering i forhold til dornen. Dysen er placeret i en dyseholderring med større åbning end dysens diameter. Derved er det muligt at flytte dysen inden for dette område.

Hvis dysen er ude af centrering, vil slangen blive tykkere og flyde hurtigst der, hvor der er mest plads.

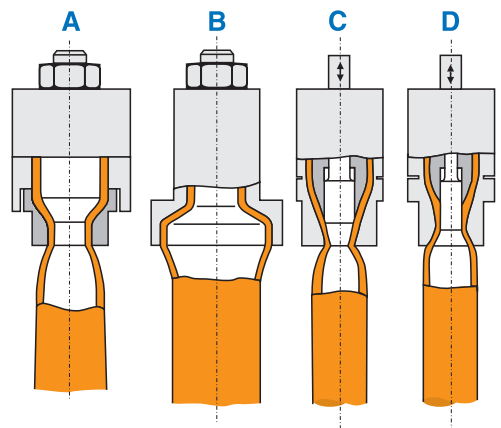
Ekstruderen trykker det varme plastmateriale gennem slangehovedet, hvor det forlader dysen, og kommer ud som en blød slange med cirka samme diameter og samme godstykkelse som dysens spalteåbning.

Centreringens betydning for slangen

Den midterste er i orden.



Her ses, hvorledes slangen forsøger at trække sig tilbage til sin oprindelige diameter og godstykkelse efter den forholdsvis bratte indsnævring eller udvidelse ved dyseåbningen.



Grunden til at slangen ikke bliver præcis som dysens spalteåbning, er, at når dysesættet er konisk, kan det give en større eller mindre diameter end dysens, afhængigt af om dysen er konisk i indadgående eller i udadgående retning.

På grund af den meget korte glattezone (oftest konisk) ved dysen, og på grund af plastens "hukommelse", vil slangen forsøge at gå tilbage til den størrelse, den fik på det længere stykke oppe i hovedet. Desuden vil godstykkelsen søge tilbage til den større godstykkelse på grund af den korte glattezone.

Følgende skema giver et fingerpeg om, hvor stor tendens plasttyperne har til at "huske" den oprindelige størrelse.

Ændring af slangediameter i forhold til dysediameter

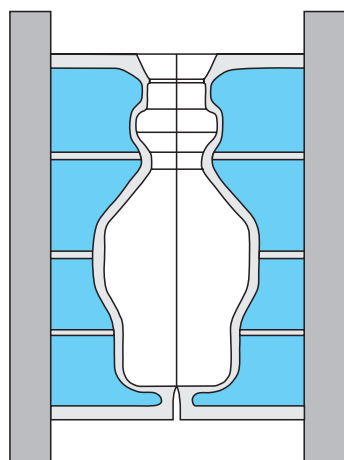
Plasttype	Ændring
PEHD, meget afhængigt af typen	15-65 %
PELD	30-65 %
PVC, stiv	30-35 %
PS, generelt	10-20 %
PC	5-10 %

Profileret slange

Når slangen bliver blæst ud imod formen, bliver godstykkelsen mindre. Hvis det er et emne, der varierer meget i diameter, kan slangen, eller rettere det færdige emne, blive endog meget tynd i de store områder. For at imødegå dette, kan slangens godstykkelse gøres større der, hvor emnet har større diameter. Det er faktisk muligt at variere slangens godstykkelse, så den passer til emnets forskellige diametre.

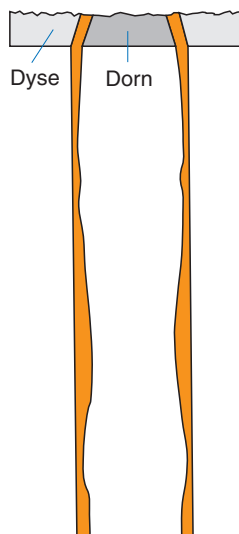
Ved hjælp af det forskydelige og koniske kerne-/dysesæt er det muligt at tilgodese de forskellige behov for godstykkelser i det enkelte slange-stykke, som anvendes til fx en flaske.

Flaskeform

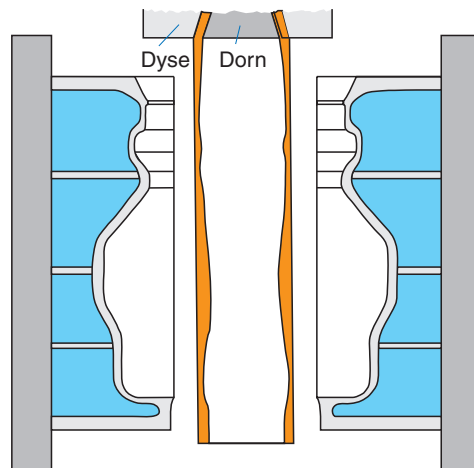


■ = Køling

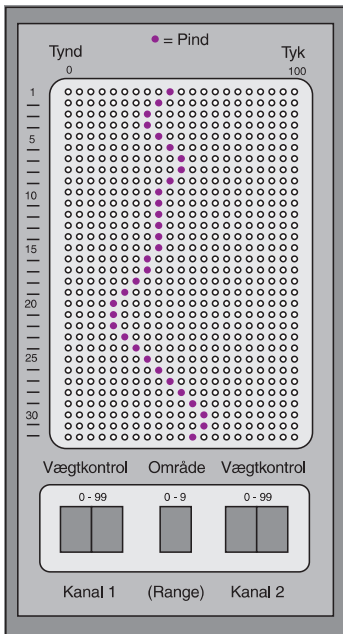
Profileret slange



Flaskeform med profileret slange



■ = Køling



Godsfordeling ved hjælp af Hunkar 320-styring

Pindenes placering angiver ønsket godstykkelse. Ved "0" er slangen tyndest, hen imod "100" får slangen større godstykkelse.

Vægtkontrol: Angiver, hvor mindste godstykkelse starter. Her bevares godstykkelsesforskellen, men godset bliver forholdsmeæssigt tykkere overalt ved højere værdi, og derved bliver flasken tungere og stivere.

Samtidigt skal ekstruderens (snekkens) hastighed øges tilsvarende, således at slangelængden bibeholdes.

Range eller kalibrering: Angiver, hvor stor bevægelse dysen foretager i forhold til pindenes placering. Ved range "0" foretager dysen slet ingen bevægelse. Ved "9" foretager dysen størst mulig bevægelse i forhold til pindenes placering.

På toppen af hovedet kan der være anbragt en hydraulisk eller luftstyret cylinder. Andre former for hæve-/sænkeanordninger findes selvfølgelig også. Denne hydrauliske cylinder eller hæve-/sænkeanordning skal styres til at hæve/sænke dorn eller dyse efter behov, for ændring af slangens godstykkelse.

Der kan være monteret en programmerbar styring til at styre dornens eller dysens vandring i længderetningen og dermed spalteåbningens størrelse.

Denne styring kan foregå ved hjælp af indsatte pinde i en hulplade (Hunkar), eller der kan være indbygget et program i maskinens styring (evt. edb-styring).

Cylinderens vandring op og ned følger den programmerede edb-styring eller pindenes placering i Hunkar-programmeringen.

Hunkar-styringen og lignende styringer virker på følgende måde: Først læser den pindens placering ud for linje nr. 1, og den hydrauliske cylinder indtager en tilsvarende position, og spalteåbningen får en tilsvarende åbning. Dernæst læser den pindens placering ud for linje nr. 2, og den hydrauliske cylinder indtager en tilsvarende position, og spalteåbningen får en tilsvarende åbning. Dernæst læser den pindens placering ud for linje nr. 3, og den hydrauliske cylinder indtager en tilsvarende position osv.

Når den har nået linje nr. 32, er cyklussen færdig, formen er åben og er på plads omkring slangen. Formen lukkes, kniven klipper slangen over, og cyklussen starter forfra.

Under programmeringen skal man huske på, om ekstruderen altid le-verer den samme mængde materiale. Det betyder, at hvis slangen i et område skal være tynd, vil den her komme meget hurtigt ud af dysen. Hvorimod slangen vil ekstruderes langsomt, når den skal være tyk. Derfor skal der være relativt få markeringer for tynde områder i forhold til længden af emnet. Og der skal være relativt mange markeringer for tykke områder i forhold til områdets længde på emnet.

Ydermere skal man ved mange programmeringer være opmærksom på, at profileringen i programmeringen skal være omvendt, eller "vende på hovedet". Det skal forstås sådan, at den tykkelse slangen får ud for linje/pind nr. 1, er det stykke på slangen, der når længst væk fra dysen, når slangen klippes over, og tykkelsen ved linje/pind nr. 32 vil være tættest på dysen.

En faktor, som også spiller en rolle, er, at vægten af slangen kan trække slangen nedad, mens denne ekstruderes. Det bevirker, at der i visse situationer skal kompenseres med et ekstra tykt område ud for disse strækninger/flydninger. Dette problem er selvfølgelig størst ved de lavviskose/letflydende materialer.

Man skal huske at skifte status på profileringsstyringen, når der skiftes fra indvendig slange til udvendig slange. Bevægelserne i hovedet skal da være modsatte. Det gøres ofte ved at skifte på en vippekontakt inde i styreresskabet, eller i pc/edb-programmet.

Vægtkontrol

Hvis der findes "vægtkontrol" i programmeringen, betyder dette, at dysen foretager de samme bevægelser, blot ud fra et andet udgangspunkt. Dette medfører, at hele slangen bliver forholdsmeæssigt tykkere eller tyndere.

Her vil der således være behov for at øge eller sænke ekstruderens hastighed tilsvarende. Ellers bliver slangen for lang eller for kort.

Vandring (Range)

På nogle styringer kan hydraulikcylinderens vandring reguleres. Når profileringen er sat, konstaterer man måske, at godstykkelsen passer på de tynde områder i emnet, men på de tykke områder er godstykkelsen for lille. Dette indebærer, at slangen skal være endnu tykkere, hvor den i forvejen er tyk. Hvis man hæver reaktionsværdien (Range), vil hydraulikcylinderen derefter foretage endnu større vandring i forhold til pindenes placering.

Husk, at det vil være nødvendigt at hæve ekstruderens hastighed tilsvarende.

Et andet hensyn der skal tages, er muligheden for vakuumdannelse i hovedet. Når dorn og dyse er koniske, og man hæver/sænker disse i forhold til hinanden, vil hulrummet mellem dorn og dyse blive større/mindre. Hvis fx dornen er spids, og den hæves for at opnå tykkere gods, vil den første mængde, der kommer fra ekstruderen, gå til at udfylde dette forstørrede hulrum. Derved vil slangen gå i stå et kort øjeblik.

Hvis dornen bevæger sig for hurtigt opad, og materialetilstrømningen er for langsom, vil der være risiko for, at der opstår vakuum i hovedet. Slangen eller luft suges op i hovedet, og procesforløbet ødelægges af knaldluft eller en skæv slange.

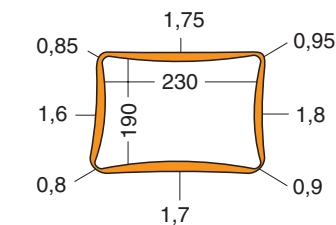
Ovaliseret eller profileret dyse

Ovaliseret eller profileret dyse, begge begreber bruges, dækker her over dornens eller dysens form. Til kantede emner kan det være nødvendigt at ændre formen på den ellers normalt runde dorn eller dyse.

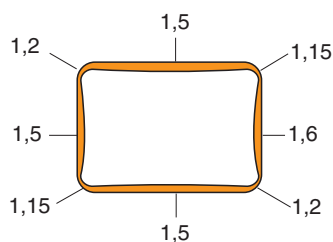
Hvis det er et firkantet emne, kan det være nødvendigt at slibe dorn eller dyse delvis firkantet, således at der opnås tykkere områder på slangen, hvor denne skal blæses længst ud.

Denne tilretning af dorn eller dyse skal overlades til værktøjsmageren, da der ellers er meget stor risiko for at ødelægge dem for bestandigt.

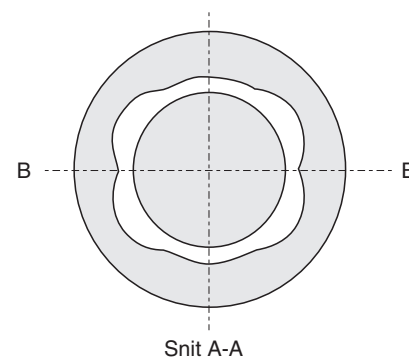
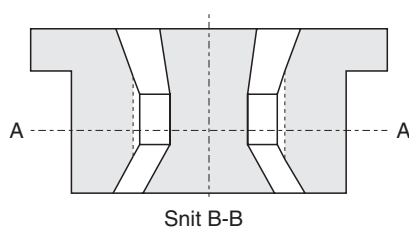
Men hvis man skal montere et dorn-/dysesæt, som er ovaliseret, er det vigtigt at vide, at delene skal vendes rigtigt, således at de langsgående, tykke "striber" er placeret korrekt i forhold til emnet.



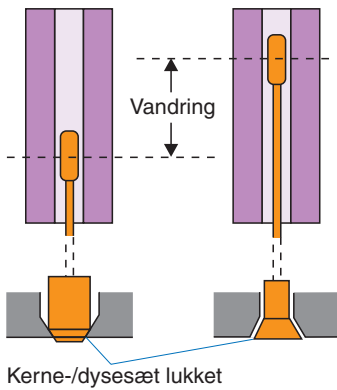
Uden ovaliseret dyse



Med ovaliseret dyse



Godstykkelsen på færdige emner før og efter ovaliseringen
Til højre ses, hvorledes profileringen af dysen er placeret midt oppe i dysen.



Indstilling af positionsføleren skal foretages, således at bundstillingen i positionsføleren svarer til mindste godstykkelse på hovedet til indvendig slange.

For udvendig slange skal top-positionen i positionsføleren svare til mindste godstykkelse på hovedet til udvendig slange. Kan også være modsat, hvis positionsføleren er monteret på bevægelig dyse.

Positionsføler

Med positionsføleren kontrolleres, at hydraulikcylinderen står i den position, som signalerne fra profileringsprogrammet har givet. Den er placeret sammen med hydraulikcylinderen, der bevæger enten dorn eller dyse. Når cylinderen bevæger sig, flytter en forbindelsesstang en lille signalgiver, der sidder inden i positionsføleren.

Positionsføleren omtales ofte som LVDT'en, Linio-tasten, positioneringsføleren eller induktivaftasteren.

For at sikre at hele bevægelsesområdet i positionsføleren kan udnyttes, skal den grundindstilles, når der foretages udskiftninger i hovedet med kortere eller længere kerne-/dysesæt.

Hvis man derimod altid kører med samme længde dorne og dyser, er det normalt ikke nødvendigt at stille på positionsføleren.

Støtteluft

Ind i hovedet og ned igennem dornen er der normalt boret en kanal til støtteluft. Dermed er der mulighed for at blæse støtteluft/trykluft ned gennem slangen. Mængden af gennemstrømmende luft kan reguleres.

Desuden kan man på nogle anlæg give slangen ekstra støtteluft ved afklip. Støtteluften kan være med til at køle og dermed stivne slangen en lille smule. Det kan i visse situationer forhindre, at slangen klapper sammen eller strækker sig, hvis den har tendens til det.

Når slangen bliver klippet over, er der risiko for, at den klemmes flad af kniven. Her er det en fordel at give ekstra støtteluft. Hvis slangen klemmes flad eller klapper sammen, vil blæsedornen ikke kunne komme ned i halsåbningen.

Under afklippet er formen lukket, og slangen er dermed klemt sammen i bunden af formen. Derved er det muligt at blæse slangen en lille smule op, således at kniven eller saksen ikke klemmer og lukker toppen af slangen.

Afklip

Afklippet kan være indrettet på flere måder. Alt afhængigt af de plasttyper, der anvendes, kan man vælge at anvende enten kniv, saks eller glødekniv. Til de plasttyper, som ikke så let klæber sammen indvendigt, kan man anvende kniv eller saks. Men til de plasttyper og blandinger, som har tendens til at klæbe, anvendes ofte glødekniv eller glødetråd.

Vognen/slæden

Formen er anbragt på en såkaldt vogn eller slæde. Vognen med formen kan bevæge sig frem og tilbage mellem slangehovedet og blæsedornen.

Det er vigtigt, at vognen, og øvrige bevægelige dele holdes velsmurt for at undgå slitage og ustabile bevægelser.

Centrering af ekstruderen

Noget helt specielt ved næsten alle blæsestøbeanlæg er, at ekstruderen kan flyttes og justeres i højden, til siden og frem og tilbage. Behovet for dette opstår, ved at formplan og vognen, som formen er placeret på, sidder på nogle meget kraftige styre- og glidestænger, der er fast placeret på maskinens fundament.

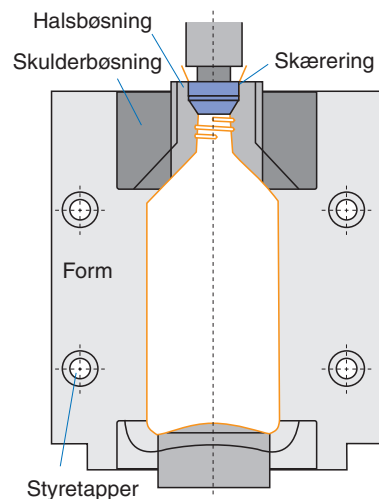
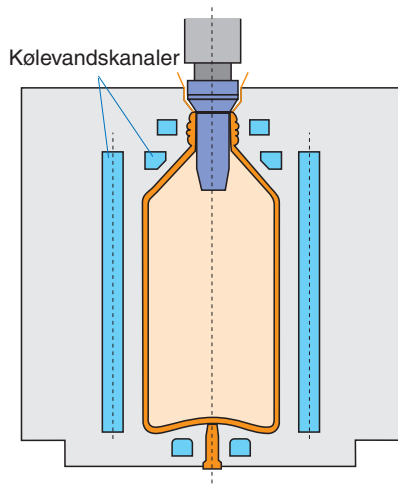
Da slangehovedet er monteret direkte på ekstruderen, vil dysens placering følge ekstruderens, når man flytter denne. Derved er det muligt at få justeret ekstruderen således, at slangen afleveres præcis ned i midten af formen. I visse tilfælde ved specielle emner kan det også være nødvendigt at ekstrudere slangen ned i den ene side af formen.

Formen

Udformning af formen er helt individuel og efter behov. Det vil være en umulig opgave at beskrive alle detaljer, der findes omkring formene. Der udvikles hele tiden nye ideer og metoder, men der er selvfølgelig nogle generelle principper og ting, man skal være opmærksom på.

Her tages udgangspunkt i en flaskeform med gevind, hvor halsåbningen vender opad.

Flaskeform set fra to sider



På blæsedornen er der monteret en skærering, som skal gå så præcist ned mod halsåbningen i flasken, at det stykke af slangen, som stikker op af formen, netop bliver nappet/skåret af. Samtidigt bliver flaskens hals/gevindstykke flad på toppen, således at kapslen kan holde tæt.

Formmateriale

Selve formen er ofte lavet af en aluminiumlegering, men alle metaller kan i princippet bruges. Det kan være det antal emner, man forventer formen skal lave, der afgør, hvilket materiale formen bygges af. Hvis man forventer, at formen skal fremstille flere millioner emner, vælger man ofte at anvende et formmateriale, som har lang levetid, god køleeffekt og vejer mindre, hvis det er en stor form.

Det betyder meget, at formen er god til at lede varmen væk, da køletiden er afgørende for, hvor hurtigt emnet kan fremstilles.

Styretapper

På den ene formpart er der anbragt et antal styretapper, typisk fire, og i den modsatte formpart et tilsvarende antal huller. I hullerne er der som regel anbragt udskiftelige bøsninger.

Det er vigtigt, at styretapper og huller smøres regelmæssigt med fedt.

Formens indvendige overflade

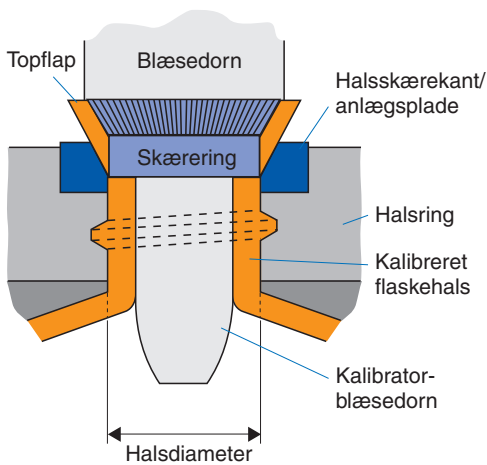
Hulrummet i formen rummer alle detaljer, som er synlige på flasken. Der kan være tale om ophøjet tekst eller graveringer. Formen kan være højglanspoleret, almindeligt blank, mat eller endog nopret indvendigt, eller med en kombination af flere af overfladebeskaffenhederne. Tænk blot på udvalget af parfume flasker. Mange af dem ligner til forveksling glasflasker. Nogle ligner sandblæst glas.

Det er særdeles vigtigt, at man ikke beskadiger formens indvendige overflade. Den mindste berøring med et stykke håndværktøj vil afspejles i formen, og dermed i emnerne.

Udluftningshuller

I formen kan der være boret meget små udluftningshuller, således at luften inde i formen, der er uden om slangen, kan komme ud, når slangen blæses op. Dog vil ruheden i overfladen af formen ofte kunne bortlede luften hen til samlingen, hvor formparterne mødes. Samlingsplanerne har en ruhed, der tillader luften at undvige.

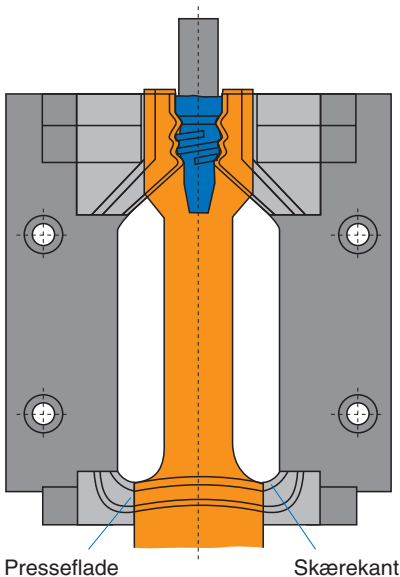
Hvis der er problemer med indadgående buler i emnet på grund af indespærret luft, bør eventuelle udluftningshuller efterses og renses. Hvis der ingen huller er, er det sandsynligvis nødvendigt at affedte formen. Snavs og belægning indvendigt i formen kan være årsag til indespærret luft.



Skæreringen napper topflappen over og danner det flade anlæg på toppen af flasken, således at skruerkapslen kan holde tæt mod flasken.

Gevindet opstår, ved at slangen er lidt for tyk. Derved presser kalibratorstykket på blæsedornen den overskydende plast ud i halsstykket på formen, og derved dannes gevindet.

Slangen ligger fladklemt i top og bund af formen
Bemærk pressefladen.



Skæreplade og skærekanter

På toppen af formen sidder skærepladen. Når blæsedornen går ned indvendigt i slangen i flaskehalsen, går skæreringen, der sidder på dornen, ned imod skærepladen. Derved nappes/klippes den overskydende slangelængde af.

Blæsedornen skal gå så præcist ned imod skærepladen, at slangen nappes over, men uden at skærering og skæreplade beskadiges.

De områder i top og bund af formen, som lukkes omkring slangen, er udformet som skærekanter. Det er nødvendigt, når slangen er større i diameter end halsåbningen. Disse skærekanter skal være så skarpe og fine, at der ikke kommer grater udvendigt på flaskens "skuldre".

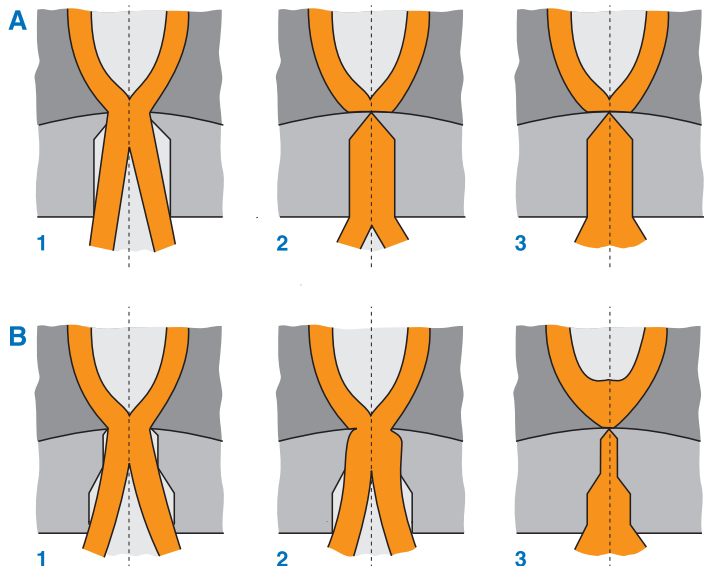
Desuden skal formen være udformet således i top og bund, at der er plads til den del af slangen, der ligger imellem formparterne. Hvis dele af slangen kommer uden for disse udfræsninger og kommer i klemme imellem de plane formparter, kan formen ikke lukkes helt, og maskinen bør stoppe på grund af formsikringen.

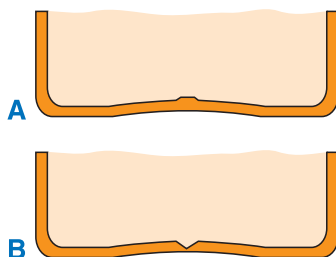
Hals/gevind

Normalt er hals- og gevindstykket i formen udskifteligt. Det skyldes, at skærekanterne med tiden slides. Desuden kan det være nødvendigt at skifte mellem forskellige størrelser på gevindet, afhængigt af hvilken plasttype man anvender. Kapslen er ofte en standardkapsel, man køber hos en underleverandør. Hvis man støber den samme flaske både i delkrystallinske og amorf materialer, vil der være stor forskel i størkningsvindet.

To forskellige forme under lukning

- En form uden presseflade. Bemærk den nedadgående kile i samlingen i billede 3. Her er der risiko for, at emnet revner i samlingen.
- En form med presseflade. Bemærk den kraftige svejsning i billede 3. På grund af pressefladen dannes en kraftig fortykkelse eller vulst ved svejsningen.





- A. Emne fra form med presseflade
B. Emne fra form uden presseflade



Udsnit af omvendt form til 25-liters dunk (BASF)

Her har man valgt at placere blæsedornen i bunden af maskinen.

Da tuden sidder i siden, skal slangen have så stor diameter, at den når næsten helt ud mod siderne i formen.

Bemærk de skarpe kanter i formen, som næsten napper den overskydende slange af.

Bemærk blæsedornen med skæring til venstre i billedet.



25-liters dunk (BASF)

Topflappen er endnu ikke udstanset.

Håndtaget bliver formet af to bevægelige, indbyggede kæber i formen, som under opblæsningen lukkes sammen omkring og under grebet. Den sammenpressede plast under håndtaget er udstanset.

Det betyder kort og godt, at en flaske i PE vil blive meget mindre i gevindstykket, end hvis man fx støber flasken i PVC. Derfor må man have to forskellige størrelser gevindstykker til formen, hvis man skal kunne anvende den samme kapsel.

Bundstykket

Normalt er bundstykket i formen også udskifteligt. Det skyldes også her, at skærekantene med tiden slides. Desuden kan der være forskel på udformningen af eventuelle presseflader, afhængigt af hvilken plasttype der anvendes.

Indbygningshøjde

Formen spændes op på formplanerne med almindelige bolte eller med særlige spændebeslag.

Formplanerne kan ofte ikke køres helt sammen. Det betyder, at formen skal have et mindstemål i dybden, også kaldet indbygningshøjde. Hvis der er behov for at montere en for lille form, vil det altså være nødvendigt at indsætte to mellem-lægsplader, som skal have samme tykkelse, således at formen stadig centrerer midt under dysen og blæsedornen.

Formsikring

Mange maskiner er forsynet med formsikring. Det betyder, at der er monteret en føler, som påvirkes, ca. 1 mm før formen lukkes. Formen lukkes da med to forskellige tryk. Mens formen er åben, lukkes den med lavt tryk. Først når føleren påvirkes, går maskinen over på højtryk. Derved lukkes formen så hårdt, at den ikke åbner sig ved opblæsningstrykket indvendigt i formen.

Det at formen lukkes med lavt tryk, sikrer formen mod at blive beskadiget af genstande, som kunne komme i klemme under lukningen. Derved sikres desuden, at cyklusen ikke fortsætter, hvis der kommer "ikke-afformede emner" i klemme.

Hvis et emne kommer i klemme, vil maskinen således stå halvlukket og vente. Derved vil "cyklusovervågningstiden" blive overskredet, og en alarm vil gå i gang.

Under udtagning af fastsiddende emner er det vigtigt, at man husker at anvende meget bløde håndværktøjer for ikke at beskadige formen.

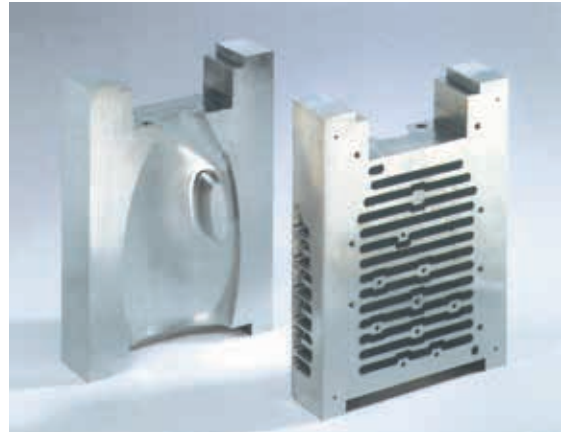
Køling

Den indbyggede køling i formen skal ligge så tæt op ad formhulrummet som muligt for at være så effektiv som muligt. Vandkanalerne kan være borede kanaler, men kan også være indstøbte rørsystemer.

Fælles for al vandkøling er, at der er risiko for tilkalkning og algevækst i rørene. Det betyder, at man skal huske at blæse vandkanalerne tomme for vand ved produktionsafslutning. Endvidere bør man ved dårlig køling eller længere køletid end sædvanligt sikre sig, at der er passage, og at køleslanger er monteret korrekt.



Kølerør til indstøbning i form (BASF)



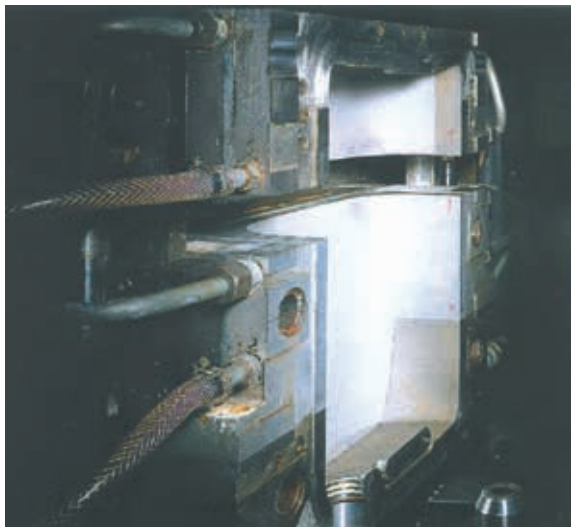
Blæseform med udfræste kølekanaler under fremstilling (BASF)

Formens overfladetemperatur er ret afgørende for emnets overflade. Den generelle betragtning er, at jo varmere formen er, jo blankere bliver emnet, og jo flere detaljer bliver synlige. En kold form giver matte emner med udflydende detaljer.

Af økonomiske hensyn ønsker man at køre med så lav formtemperatur som muligt, da køletiden derved bliver kortere. Hver plasttype har dog en generel temperatur, hvorved emnet opnår den højeste grad af overflade-finish. Her vises en liste over anbefalede formtemperaturer for forskellige plasttyper. Emnets kvalitet kan også forringes ved forkert formtemperatur

Anbefalet formtemperatur afhængigt af materiale

Plasttype	Formtemperatur (°C)
POM	80-100
PA	20-40
PELD, PEMD og PEHD	15-30
PVC	15-30
PC	50-70
PMMA	40-60
PP	30-60
PS	40-65



Todelt form til almindelig 5-liters dunk (BASF)
På grund af det nedsænkede håndtag er det nødvendigt at kunne åbne formen i højden ved afformning.



Til visse emner er det nødvendigt at vende, dreje og sænke formen, samtidigt med at slangen ekstruderes ned i den. (BASF)

Montering af form

Der kan være afvigelser ved forskellige maskintyper, derfor er følgende kun vejledende:

- Formplanerne åbnes.
- Højtryksventilen fjernes eller skrues i bund, således at formsikringen ikke knuses eller går på højtryk under montering eller forsøgslukning af formen.
- Mindre forme kan monteres let fastspændt, i samlet stand, på det ene formplan. Større forme monteres let fastspændt og delt på forreste og bagerste formplan.
- Formplanerne lukkes meget forsigtigt. Styretapper skal ramme præcist i styrebøsninger uden at medføre skader.
- Opspændingsbolte efterspændes.
- Højtryksventil genmonteres og indstilles. Funktionen skal træde i kraft, ca. 1 mm før formen er lukket.
- Køleslanger monteres. Tilgang i bunden og afgang i toppen, således at der ikke forbliver indespærrede luft lommer i formen. Desuden vil opvarmet kølevand naturligt søge opad.

Fleredelte forme

Nogle emner kan have en udformning, der gør, at emnet ikke kan afformes. Derfor kan det være nødvendigt at dele formen op i flere enheder, som kan åbnes ved hjælp af mekanisk påvirkning fx olie- eller luftcylinder.

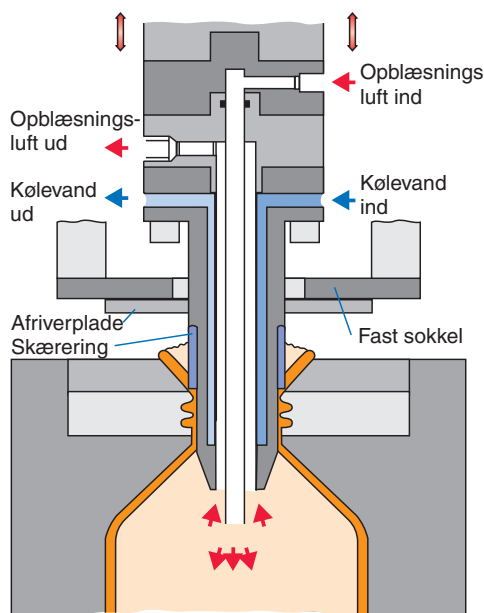
I princippet er der næsten ingen grænser for, hvilke hjælpefunktioner der kan indbygges i formen for at kunne fremstille vanskelige emner.

Blæsedorn

Blæsedornen er indrettet til at kunne udføre flere funktioner fx:

- At presse plast ud mod formen i halsåbningen og eventuelt ind i et gevind
- At forme (kalibrere) hullet i flasken/emnet
- At køle plasten omkring kalibratordelen ved hjælp af den indbyggede vandkøling i blæsedornen
- At danne den flade anlægskant på en flaske ved hjælp af skæreringen, således at kapslen kan holde tæt
- At lede trykluft ind i slangen til opblæsning af den
- At bortlede en del af opblæsningsluften i køleperioden, således at der kan tilføres ny og koldere opblæsningsluft
- At bortlede opblæsningsluften inden afformningen
- At skære den overskydende slange fri
- At fjerne topflappen, når der produceres med indvendig slange





Blæsedorn

Blæsedornen skal centreres således, at den rammer præcis i midten af halsen. Desuden skal dornen tilpasses i højden, ellers ødelægges skæringen og anlægspladen.

Dornens bevægelsehastighed kan normalt reguleres, og det er vigtigt, at man dæmper hastigheden til "sneglefart", mens man foretager justeringer i højden samt centrering.

Jo mere man åbner for luftgennemstrømningen på afgangsluften, jo bedre køling får man på tykke emner, da luften inde i emnet ret hurtigt varmes op af den varme plast.

Vandkølingen indvendigt i dornen forhindrer, at plasten klæber på dornen. Desuden køler det plasten i halsen.

Følgende produktionsmetode anvendes ofte: Når formen er kørt på plads under blæsedornen, går denne ned i hullet på slangen. Ofte lader man dornen begynde at blæse, mens den er på vej ned, således at den køler slangen indvendigt. Derved undgås, at slangen klæber til dornen.

Når emnet er kølet af, "afluftes" formen, hvilket betyder, at trykluftens afbrydes, og overtrykket inde i emnet lukkes ud. Derefter åbner formen sig.

Omvendt blæsedorn

På mange anlæg arbejdes der med omvendt blæsedorn. Det betyder blot, at halsåbningen sidder i bunden af blæseformen, og at blæsedornen således kommer op nedefra. Ellers er procesforløbet i princippet det samme.

Afstryger

På en fast sokkel omkring dornen er der mulighed for at placere en afstryger, som består af en plade med et hul, der er lidt større eller svarende til dornens diameter. Når dornen returnerer op gennem afstrygerpladen, vil en eventuel fastsiddende topflap på dornen blive skubbet af.

Når emnet i formen er koldt, åbner formen sig og kører hen efter et nyt stykke slange. Emnet sidder nu på dornen. Herefter er der to muligheder. Enten trækker dornen sig op, hvorved afstrygerpladen skubber emnet af, og emnet falder ned på et transportbånd eller i en container. Den anden mulighed er, at en griber (også kaldet maske) kører hen og lukker sig om emnet, mens dette sidder på dornen. Nu går dornen op, og en eventuel fastsiddende topflap vil blive skubbet af af afstrygerpladen.

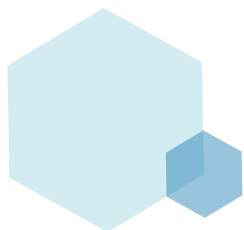
Montering af blæsedorn

- Blæsedornen monteres og fastspændes i blæsedornholderen.
- Blæsedornen køres forsigtigt ned mod formen (hastigheden drøvles/sænkes ved hjælp af drøvleventilen).
- Blæsedornens højde indstilles, således at den ikke rammer skærepladen og derved ødelægger skæringen.
- Derefter centreres blæsedornen ved hjælp af centrerskruerne på blæsedornholderen, således at dornen rammer præcis i midten af halsåbningen.
- Højden på blæsedornen kan nu efterjusteres. Den endelige efterjustering af højden kan dog først foretages under indkøring, således at topflappen slipper let.
- Blæselufts- og kølevandsslanger monteres.
- Eventuel afstryger monteres og centreres, således at den ikke ridser blæsedornen.

Skæring

Skæringen ligner mest af alt et ganske almindeligt stykke rør. Enden på skæringen er meget skarpt afdrejet, således at den danner et plan til formning af den flade kant på toppen af en flaske. Desuden vil den skarpe kant være i stand til at skære slangen over imod anlægspladen i toppen af formen.

Normalt er skæringen ens i begge ender, således at det er muligt at vende den, når den bliver sløv på den skarpe kant.



Stanse-/maskeudstyr

Flasken/emnet kan efter afformningen gribes af et stanse-/maskeudstyr, som skal trykke eventuel fastsiddende “bundflap” og “topflap” af emnet. Ligeledes er det nødvendigt at trykke “hullet” i en håndtagsdunk ud.

Masken er en simpel todelt form, som griber og holder emnet.

Stansen er enkelt udformede metalstykker, monteret på luft- eller hydraulikcylinder, som går imod de dele, som skal skubbes/stanses ud.

Tæthedskontrol

Efter afformning og eventuel stansning føres emnerne ofte over på et transportbånd. Her bliver emnerne i mange tilfælde udsat for en tæthedskontrol, som kan bestå af en luftdyse, som går ned mod halsen på emnet. Emnet bliver udsat for overtryk i nogle sekunder, og er der en lækage, vil en føler registrere tryktabet, og emnet kasseres. Kasserede emner bliver herefter ført hen i en affaldscontainer eller kværn.

Indkøring og optimering

Opstart og stop af blæsestøbeanlæg

Hvis ekstruderen er stoppet med materiale i, er det vigtigt at rengøre dysen inden opstart. Årsagen er, at materiale vil brænde fast i spalteåbningen, hvor det bliver iltet. Manglende rengøring vil resultere i striber og ridser i det færdige emne.

Undertiden kan det være nødvendigt at afmontere inderdorn og/eller yderring for at foretage total rengøring af disse dele.

Rengøringen kan foregå med kobber/messingværktøj eller roterende børster af samme materiale. Dette kan købes i forskellige varianter. Nogle virksomheder anvender et poleremiddel indeholdende et svagt slibemiddel, men vær varsom, det slider på slangehovedets dele.

Polér altid på tværs af plastens flyderetning.

For at undgå at lave langsgående ridser i hovedet ved uheld, poleres altid på tværs af plastens flyderetning. En evt. langsgående rids på dornen, kan give en ridse i slangen og dermed et svagt emne. En tværgående ridse er nemmere at fjerne og giver ikke så synlige spor i emnet.

Husk klargøring af hele maskinen og følgeudstyr inden opstart. Husk desuden at klargøre produktionspapirer, emballage og kontrolværktøj.

Opstartsprocedure

- Tænd eventuel udsugning
- Tænd for varmen på maskinen. Vent dernæst til den er gennemvarm
- Kontroller, at alle zoner har nået driftstemperatur
- Tænd for hydraulikstation
- Tænd for programpumpe
- Åbn for trykluft
- Åbn for kølevand
- Afprøv alle funktioner vedrørende slangehovedet, hvis det er tomt for materiale
- Afprøv alle funktioner vedrørende formen
- Kør alle funktioner i udgangsstilling (reset)
- Start ekstruderen

- Kør eventuel knaldluft ud
- Opsaml spild i container/vandbad
- Eftercenterer slangen
- Start automatik
- Opskær et emne, og kontroller godsfordelingen
- Justér godsfordelingen
- Vej emnet, og efterjustér eventuelt profileringen af slangen
- Vej emnet, og justér vægten

Stopprocedure

- Skift om nødvendigt materialetype for at lette rengøringen af snekke, cylinder og hoved
- Luk for materialetilførsel ¹
- Sluk for automatik
- Opsaml spildet i container/vandbad
- Stop eventuelt følgeudstyr
- Stop hovedmotor, når cylinder er tom ¹
- Sluk for varmesystemet
- Sluk for kølesystemet
- Sluk for hydraulik
- Sluk for programpumpe
- Luk for eventuelt trykluft
- Sluk for udsugning
- Sluk for hovedkontakt

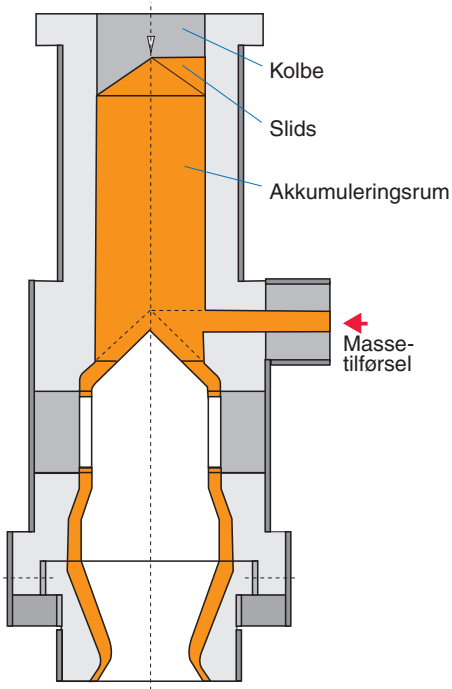
- ¹ Nogle virksomheder anbefaler, at man stopper med fyldt snekke for at undgå iltning af den smeltede plastrest, der altid vil befinde sig på snekke/cylinder. Derved undgås sorte klatter i opstartsfasen, som kan opstå ved iltning af disse råvarerester. Risikoen ved en fyldt snekke er, at det kan være vanskeligt eller umuligt at starte igen, hvis materialet stivner i en eventuel notzone eller i traversskølezonen under tragten.

Fejlfindingseskema

Når der under produktion eller indkøring opstår fejl eller problemer, kan der være mange steder, man skal søge årsagen.

I det efterfølgende skema gengives typiske fejl og fejllårsager. Ud over disse kan der på det enkelte anlæg være flere andre.

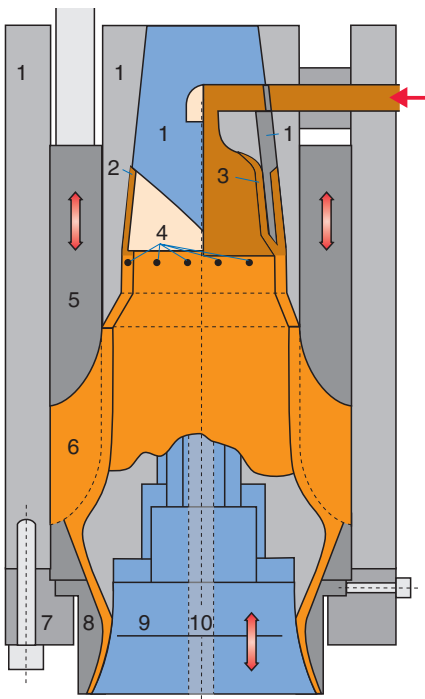
Ved afhjælpning af fejl og ændring på maskinen er det vigtigt, at man kun foretager en enkelt rettelse/ændring ad gangen. Hvis der ændres flere ting på én gang, mister man overblikket over, hvilken rettelse der var den afgørende.



Hoved med akkumulator i toppen
(BASF)

Brændstoftank fremstillet på ekstruder med akkumulator (BASF)

Slangen står stille, mens emnet blæses op og afkøles. Blæsedornen er placeret i bunden af formen.



Hoveder og hjælpeudstyr

Akkumulatorslangehoved

Når der skal ekstruderes med frithængende slange, kan det være et problem, at slangen strækker sig. Det er især et problem ved meget tykke slanger samt ved meget lavviskose materialer. For at imødegå dette problem er der udviklet hoveder/maskinopbygninger med akkumulator.

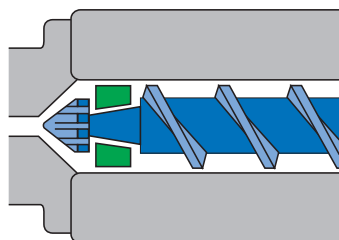
Det betyder, at platen fortsat ekstruderes kontinuerligt, men nu forsvinder platen ind i en akkumulator, eller et "stødpudelager", ofte i toppen af hovedet. I toppen af akkumulatoren sidder et stempel (en kolbe), som trækker sig tilbage, mens akkumulatoren fyldes op.

Når formen er ved være på plads under dysen, starter stemplet/kolben med at presse den opmagasinerede plast ned gennem hovedet meget hurtigt. Det betyder, at slangen ikke kan nå at strække sig, inden formen lukkes, og en eventuel profilering vil ligge meget præcist.



Hoved med indbygget akkumulator

- 1 Faste dele
- 2 Ydre hjerteformet kanal
- 3 Indre ringkanal
- 4 Sammenflydningszone
- 5 Bevægelig del, som forøger eller formindsker akkumuleringsrummet
- 6 Akkumuleringsrum
- 7 Spændering til dyse
- 8 Vandret justérbar dyse (udskiftelig, hvis der ønskes anden diameter på slangen)
- 9 Lodret justérbar dorn
- 10 Kanal for støtteluft



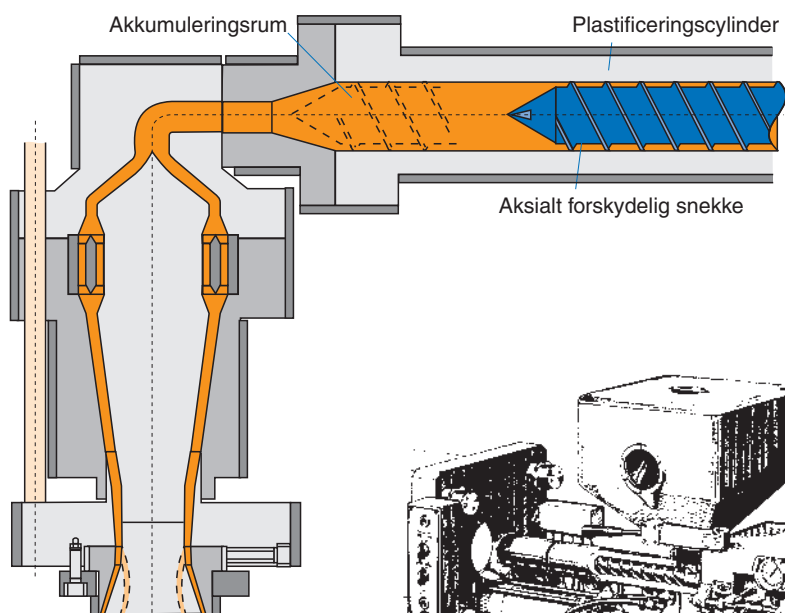
Spærrering på snekke

Akkumulering i ekstruderen

Nogle ekstrudere er indrettet med en bevægelig snekke efter samme princip som ved sprøjtestøbemaskinen. Det betyder, at snekken trækker sig bagud, samtidig med at den afleverer platen foran snekkespidsen.

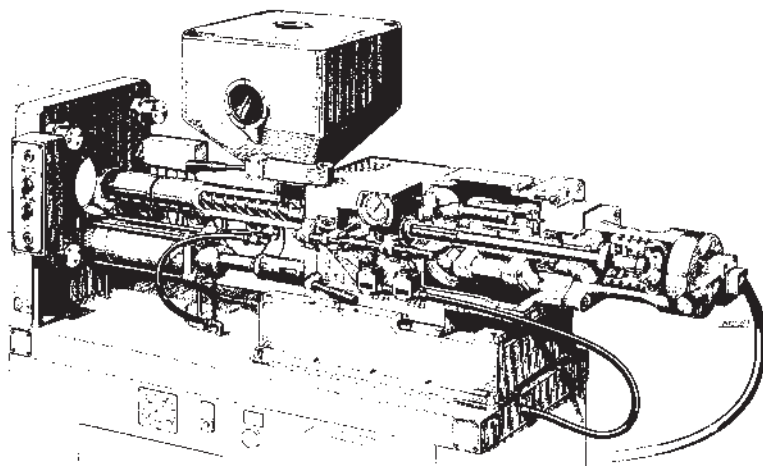
Når slangen skal ekstruderes, skubber et hydraulisk stempel snekken fremad. Når slangen er færdigekstruderet, fortsætter snekken med at fylde materiale hen foran snekken, som trækkes tilbage igen, og processen gentager sig.

For at forhindre at materialet glider tilbage gennem gængerne, kan der være anbragt en spærrering ved spidsen af snekken. Denne ring er udformet som en konus og kan forskydes lidt (ca. et par cm) frem og tilbage på snekken. Når snekken ekstruderer materialet fremad, skubbes ringen frem, og der er åbent ved konussen. Når hydraulikcylinderen skubber snekken fremad, presser materialet foran snekken konussen tilbage, og konusåbningen lukkes. Derved forhindres, at materialet løber tilbage



Akkumuleringsrum ved hjælp af bevægelig snekke

Ekstruder/sprøjtestøbemaskine (princippet er det samme) med hydraulisk stempel til at presse snekken frem ved ekstrudering af slangen (Blow Molding Handbook)

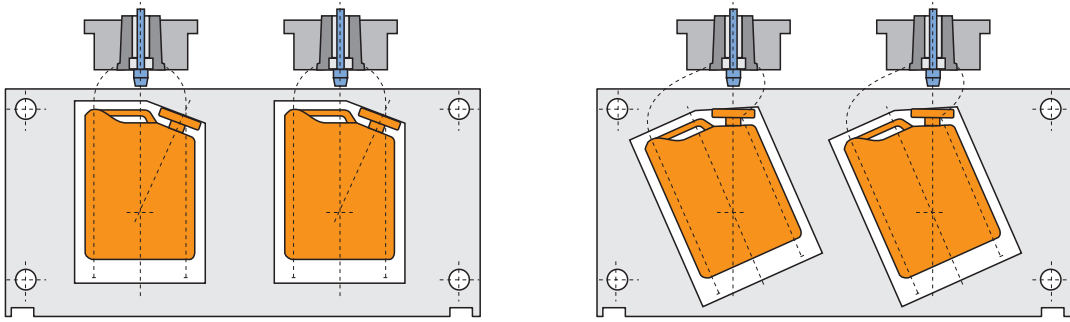


Blæsedorn i slangehoved

På nogle maskiner er blæsedornen indbygget i slangehovedet. Dette kan lade sig gøre, når der anvendes akkumulatorhoved. Mens blæsedornen er nede for at blæse emnet op, ekstruderes platen op i akkumulatoren.

Kipbar form

For at fordele slangen mest hensigtsmæssigt i formen kan det være nødvendigt at kipe formen under ekstrudering af slangen.



Kipbare forme og dyser med indbyggede blæsedorne

Formen kippes for at opnå bedre fordeling af slangen ved halsåbningen. Mens blæsedor- nen blæser emnet op, ekstruderes plasten ind i akkumulatoren.

Slangelængdestyring

Akkumuleringshovedet giver samtidigt mulighed for at afpasse slangens længde helt nøjagtigt. Ved at placere en fotocelle, som aktiveres, når slangen har den rette længde, stoppes stemplet, og klipperen aktiveres. Derved undgår man unødigt lange eller for korte top- og bundflapper.

Blæsenål

Specielle emner har ofte ingen halsåbning. Her løses op-blæsningsproblemet ofte ved at skyde en nål (kanyle) ind gennem formen og ind gennem slangen, hvor der er mulighed for det.

Kvalitetskontrol

Kvalitetskontrol på blæsestøbte emner er oftest baseret på en kombination af interne krav i virksomheden og krav fra kunden. Oftest vil krav være baseret på slagsejhed, faldtest, stablebelastning, tæthedskontrol, trykprøvning, farve, overfladens udseende og ensartethed. Der kan også være krav fra myndigheder om materialers tæthed over for kemikalier, aromatæthed, materialers egnethed til opbevaring af fødevarer osv.

Ud over belastningsprøver, som vil være nærmere defineret på det enkelte emne, er det oftest tæthedskontrol, visuel kontrol og kontrol af godstykkeelse, der anvendes som løbende kontrol.

Tæthedskontrol

Efter afformning og eventuel stansning føres emnerne ofte over på et transportbånd, hvor de i mange tilfælde bliver udsat for en tæthedskontrol. Dette kan bestå af en luftdyse, som går ned mod halsen på emnet. Emnet bliver udsat for overtryk i nogle sekunder, og er der en lækage, vil en føler registrere tryktabet, og emnet vil blive kasseret.



Benprotese opblæst ved hjælp af nål (BASF)



Tæthedskontrolapparat eller lækagetest (Bekum)

Godstykkelser

Emne, hvor godset i halsen er trukket ned (BASF)



Til at kontrolmåle godstykkelser kan der anvendes flere typer af værktøj. De almindeligste værktøjer er nok skydelære og måleur. Kontrolmåling kræver her, at man skærer et antal emner op. Det er vigtigt, at man skærer emnet op på både på tværs og på langs. Godstykkelser skal måles hele vejen rundt.

Der findes også måleværktøj, som kan måle emnet uden at opskære dette. En magnetisk føler (fx ultralydsskanner) er da placeret under emnet. En stålkugle puttes i emnet, og denne vil altid lægge sig præcis over føleren på grund af magnetismen. Føleren er da i stand til at aflæse afstanden op til stålkuglen, og afstanden til stålkuglen svarer til godstykkelser.

Det er også vigtigt at inspicere emnet for fejl ved halsåbningen. Hvis der er for lidt gods i halsen, vil eventuelt gevind ikke være fuldstøbt. Er der for meget gods i halsen, vil det overskydende materiale trækkes ned i emnet.

Slagprøvning og trykprøvning

Emner, fx flasker, kan udsættes for slagprøvning eller trykprøvning. Slagprøvning kan bestå i en simpel prøvning, hvor man lader en flaske fyldt med vand og påskruet låg falde fra en given højde. Hvis der opstår brud, er der fejl i produktionen. Denne prøvning kan også udføres med et lod, som falder ned mod en fyldt flaske.

Trykprøvning kan bestå i, at man udsætter et bestemt antal emner for et bestemt overtryk ved en bestemt temperatur i en vis periode. Her må der ikke opstå revnedannelse eller udbulning på emnerne.



Slagprøvning af flasker med 2 kg-kugle (BASF)



Trykprøvning af flasker (BASF)

Materialer

Plasttyper

Her nævnes blot et lille udpluk af de plasttyper, som anvendes til blæsestøbning.

Plasttyper til blæsestøbning	
Materiale	Forkortelse
Polymethylmethacrylat	PMMA
Polyamid	PA
Polycarbonat	PC
Polybutylenterephthalat	PBT
Polyethylenterephthalat	PET
Lav densitet polyethylen	PELD
Lineær lav densitet polyethylen	PELLD
Høj densitet polyethylen	PEHD
Polypropylen	PP
Polystyren	PS
Acrylnitril-butadien-styren-copolymer	ABS
Styren-acrylnitril-copolymer	SAN
Polyvinylchlorid	PVC

Regenerat og blæsestøbning

Volumenvægt eller rumvægt

Et udtryk for hvor meget en vis volumenmængde plast vejer. Fx 1 liter. Hvis man vejer præcis 1 liter nyt granulat kan det fx veje 700 gram, da pillerne lægger sig tæt mod hinanden. Hvis man i stedet for vejer præcis 1 liter knust materiale (regenerat) ud fra samme råvare, vil det måske kun veje 550 gram, da der er mange tynde flager og stumper, som ikke falder ret godt sammen. Det betyder, at snekken transporterer mindre materiale med fremad for hver omdrejning, hvis der anvendes regenerat som skitse-ret ovenfor.

Ofte bliver top- og bundaffald ført direkte til en knuser, som blæser det opkværmede materiale op i tragten igen. Dette volder i de fleste tilfælde ingen problemer. Dog er der det krav, at affaldsmængden skal være ret konstant. Hvis der i perioder kommer en svingende mængde affald, kan der opstå det problem, at man får uens fyldning af snekken, da det op-kværmede materiale har en anden volumenvægt. Desuden er der risiko for, at viskositeten og dermed flydeegenskaberne ændrer sig. Det vil alt sammen resultere i, at slangerne får uens længde, og en eventuel profile-ring vil ligge forkert i formen.

Hvis der anvendes rent regenerat, skal massetemperaturen ofte være få grader lavere end ved anvendelse af tilsvarende nyt materiale. Det stemmer også overens med, at smelteindekset vil være en anelse højere, da en del molekyler bliver hugget over ved knusning af affald og kasserede emner.

Hvis materialet er ødelagt ved fejlbehandling i ekstruderen, fx for høj hastighed eller for høj varme, kan molekylerne være blevet så korte, at egenskaberne helt er ødelagt. Da vil det være bedre at kassere dette materiale helt.

Alternative processer

Coekstrudering

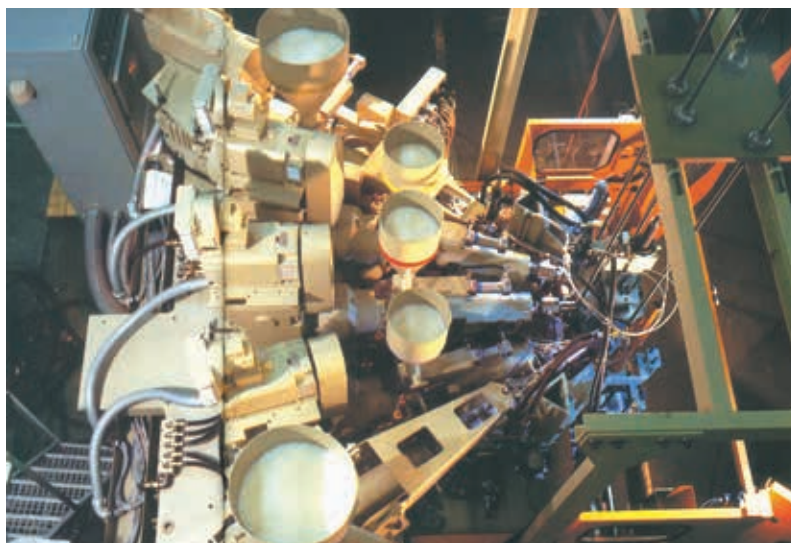
Fem-lags-flaske
(Bekum)



Inden for blæsestøbning anvendes mange forskellige plasttyper. Plasttyperne kan anvendes i ren form, som blandinger eller som copolymerer materialer.

Desuden anvendes mange kombinationer af plasttyperne til coekstruderede emner.

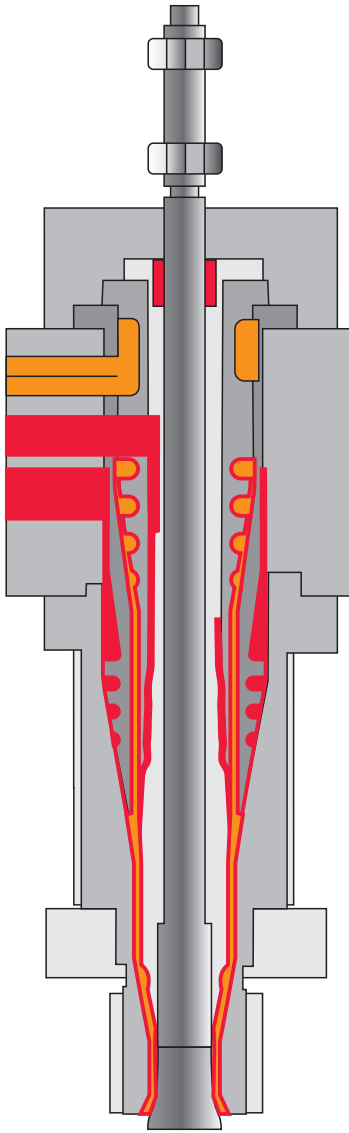
Ofte er der behov for at fremstille et emne, fx en flaske, af en plasttype, som ikke ødelægges eller selv ødelægges af indholdet i flasken. Der kan fx være tale om en syre eller et rengøringsmiddel. Hvis denne plasttype ikke er særligt slagfast, kan det være nødvendigt at lægge et andet lag på af en sej og slagfast plasttype. Hvis der desuden er behov for en flaske med en speciel overflade, kan det være nødvendigt at lægge et tredje lag på. Der kan fx være behov for en skridsikker overflade på flasken, eller der kan være behov for en flot, blank og farvetryksvenlig plast.



Coekstruderingsanlæg med
fem ekstrudere til fremstilling
af emner med fem lag
(BASF)

Nu er der måske det problem, at disse tre lag ikke kan binde til hinanden. Derfor kan det være nødvendigt, at lægge et bindelag/limlag ind mellem disse lag for at opnå vedhæftning mellem lagene. Derved har man måske behov for fem ekstrudere, som skal levere hver sin type plast ind i slangehovedet. I nogle tilfælde kan man nøjes med fire ekstrudere, hvis begge limlag kan være af samme plasttype.

Fremstilling af emner med fem lag stiller krav om et specielt slangehoved, som kan fordele disse plasttyper. Plasttyperne ledes ind i hovedet i hver sin fødekanal og ledes frem til hver sin ringspalte, som går ned gennem hovedet. Først mod slutningen af hovedet mødes de fem ringspalter og går sammen i én ringspalte, som fortsætter resten af vejen ned til dyseåbningen.



Ved at regulere ydelsen af de forskellige ekstrudere er det muligt at fremstille emner med netop den godsfordeling i hvert lag, som man ønsker.

Når der anvendes forskellige typer af plast, vil der i sagens natur være behov for at forarbejde med forskellige temperaturer. Hvis der er meget stor forskel på de anvendte materials temperaturer, kan det give problemer i hovedet, hvor materialerne mødes. Materialetyper, som forarbejdes ved meget lave temperaturer, mødes måske med langt varmere materialer. Det kan i nogle tilfælde resultere i, at lavtemperaturmaterialerne begynder at flyde uens i hovedet. Som tommelfingerregel må hovedets temperatur derfor holdes så lav som muligt, dog uden at massetrykket bliver for højt.

Stribe

I mange indfarvede emner til væske, fx oliedunke, er der ofte indlagt en gennemsigtig (eller ikke indfarvet) stribe. Derigennem kan man se, hvor meget indhold der er tilbage i dunken.

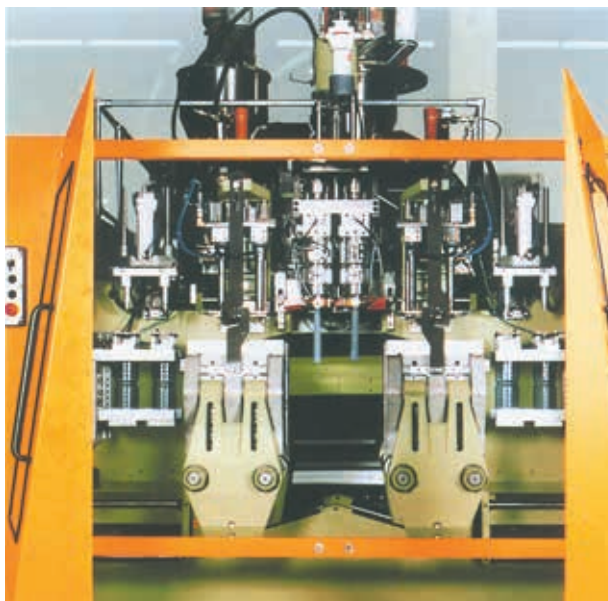
For at kunne lægge en gennemgående, klar stribe ind skal der være en kile oppe i hovedet, som spalter slangen. I spalten lægges den ufarvede plast ind. Indførelsen skal ske så langt oppe i hovedet, at der sikres god sammensmeltning af kanterne. Slangen vil da forlade dysen som en hel slange, uden nogen svækkelse efter opskæringen. Denne procesform kræver, at der anvendes plast med samme flydeegenskab for både den indfarvede og den ikke indfarvede plast.

Tre-lags-slangehoved med bevægelig dorn (Battenfeld)

Plasten bliver fordelt rundt i hovedet ved hjælp af spiralformede kanaler, der gradvis flades ud, og plasten ender med at ligge som en jævnt fordelt slange, inden den mødes med det/de næste lag.

Her ses, hvorledes plasten kan flyde forskelligt, når der anvendes plasttyper med forskellige flydeegenskaber. (BASF)





Dobbelt slangehoved og to styk dobbelte forme (Bekum)

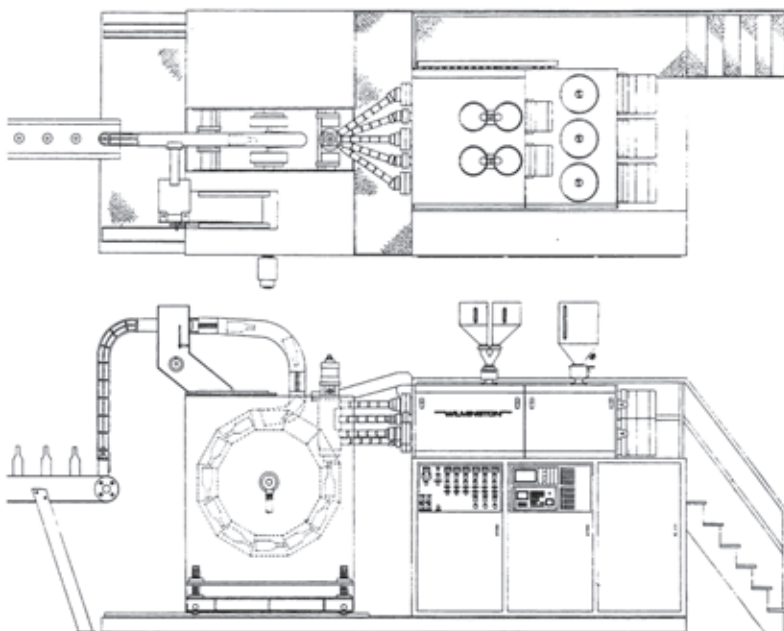
Formen til venstre er under opblæsning og afkøling, mens formen til højre er ved at åbne sig for at køre hen efter to nye slanger.

Bemærk, at emnerne (flaskerne) hænger på blæsedornen. Når formen er væk, trækker dornen sig op gennem afstrygeren, og flaskerne falder ned på transportbåndet eller bliver hentet af griber og ført ind i stanse-/maskeværktøjet.

Blæsestøbning i karrusel (Blow Molding Handbook)

Formene er anbragt således, at slangen ekstruderes endeløst. Bemærk, at det er en fem-lags coekstruder, hvoraf de to ekstrudere er forsynet med dobbelt tragt til blandingsråvarer.

Øverste figur viser anlægget set oppefra.



Flerkavitets hoveder og forme

For at opnå mere effektive maskiner er der udviklet slangehoveder, der producerer to eller flere slanger ad gangen. Op til otte slanger er efterhånden ikke unormalt. Hvert slangehoved er selvstændigt, hvilket betyder, at der skal rengøres, centrerer og justeres varme på hvert enkelt hoved. Dog er profilering af slangen ofte fælles, men udgangsstillingen skal justeres for hvert enkelt hoved. En fordelerkanal forsyner alle hovederne med råvaren øverst oppe som normalt. Blæseforme og blæsedorne er der et tilsvarende antal af.

Der kan være indskudt en justerbar spærring i fødekanalerne til hvert hoved, således at strømningshastigheden kan reguleres for hvert hoved.

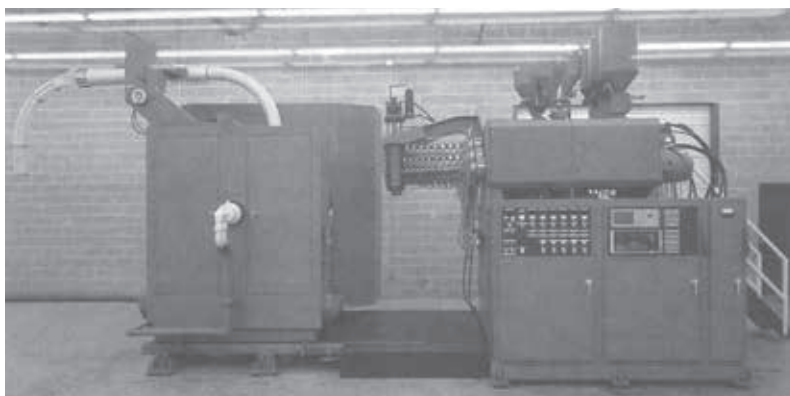
Som en anden form for effektivisering, kan der være to vogne med hver sin form. Det betyder, at man har mulighed for at køre dobbelt så hurtigt som normalt. Mens det ene emne køles af i formen til venstre for dysen, kommer den anden form ind fra højre og bliver forsynet med slange.

For at gøre denne flerforme-proces 100 % effektiv er der udviklet karruseller. I karrusellerne kan der i princippet være det antal forme, man har behov for. Derved kan ekstruderen køre kontinuerligt med højeste hastighed. I det øjeblik slangen er færdig, skal en form være klar. Denne form skal have så lang tid rundt i karrusellen, at emnet når at køles af og blive afformet, inden den åbne form skal gribe et nyt stykke slange.

Blæsestøbning i karrusel

(Blow Molding Handbook)

Sådan ser et anlæg ud i virkeligheden, når karrusellen er kørt ud til siden.



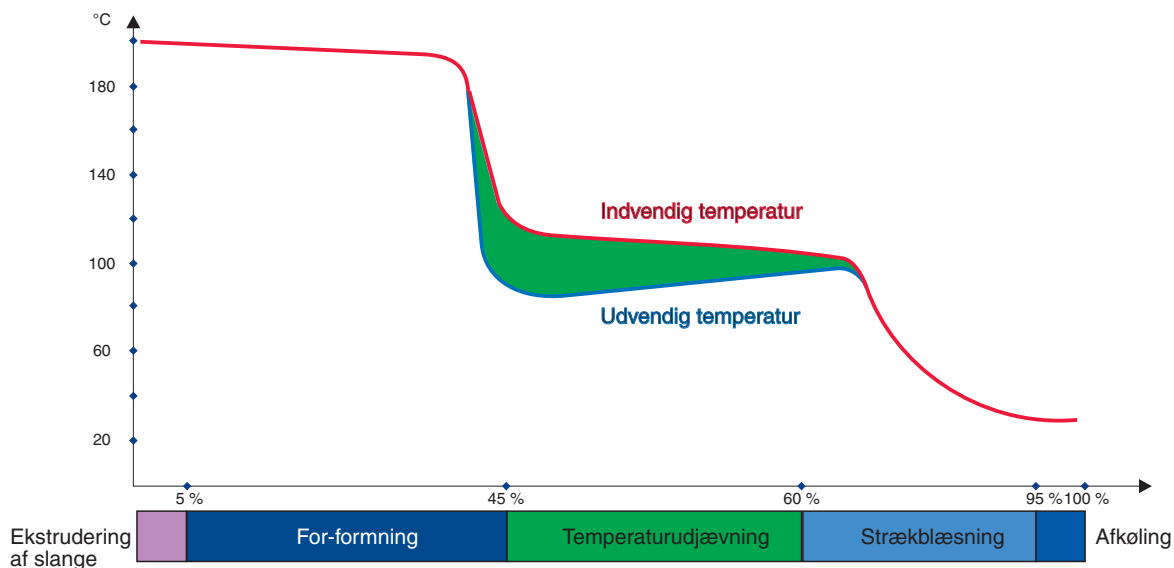
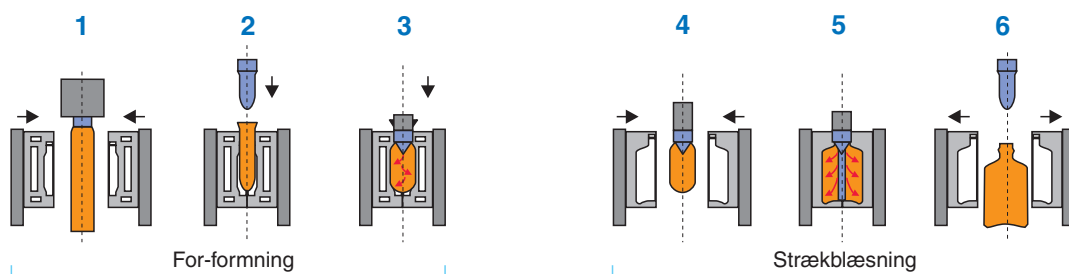
Strækblæsning

Strækblæsningsforløb

Processen består af tre faser:

1. Ekstrudering og for-formning
2. Temperaturudjævning
3. Strækblæsning og afkøling

Denne proces er udviklet for at opnå forbedringer i flaskens egenskaber. Når slangen er forformet og delvis afkølet, er der ret stor forskel på indvendig og udvendig temperatur. Emnet afformes, og når temperaturforskellen er udlignet, blæses flasken helt op i en anden form og afkøles efterfølgende.



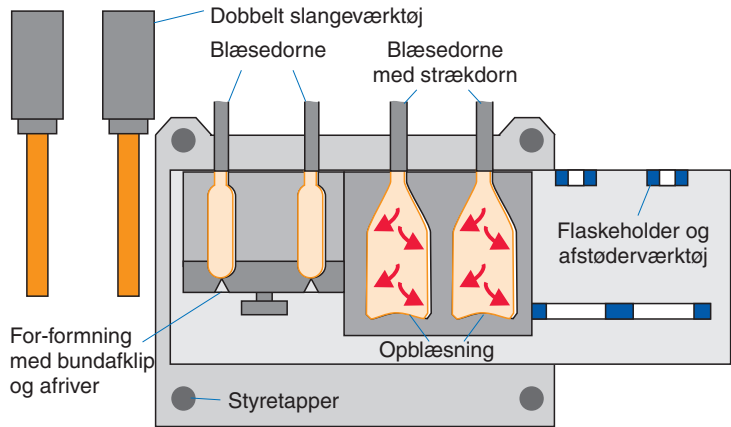
Ved denne proces opnås biaksial orientering af molekylerne, hvilket betyder, at strækket er næsten ligeligt fordelt i begge retninger.

De forbedringer, som opnås, gælder trækstyrke, slagsejhed, samt glans og transparens. Desuden opnås en meget tæt struktur i materialet, hvilket giver høj tæthed i flasken, som gør den velegnet til kulsyreholdige drikke.

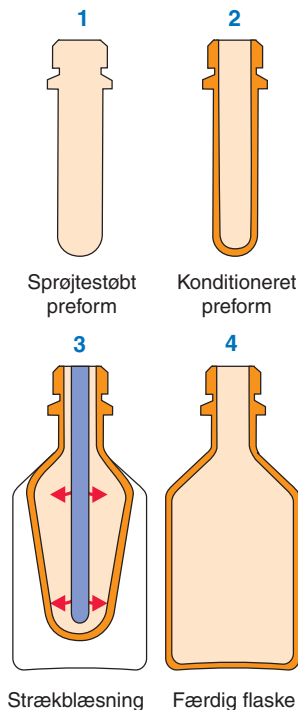
Opbygning af strækblæseanlæg

Konditionering

Delvis nedkøling efter sprøjtestøbning eller genopvarmning, hvis preformene kommer uopvarmede fra lager.



Strækblæsning af preform



Sprøjtblæsning

I stedet for forblæsning af slangen ved strækblæsning kan anvendes en sprøjtstøbt preform. Denne kan efter konditionering strækblæses med samme fordele som før nævnt.

Preform

Princippet går ud på, at der anvendes en sprøjtstøbemaskine i stedet for en ekstruder. Med sprøjtstøbemaskinen sprøjtstøbes først en "preform". Preform betyder frit oversat forform, altså en forformning.

Her tager vi udgangspunkt i en almindelig læskedriksflaske. Preformen er færdig med gevind og krave. Kroppen er sprøjtstøbt med forskellig godstykkelser der, hvor der er behov for dette. Preforme kan fås hos underleverandører.

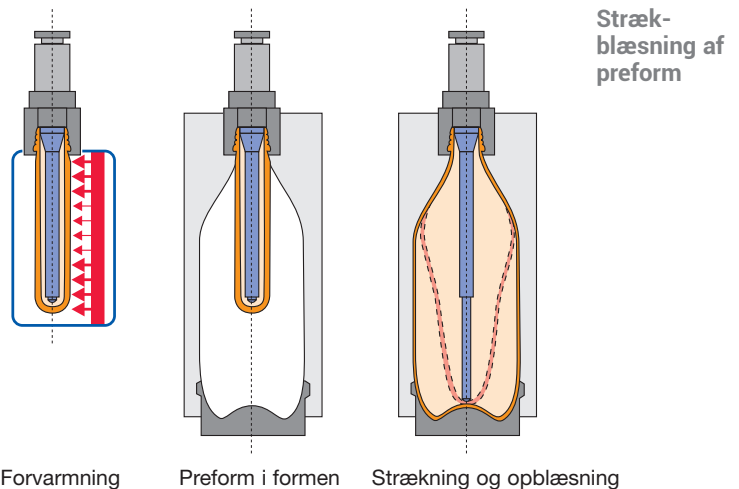
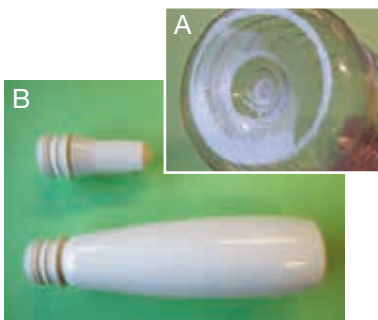
Preformen fastholdes i gevind og krave, mens kroppen opvarmes til blæsetemperatur. Efter opvarmning placeres preformen i flaskeformen, og en indvendig dorn i blæsedornen strækker preformen. Samtidigt starter opblæsningen, og plasten lægger sig op mod formvæggen. Efter afkøling kan emnet afformes uden nogen form for top- eller bundflap eller andet spildmateriale.

Denne procesform bruges meget ofte til emner af PET, da PET er vanskelig at styre som slange. Desuden opnås de under "Strækblæsning" nævnte gode egenskaber i flasken.

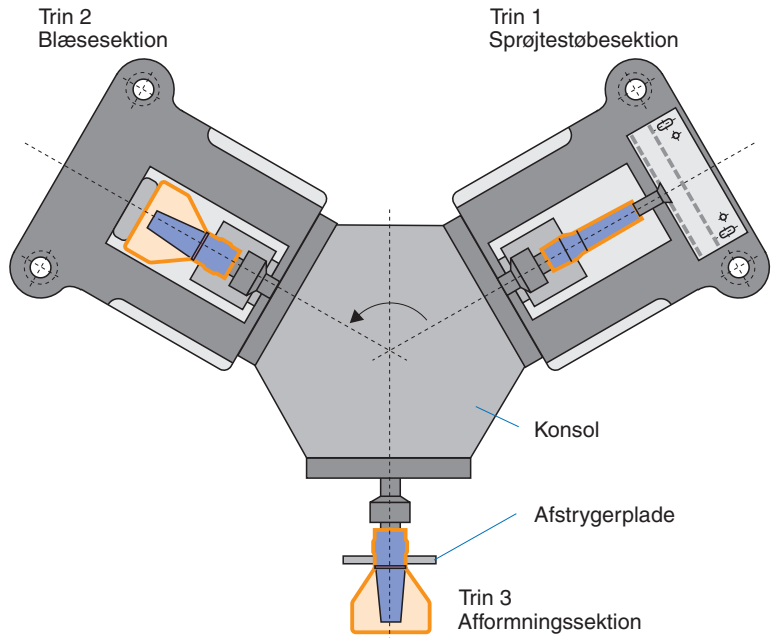
Emner, der er fremstillet efter denne metode, er let genkendelige på mærket efter indløbet i bunden.

A. Sodavandsflaske af PET med det let genkendelige mærke i midten af bunden efter indløbet

B. En PET-flaske efter strækblæsning og som preform



Kontinuerlig sprøjteblæseproces



Sprøjteblæseanlæg

1. Sprøjtestøbeenheden med åben form
2. Blæseenheden
3. Afformningsenheden (Bekum)

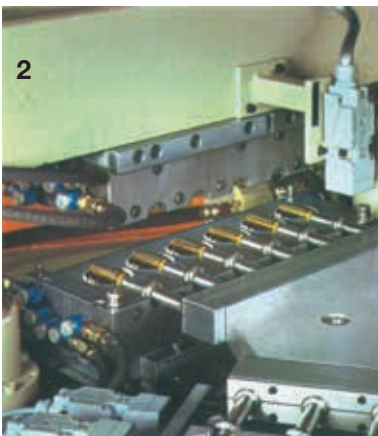


Nu er udviklingen i mange tilfælde ved at nå så langt, at man støber preforme, strækker og blæser dem op, og afformer dem i en kontinuerlig proces. Maskinen er da en sprøjtestøbemaskine, og for enden af dysen sidder en trekantet, drejelig konsol. På konsollen sidder blæsedorne på alle tre sider.

I trin 1 lukker en sprøjtestøbeform sig omkring blæsedornen, og plasten sprøjtes ind i hulrummet omkring blæsedornen. Når plasten er delvis afkølet, åbner formen sig, og konsollen drejer emnet over i trin 2.

I trin 2 lukker en blæseform sig omkring preformen, og strækning, opblæsning og afkøling finder sted.

Konsollen drejer nu til trin 3, hvor emnet bliver fjernet fra blæsedornen. Konsollen drejes videre til trin 1, hvor en ny preform bliver sprøjtestøbt og så fremdeles.



En fordel ved denne procesform er, at der kan lægges en bestemt godstykkelse ind, hvor som helst man ønsker det.

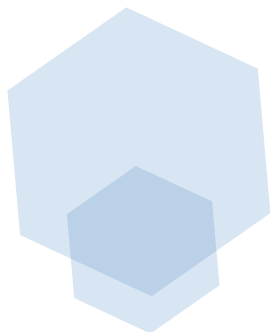
En af ulemperne er, at der skal fremstilles et meget stort stykantal, før processen er rentabel.

Dette var en kort beskrivelse af alternative processer. Der findes mange flere varianter, men ofte er de specialudviklet med henblik på bestemte produkter og derfor mindre interessante for forståelsen af processen.

TERMO- FORMNING



Eksempler på termoformede emner
(DKI Form a.s)



Dette kapitel er en oversættelse af udvalgte sider fra A. Illig: "Thermoformen in der Praxis". Carl Hanser Verlag, München 1997.

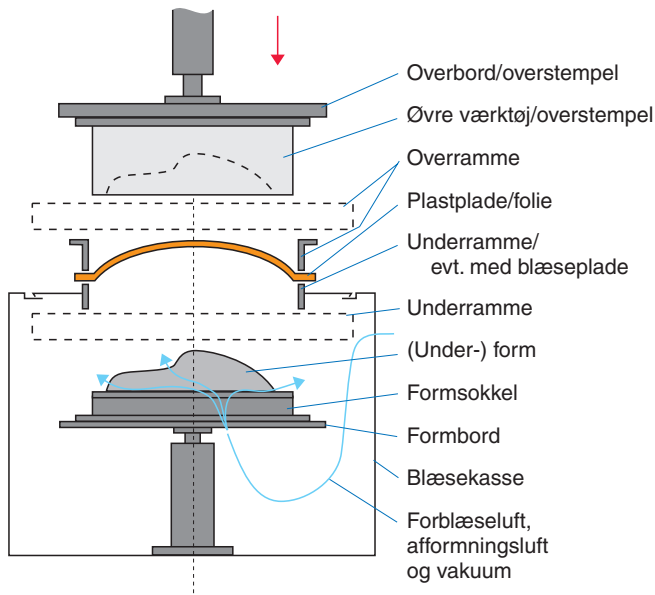
Ved termoformning ændres formen af et halvfabrikat - normalt en plade, efter at den er varmet op til det termoplastiske område. Formningen kan ske manuelt eller maskinelt, men er mulig, fordi man ved opvarmning kan gøre termoplasten gummielastisk, så den ved anvendelse af relativt små kræfter kan formes. Hvis man efter formningen køler plasten ned i det temperaturområde, hvor den er formstabil, vil den beholde den nye form.

Termoformmaskinen

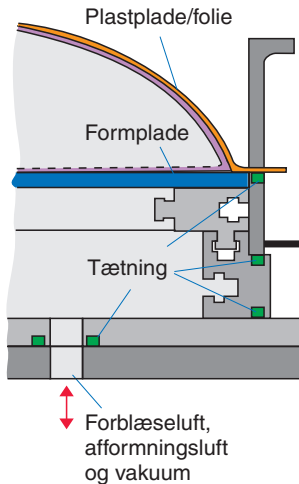
I termoformmaskinen bliver plastpladen opvarmet til formningstemperatur og formet.



Termoformmaskine
(ILLIG)



Opbygningen af en universal termoformmaskine



Tætningen ved montering af en form

Opstilling og indkøring

Opstilling

Der findes i dag en lang række forskellige producenter af termoformmaskiner, og de tilbyder alle sammen flere end én metode til opstilling af formen. Normalt tilbydes maskiner med standardudrustning, hvor skift af over- og underrammer sker manuelt, eller maskiner med hurtigskift, hvor rammer tilpasses automatisk ved indtastning af ønsket størrelse. Formbordet kan være udstyret med kugler eller lignende, der kan hæves ved opstilling, så formen let kan flyttes rundt.

Fastgørelse af form og rammer varierer mellem de enkelte fabrikater og udstyrspakker. Det er dog altid vigtigt at kontrollere følgende:

- Over- og underramme skal sidde nøjagtigt over hinanden. Kontrollér, at overrammen ikke vrides på grund af skæve sidestykker - vridning vil medføre stor belastning af føringer og låsecylindre.
- Der skal være luft mellem formpladen og underrammen. Afstanden afhænger af materiale og tykkelse af de plader, der skal formes (ca. 1/2 pladetykkelse, min. 2-4 mm). Vær opmærksom på, at formplade og ramme kan udvide sig forskelligt ved opvarmning. Afstanden skal derfor kontrolleres, når maskine og form har opnået driftstemperatur.
- Formpladen og underrammen skal være i samme niveau.
- Formningsområde og blæsekasse skal være tæt.
- Ved justering af formbordets niveau ved 'formbord nede' skal afstanden fra formtop til underside af undervarmen være minimum 25 mm.
- Ved justering af omkobling fra 'sneglefart ned' skal kontakten placeres, så formen har sluppet emnet.
- Kontrollér tæthed af blæsekasse: Ilæg plade og forblæs, pladen skal lette, lyt efter utætheder.

En termoformmaskine er - uafhængigt af maskintype - opbygget efter følgende principper: To borde, der kan bevæges mod hinanden lodret, og udrustet, så der kan fastgøres forme, stempler og lignende. På det ene af bordene fastgøres formen, og på det andet fastgøres hjælpeværktøjer som overstempeler, nedholder og fotocelle. Begge borde er koblet til vakuum- og/eller trykluftsystem. I nogle maskintyper er de to borde ens, i andre er de forskellige.

Den plastplade, der ønskes formet, kan fastholdes mellem:

- To rammer (en over- og en underramme)
- Mellem en ramme og en form
- Mellem to forme

Indkøring

Montering af overstempel:

- Trykket tages af overstempelcylinderen (normalt med det håndtag, der styrer overstempelhastigheden).
- Form køres op, og overstemplet placeres, hvor det skal være ved formningen.
- Overstempelbordet (bjælken) køres ned (det er nødvendigt at lade lidt luft sive ind i overstempelcylinderen, når det niveau nås, hvor overstemplet skal tage trykket af igen).
- Overstemplet monteres.
- Overstempelcylinderens endestop justeres, så overstemplet ikke berører formen. Kontrollér, at overstempelbordet kører lige ned, og at endestop nås samtidigt, så overstempelcylinder og føringer ikke vrides.
- Overstemplet grovcenteres.

Grundindstillingen ved opstart af indkøring er:

- Maksimal varmeintensitet
- Maksimalt vakuum
- Formbevægelser så hurtige som muligt
- Ved anvendelse af overstempel justeres hastighed og tider, så form og overstempel når deres endeposition samtidigt.

Inden indkøringen begynder, skal formen og rammerne være varmet op til driftstemperatur. Det kan ske ved opvarmning af formen i en ovn, hvis formen har temperaturstyring via denne, eller for forme af metal ved hjælp af overvarmen.

Ved opvarmning med overvarme køres formen op til et niveau lige under overvarmen, hvorefter overvarmen køres frem. Vigtigt: forme af træ, epoxy-plast, støbemasse og lignende må aldrig opvarmes med overvarmen, da de ødelægges, hvis man forsøger. Efter formen har opnået driftstemperatur, er det vigtigt at køle rammerne ned til deres driftstemperatur. Det kan gøres ved at dække formhullet med pap og køle med maskinens køleblæsere.

Det er vigtigt først at finde den optimale opvarmningsintensitet (temperatur) og opvarmningstid; herefter kan følgende findes:

- Optimal forblæsningstid (højde)/optimalt vakuum
- Optimal formhastighed
- Optimal formtemperatur
- Eventuel justering af varmebilledet
- Optimal køletid
- Optimal afformningsluft/afformningshastighed

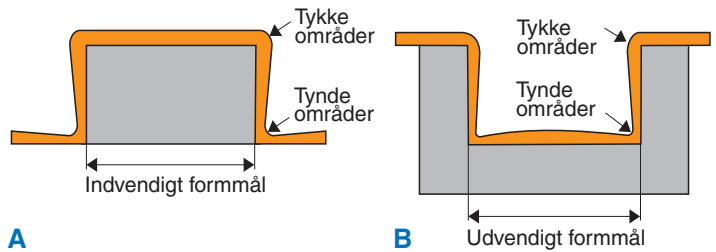
De enkelte punkter er uafhængige af hinanden og kan derfor godt justeres i samme proces. Dog skal man passe på ikke at justere for mange ting på én gang, da man så mister kontrollen over virkningen af den enkelte justering.



Positiv- og negativformning



Positivform til fremstilling af tændrørs-emballe (ILLIG)

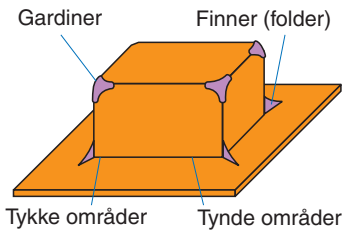


A. Positivformning
B. Negativformning

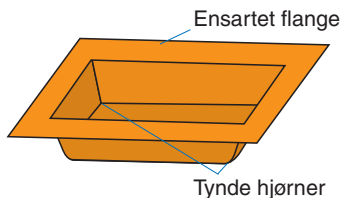
Ved termoformning kommer den opvarmede plastplade kun i kontakt med formen på den ene side. På pladens formside bliver overfladen et præcist aftryk af formens overflade. Konturer og mål på den modsatte side er påvirket af den godstykkelse, den formede del har. Afhængigt af om det er inder- eller ydersiden af formen, der kommer i kontakt med pladen, taler man om positiv- eller negativformning.

Ved positivformning vil emnets præcise mål være på emnets inderside, da det er den side, der er i kontakt med formen.

Ved negativformning vil emnets præcise mål være på emnets yderside, da det da er den side, der er i kontakt med formen.



Fejl og typiske kendetegn ved positivformning



Typiske kendetegn ved negativformning

Man kan påvirke de negative problemer ved indkøring af formen.

Ved positivformning skal man være opmærksom på:

- Tendens til finner (folder) ved høje, kantede forme, specielt hvis afstanden til spændrammen er stor.
- Tendens til "gardiner" ved hjørner
- Uens godstykkelse i flangen
- Afformningsbesværligheder ved for små slipvinkler
- Lille afstand mellem flere forme kan kun lade sig gøre ved hjælp af nedholdere i overrammen eller overstempet.
- Positivforme er for det meste billigere end negativforme.

Ved negativformning skal man være opmærksom på:

- Tyk flange
- Ensartet godstykkelse i samme niveau
- Tynde hjørner
- Let afformning ved étstyksforme
- Negativforme er for det meste dyrere end positivforme.

Termoformningsmetoder

Formningsprocessen kan opdeles i to trin, forstrækningen og formningen. Under formningen er målet at opnå en bestemt og for det meste jævn godstykkelsesfordeling på emnet.

Forstrækningen kan laves på forskellige måder:

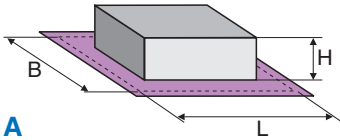
- Mekanisk strækning af pladen med formen selv
- Mekanisk strækning af pladen med et overstempel
- Pneumatisk strækning af pladen ved at forblæse eller forsuge
- En kombination af forblæsning og mekanisk strækning

Formningsforhold

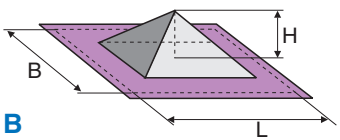
H:B (retvinklet) eller
H:D (runde emner)

B = den korteste side på
formfladen

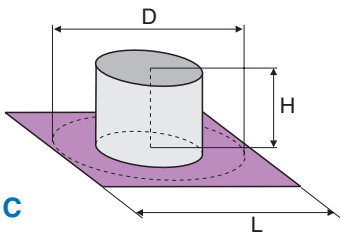
D = den indskrevne cirkel på
formfladen



A



B



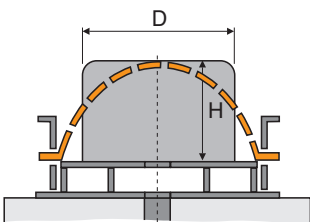
C

Formningsforhold

A. Formningsforholdet H:B for
en kvadratisk form

B. Formningsforholdet H:B for
en pyramideform

C. Formningsforholdet H:D for
en rund form

**Positivformning med
forblæsning (Mulighed 1)**

Målet med forstrækningen er at lave en forformning, så dennes konturer og godstykkelsesfordeling giver optimal godstykkelsesfordeling ved selve formningen af emnet.

Formningen af emnet sker, når der alt efter maskintype, udrustning og formopbygning:

- Sugés med vakuum
- Trykkes med trykluft
- Sugés med vakuum på formsiden og trykkes med trykluft på ydersiden af pladen
- Foretages prægning, trykning eller kalibrering af begrænsede områder
- Trykkes ved hjælp af fx stænger eller skiver for det meste for at undgå finner under formningen

Formningsforhold

Formningsforholdet er forholdet mellem den maksimale formningsdybde (højde) H og bredden B eller diameteren D af formfladen. Formningsforholdet giver ingen præcis oplysning om strækningen af pladen.

Formningsforholdet beregnes som vist til venstre.

Positivformning**Positivformning med forblæsning**

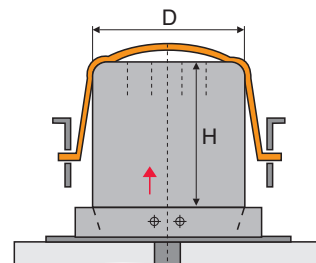
Bemærk: Arealet af overfladen på forblæsebobbelen skal ikke være større end emnets overflade.

Mulighed 1: Til formning af emner, hvor formningsforhold $H:D \leq 1:1,5$ (dvs. korteste formbredde er minimum 1,5 · formhøjden), kan man med fordel anvende strækning af pladen med forblæs. Derved fås følgende formningsforløb:

- Opvarmning
- Forblæsning til bobleløjde H = formhøjde H
- Form køres op
- Vakuum tilsluttes ved form oppe

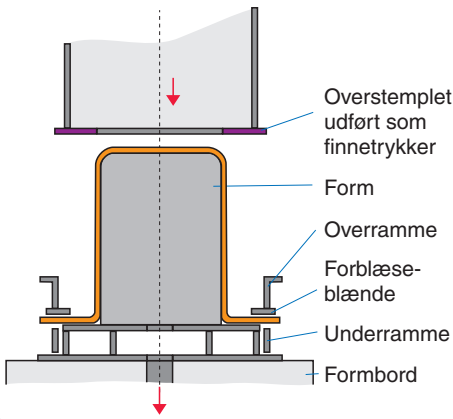
Ved dette formningsforløb vil følgende ændringer have indflydelse på emnets godstykkelsesfordeling:

- Mindre boble medfører tykkere bund
- Større boble medfører tyndere bund og finner (folder)

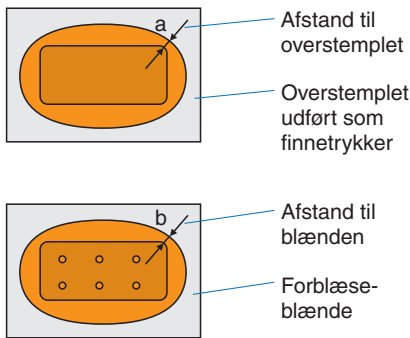
Positivformning med forstrækning med forblæsning og form (Mulighed 2)

Mulighed 2: Til formning af emner med formningsforhold $H:D \leq 1:1$ (dvs. korteste formbredde er minimum lig formhøjden) kan der med fordel anvendes forblæsning med samtidig forstrækning med formen. Derved fås følgende formningsforløb:

- Opvarmning
- Forblæsning og samtidig opkøring af form
- Vakuum tilsluttes ved form oppe



A Form med blænde



B Blænde og overstempel (finnertrykkes)

Hjørnefolder ved kantede geometrier kan fjernes ved at:

- Formindske vakuumsugearealet (størrelse, antal huller og slidser) samt vakuumsugehastigheden
- Gøre radier på lodrette kanter større
- Reducere pladearealet ved afblænding af hjørner på overrammen
- Eventuelt opvarme plastpladen mere

Mulighed 3: Til formning af emner, hvor formningsforhold $H:D \leq 1,5:1$ (dvs. formhøjden er større end 1,5 · formbredden) kan det være nødvendigt at anvende forstrækning med forblæsning og form samt forhindring af folder med overstempel, nedholder eller blænde med følgende formningsforløb:

- Opvarmning til lavest mulige formningstemperaturer
- Kraftig forblæsning
- Form køres op
- Vakuum slutes til ved "form oppe". Lavest mulige sugehastighed vælges
- Finnertrykkeren/overstempet køres ned med en hastighed, der følger formningshastigheden, så eventuelle finner trykkes væk, inden de dannes

Termoformning af emner med meget stort formningsforhold
Øverste del af figuren til venstre viser udførelse af eventuel blænde og finnertrykning.

Hvis blænden fastgøres i overrammen, gælder følgende for afstanden a: $a \approx (0,15 \text{ til } 0,20) \times \text{formhøjden } H$.

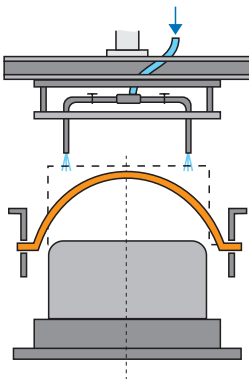
Blænden muliggør højere forblæsning, uden at der kommer folder, samtidigt kan der blæses højere, uden at plastpladen rører overrammen og får mærker af den.

Afstanden b mellem form og overstempel (finnertrykkerringen): $b = 1,5 \times \text{pladetykkelsen}$.

Positivformning med forblæsning og køleluftsdyse

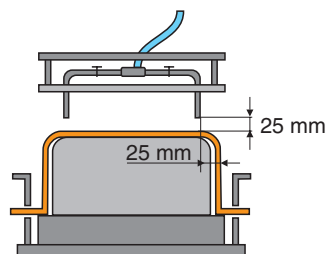
Hvis der under forblæsningen af plastpladen køles lokalt med kold luft, strækkes de afkølede områder mindre. Dermed kan hjørner ved både positive og negative forme holdes tykkere, hvis køleluftsdyserne indstilles til at køle de rigtige områder. Her kan der ved indkøring anvendes plader med indtegnet gitter.

A. Positivformning med køling gennem hjørnekøledysen



A

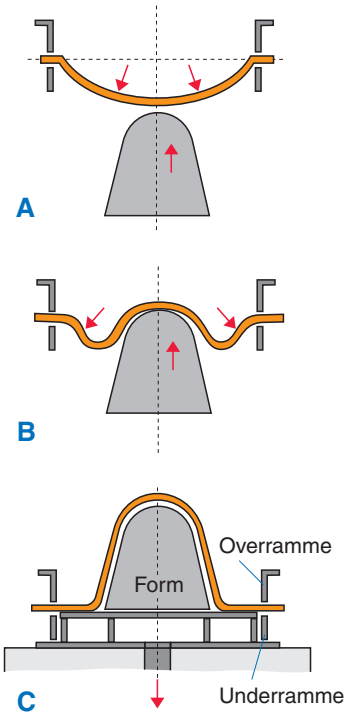
B. Indstillingseksempel med hjørnekøledysen



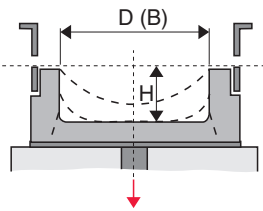
B

Fordelene ved køleluftsdyse er:

- Der er ingen berørings-/kontakmærker på emneoverflader
- Luftmængde, luftspredning, blæsetretning og blæsetid er - alt efter luftdysetype og maskinstyring - styrbare
- Luftkøling er meget mere effektiv end styring af temperaturen på varmelegemerne



Positivformning med forsugning i blæsekassen
A til C viser procesforløbet.



Negativformning uden forblæsning
B = bredde (ved kantede emner)
D = diameter
H = højde

Positivformning med forsugning ned i blæsekassen

Målet med dette procesforløb er, at den nedadbuende plade nærmest rulles på den koniske form. Derved forhindres, at pladen glider på formen.

Fordelen ved dette procesforløb er:

- God godsfordeling sikres ved forme med meget skrå sider
- Luftindslutninger forhindres ved forme med gode formkonturer, også hvis formoverfladen er poleret meget glat
- ”gardiner” forhindres, da pladen ikke glider på formen
- Nedkøling af pladen er mindre end ved forblæsning

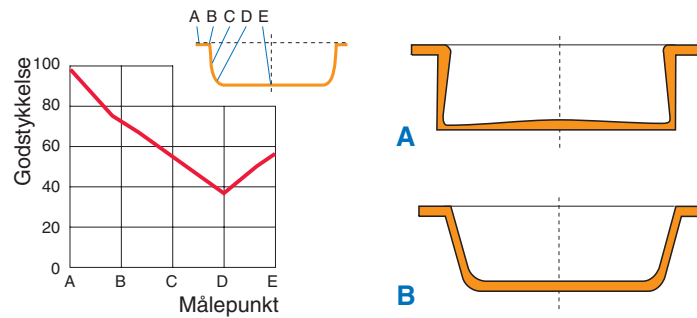
Negativformning

Negativformning uden forstrækning

Negativformning uden forstrækning (overstempel) anvendes til formningsforhold op til $H:D < 1:3$ (dvs. korteste bredde er minimum tre gange formdybden).

I figuren herunder i midten ses godsfordelingen ved et negativformet emne. Det tykkeste område på emnet er kanten (A), det tyndeste område er overgangen mellem bund og sidevæg (D). Store radier mellem bund og sidevæg eller stor vinkel mellem bund og sidevæg forbedrer godsfordelingen.

Der findes gunstige og dårlige udformninger af emner med hensyn til at kunne styre godsfordelingen.



Principiel godsfordeling ved negativformning

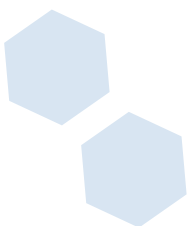
Ved formningsforholdet
 $H:D = 1:3$

Godsfordeling afhængigt af emneudformning ved formningsforhold $H:D = 1:3$

- A. Dårlig udformning
B. Gunstig udformning

Ved negativformning uden forstrækning ved $H:D = 1:2,5$ kan der fremstilles emner med god godsfordeling, også hvis det ikke er muligt at anvende overstempel, når:

- Der på grund af overstempelemærker ikke kan anvendes overstempel
- Emnet er så stort, at plastpladen kan opvarmes forskelligt, så visse områder bliver varmere end andre. De mindre opvarmede eller præcist afkølede områder (se positivformning med forblæsning og køleluftdyser) strækker sig mindre end de varmere områder af plastpladen

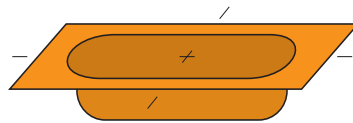
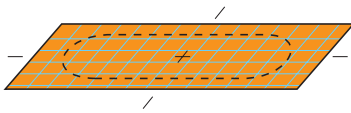


Produkteksempler på denne procesvariant er badekar, brusenicher og håndvaske.

Procesforløb:

- Forformning med forblæsning, hvis flangeområdet på emnet er over pladeniveau
- Formning med vakuum

Et gitter tegnet på plastpladen, der svarer til størrelsen og fordelingen af varmelegemer i overvarmen, gør det lettere at foretage systematisk indstilling af varmebilledet.



Fremstilling af et termoformet badekar

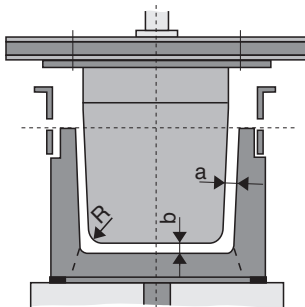
Kantområderne varmes mere op end bundområdet.

Plastpladen har et gitter påtegnet til fastlæggelse af pladens strækning og indstilling af varmebilledet.

Negativformning ved forstrækning med overstempel

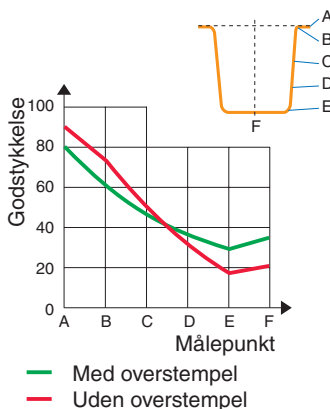
a og b = afstande mellem stempel og form

R = radius



Godstykkelsesfordeling med og uden overstempel

Formningsforhold $H:D > 1:3$



Negativformning med mekanisk forstrækning

Ved et formningsforhold i negativformning på $H:D \geq 1:3$ er det nødvendigt at anvende et overstempel til forformning af plastpladen. Friktionen mellem pladen og overstempet holder på materialet, mens det trykkes ned i formen. Det medfører, at der kommer mere materiale ned i bunden af formen, hvorved godstykkelsen i området øges.

Godsfordelingen afhænger hovedsageligt af:

- Overstempeludformning
- Overstemplets afstand til formen (indbygningshøjden)
- Bevægelsesmønster mellem form og overstempel
- Pladetemperatur
- Overstempelmateriale
- Overstemplettemperatur

Procesforløb:

- Opvarmning
- 'Form op' samtidig med 'overstempel ned'. Ved grundindstilling skal form og overstempel nå deres endeposition samtidigt
- Vakuum slutes til ved enten 'bord oppe' eller 'overstempel nede'
- 'Overstempel op'
- Køling
- Afformning

Bunden af emnet bliver tykkere, hvis:

- Bevægelsen 'bord op' forsinkes, eller hvis overstempet når dets endeposition før formen
- Afstanden mellem stempelbund og form er mindst mulig
- Stemplet er så stort som muligt (lille afstand mellem stempele side og form og lille stempele radius (R))

Opvarmning

Der stilles bestemte krav til opvarmning af plastpladen på plademaskiner ved termoformning.

Jævn temperaturfordeling på plastoverfladen skal tilstræbes uafhængigt af maskintype og emne. Formningstemperaturområdet er relativt stort for de fleste plastmaterialer, men for at opnå et godt formningsresultat må man sørge for, at plastpladen har minimal temperaturvariation.

En ønsket temperaturvariation ved opvarmning af pladen kan være nødvendig ved formning af visse emner. Ved fx forblæsning af to eller flere bobler ved samme formning (flerestyksform), hvor boblerne skal have forskellig højde og/eller forskelligt areal, kan en temperaturforskel være fordelagtig.

Ved store emner med formningsforhold $H:B > 1$: an godsfordelingen ændres, ved at pladen opvarmes forskelligt i visse områder. Man kan arbejde effektivt med en variation i opvarmning af pladen, hvis dens længde og bredde er tre gange større end varmelegemestørrelsen.

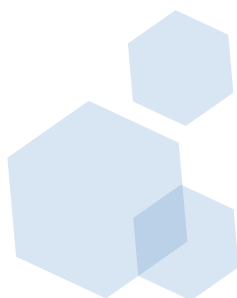
Det er nødvendigt med god og ensartet gennemvarmning ind gennem pladens tykkelse for at opnå god fuldformning af emnet. Ved intensiv og hurtig opvarmning af tykke plader (fra ca. 4 mm) kan pladens overflade blive termisk skadet, inden pladens midte er oppe på formningstemperaturen.

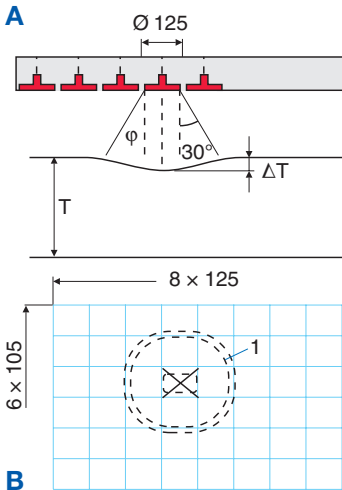
For at opnå ensartede emner må varmebilledet være ens fra første til sidste emne.

Den varme (effekt), der kan overføres til plastpladen, afhænger af følgende faktorer:

- Den maksimale stråletemperatur er afhængig af tilslutningseffekten. Jo højere stråletemperatur, des kortere opvarmningstid.
- Den overførte varmemængde bliver større, jo kortere afstanden mellem pladen og varmeelementet er. Jo kortere afstand, des kortere opvarmningstid.
- Den overførte varmemængde og regelmæssigheden af opvarmningen stiger med den del af varmepladen, der varmer, i forhold til hele varmepladen. Hvis der er afstand mellem varmeelementerne, bør dette ”hul” i varmepladen fjernes ved hjælp af en reflektor. Ingen reflektor kan reflektere 100 %, og de taber yderligere i effektivitet, i takt med at de bliver snævset.
- Varmeelementoverfladen skal være af et materiale med høj udstrålingsfaktor.
- Den overførte varmemængde afhænger desuden af:
 - Refleksionsgraden, der er afhængig af varmestralernes bølgelængde og plastpladens/foliens type og farve.
 - Transmissionsgraden, der er afhængig af varmestralernes bølgelængde og plastpladens/foliens type, farve og tykkelse.
 - Absorptionsgraden, der er den del af den tilførte varme, der bliver i plastpladen/folien. Den reciprokke værdi af absorptionsgraden ($1/\text{absorptionsgrad}$) kaldes indtrængningsdybden. Den beskriver den afstand, hvor intensiteten af den tilførte varme er faldet til 37%. Værdien er meget afhængig af varmestralernes bølgelængde og af plasttypen.

Størrelsen af den bestrålede flade har også betydning. Varmeelementet opvarmer ikke kun materialet lige nedenunder sig, men udstråler ligesom





Størrelsen af det område, et varmeelement påvirker

A. Set fra siden B. Set fra oven

1 = det område, der påvirkes i praksis

φ = strålingsvinkel

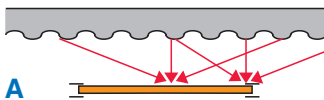
T = pladetemperatur

ΔT = den opnåelige temperaturforskell på pladen med en standardvarmeskærm

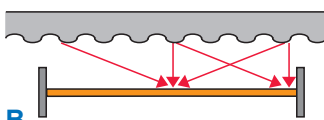
Opvarmning i randområder

A. Uendelig varmeplade og "ingen" spændramme som idealtilfælde.

B. Praktiske forhold ved opvarmning af plader i spændramme.



A



B

Refleksionsflader ved fastholdelse af en plade i spændrammen på en plademaskine

en elpære uden reflektor i alle retninger. Der er altså ikke tale om nogen fokuseret stråling. Derfor er afskærmningen af varmepladen vigtig. Alle områder af plastpladens overflade bliver opvarmet af samtlige varmeelementer i varmepladen, så længe de ikke er afskærmet eller fokuseret. Det gælder derfor, at slukning af et varmeelement virker over hele fladen, dog med den største virkning umiddelbart under varmeelementet. Temperaturforskellen er størst under midten af det slukkede varmeelement og aftager, jo længere man kommer ud. I praksis slutter påvirkningen på pladen efter en vinkel på 30° . Et slukket varmeelement bliver opvarmet af dets naboer og vil så stråle med den temperatur, som den har opnået.

Opvarmningsmetoder

I dag anvendes tre forskellige opvarmningsmetoder:

- Strålevarme:
 - Keramiske varmeelementer
 - Kvarts-varmeelementer
 - Halogen-varmeelementer
 - Gas-varmeelementer
- Kontaktopvarmning
- Konvektionsopvarmning (varmluftsovn)

Keramiske varmeelementer er langt de mest anvendte.

Styringen af elektriske varmeelementer

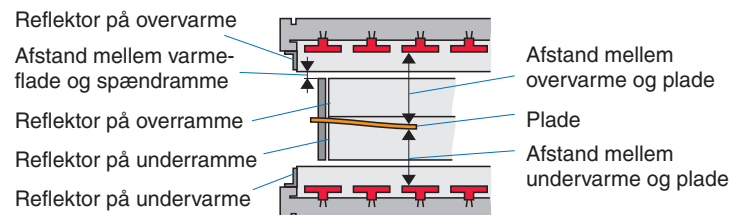
Tilslutningseffekten på et varmeelement er uden betydning, så længe det kan opnå den ønskede temperatur. Hvis varmeelementets temperatur styres af en pilotstråler (et varmeelement med indbygget termometer), skal pilotstråleren og de paralleltkoblede varmeelementer være ens i tilslutningseffekt, vægt, størrelse og udførelse. Varmetabet for hvert varmeelement skal også være sammenligneligt.

Opnåelse af ensartet opvarmning

Figur A til venstre viser et teoretisk idealtilfælde af ensartet opvarmning for en uendeligt stor varmeplade og rammehøjde lig nul. I figur B vises de forhindringer fx rammer, der findes i forhold til idealet.

Ved overholdelse af følgende regler kan man i praksis komme meget tæt på idealet:

- Rammerne skal reflektere. Der kan anvendes aluminiumtape (overrammen) eller aluminiumspray med mindst 99,5 % aluminium (underrammen - der er risiko for, at alutape skrælles af og lægger sig på formen).
- Varmepladernes reflektorer og rammernes reflektorer må ikke ændre højde rundt om pladen ved grundindstillingen.
- Reflektorhøjden på varmepladerner skal vælges, så den lodrette afstand mellem varmepladen og spændrammen bliver mindst mulig.



Sammenligning af de forskellige varmeelementtyper

Væsentlige forskelle mellem keramiske, kvarts-, halogen- og gas-varmeelementer

Varmeelementtype				
Egenskaber	Keramisk	Kvarts	Halogen	Gas
Energi	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Propangas ¹
Energiomsætning	Varmespiral	Chrom/nikkel-stål Varmespiral	Wolfram Varmespiral	Katalytisk forbrænding
Varmestrålekilde	Keramikoverfladen	Spiral + kvarts- overfladen (rør)	Spiral + kvarts- overfladen	Beklædte keramikfibre
Stråletemperatur	300-700 °C Maksimalt 800 °C	Spiral < 1.100 °C Kvarts < 500 °C	Spiral < 2.400 °C Kvartsglas < 950 °C	Op til 600 °C
Vægt	Moderne varmelementer er lettere end kvarts ²	Tung ³	Meget let ⁴	
Opvarmningstid	< 10 min	< 10 min ⁵	< 1 s (3 min) ⁶	< 20 min
Tilslutningseffekt	16,6-25 kW/m ² (til 700 °C ca. 38,4 kW/m ²)	16,6-50 kW/m ²	50-75 kW/m ²	1.350 g butan/m ² varmeblade ved maks. 430 °C plus lufttilførsel
Energiforbrug ved opvarmning	Op til 75 % af tilslutningseffekten ⁷	Op til 75 % af tilslutningseffekten	Op til 85 % af tilslutningseffekten	30 % mindre end keramik og kvarts
Energiforbrug i hvile	Ca. 25 % af tilslut- ningseffekten ⁸	Ca. 25 % af tilslut- ningseffekten ⁹	0 %	Ca. 25 % af tilslut- ningseffekten
Ændring af stråletemperatur	Langsomt	Spiral hurtigt Kvartsmassen langsomt	Spiral meget hurtigt Kvartsglasset hurtigt, da det er let	Relativt hurtigt
Indstillingsmuligheder	Effektindstilling i % eller regulering af temperaturen ¹⁰	Effektindstilling i % (regulering af tempera- turen ¹¹ er specialudrustning)	Effektindstilling i %	Regulering af temperaturen
Reproducerbarhed af varmebilledet (på kort sigt)	I varianten med temperatur- målere på alle varme- elementerne meget god ¹²	Ikke så god, hvis varme- elementerne er indstillet i %, og der ingen IR-sensorer er ind- bygget i maskinen ¹³	God til meget god, ¹⁴ hvis udgangstempe- raturen af plastpladen er konstant	Meget god, ¹⁵ men følsom
Reproducerbarhed af varmebilledet (på langt sigt)	Meget god ¹⁶ (gamle varmelementer = nye varme- elementer)	Mindre god ¹⁷ (gamle varmelementer er forskellige fra nye)	Dårlig, da der er stor afhængighed af reflektoren ¹⁸	
Levetid	~ 10.000 timer	~ 5.000 timer	~ 5.000 timer	
Funktionskontrol	Besværlig	Let, kan ses	Let, kan ses	Besværlig
Termisk belastning på maskinen	Høj ¹⁹	Høj ²⁰	Meget lav ²¹	Middel
Stråleområde (bølglængde)	Bredt (maks. ved 3-5 µm)	Bredt (maks. ved 2-4 µm)	Bredt (maks. ved 1-2 µm)	
Anvendelsesområde (materialer)	Universelt	Universelt	Delvis indskrænket ²²	Universelt
Indflydelse af materialefarven	Næsten ingen indflydelse på opvarmningstiden	Næsten ingen indflyd. på opvarmningstiden	Forskel på opvarmningstiden ²³	
Anvendelsesområde (maskintyper)	Universelt	Universelt	Anvendes pt. kun i plademaskiner ²⁴	Begrænset ²⁵
Beskyttelses- afdækning	Nej	(Nej)	Kan være nødvendigt	Nej
Rengøring	-	-	Af beskyttelsesglas	-

Forklaring til tabellen

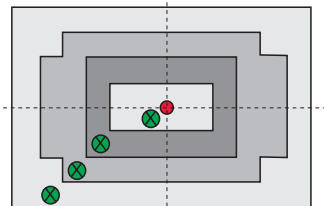
- Methan eller flydende propangas.
- Keramik: Elstein HTS/2, mål: 122 x 62 mm, vægt: 130 g. Kvarts: TQS FSK, mål: 124 x 62 mm, vægt: 178 g.
- Viklingerne bliver meget hurtigt røde, men den øvrige masse, kvarts, glasset og keramikfatningerne, tager lige så lang tid om at blive opvarmet som ved keramikvarmestraler.
- Halogenvarmeelementer er indtil seks gange lettere end kvarts-varmeelementer. Halogen-varmeelementer varmer straks (0,2 s), selv om kvartsglasset først bliver varmt senere.
- Ydelsen vælges således, at elementet kan reguleres i temperatur i opvarmningstiden.
- Hvis varmeelementerne står i beredskab over en reflektor, uden at deres temperatur sænkes, anvendes kun ca. 25 % af deres tilslutningsværdi.
- Som ved pkt. 6. Forskellen er, at man her normalt ikke angiver en temperatur, men indstiller en effekt. Kvartselementets temperatur gives af forskellen mellem den indstillede, tilførte effekt og den ikke konstant afgivende effekt.
- For det meste angives en temperatur, der styrer keramikvarmeelementerne. Elementernes samlede ydelse og varmetab (til plade og omgivelser) kobles sammen i grupper, der styres af et element med indbygget temperaturmåler.
- Variant 8 er ikke normal, selv om den er udviklet.
- Når varmebilledet er indstillet, og styringen af stråletemperaturen har mindst tre pilotstråler, som har opnået den korrekte temperatur, kan der umiddelbart produceres.
- Ved indstillingen af opvarmningssystemet kontrolleres, hvor megen energi der tilføres. Varmeelementernes temperatur afhænger også af, hvor stor energifången til omgivelserne er. Det kan tage op til 30-40 min, før systemet er stabilt. Tiden kan forkortes ved hjælp af yderligere styring (temperatursensorer i over- og undervarmen).
- Den lave varmelementvægt tillader meget kort stabiliseringstid. Stråleender og sokler behøver længere tid til stabilisering. Hvis systemet er uden IR-sensorer, vil der være opvarmningsvariationer på de første emner. Ved anvendelse af afskærmning af varmebladen kan stabiliseringstiden forlænges til ca. 20 min.
- Temperaturen er meget afhængig af lufttilførslen og reagerer derfor meget på træk.
- Indtil en opvarmningstid på 200 sekunder kan der ikke praktisk fastslås forskelle mellem nye og gamle varmeelementer.
- Hvis gamle varmeelementer skiftes, kan der registreres forbedring i opvarmning. Reflektoren bliver med tiden snavset. Hvis man vil undgå dette, kan man beskytte reflektoren med en glaskeramikplade. Glaskeramikpladen bliver så selv en del af strålefladen, hvilket medfører, at systemets stabiliseringstid forlænges. Vælger man en integreret reflektor, bliver virkningsgraden dårligere, hvis den ikke reflekterer 100 %.
- Dette gælder kun for maskiner, hvor varmeelementerne har en hvileperiode ved hver takt. Tunge varmeelementer reagerer langsommere og skal derfor blive på anvendelsestemperaturen i hvileperioden.
- I hvileperioden bliver varmen slået fra ved plademaskinen. I opvarmningstiden varmer kortbølgede varmestraler de lakerede dele af maskinen.
- Der findes materiale fx dekorerede plader, der ikke kan opvarmes med halogen. Opvarmningstiden er afhængig af farven. Hvide plader kræver længere opvarmningstid end sorte.
- Fordelen ved halogenstråler er den lille varmepåvirkning af maskinen. Da gasforbrændingen kræver tilførsel af luft, kan denne metode ikke anvendes som undervarme i lukkede blæsekasser.

Ydelsesstyrede varmelementer

Til keramiske, kvarts- eller halogen-varmelementer indstilles varmebilledet ved denne styring ikke via varmelementets temperatur, men i procent af elementernes maksimale ydelse. Plastpladens/foliens temperatur er så et resultat af opvarmningstiden, varmelementets indstillede ydelse (%) og den ikke-kontrollerede temperatur af varmelementet.

Pladetemperaturstyrede varmelementer

Ved denne styring, der kan anvendes til keramiske, kvarts- og halogen-varmeelementer, overvåges pladens/foliens overfladetemperatur via en IR-temperaturmåler. Når pladens overflade når den indstillede overfladetemperatur, returnerer varmeelementerne. Temperaturen måles normalt under hele opvarmningen, men der findes andre styringer, der justerer opvarmningstiden ud fra temperaturen på de plader/folier, der er kørt umiddelbart forinden.



● Pilotstrålere

● Infrarød temperaturmåler (option)

Isotermregulering med diagonalt placerede pilotstrålere

Opvarmning med temperaturstyrede varmelementer

Keramikvarmelementer kan fås med temperaturmålere (pilotstrålere) til temperaturregulering af varmepladen. Varmeelementerne styres via pilotstråleren både i varmefasen og i hvileperioden.

Ved opstart af maskinen bliver elementerne opvarmet med 100 % opvarmningstid, indtil den ønskede temperatur er nået. Plade/folie-temperaturen bestemmes af varmeelementernes temperatur og opvarmningstiden, eller pladens temperatur måles i et punkt, og opvarmningstiden slutter, når dette punkt når en ønsket temperatur.

I hvileperioden kører varmepladen ind over en reflektor. I denne position reduceres energiforbruget til ca. 25 %. For at reducere opvarmningstiden på tykkere plader (fra ca. 4 mm), bliver der i starten intensivt opvarmet med en højere stråletemperatur. Derefter opvarmes med en lavere stråletemperatur (for at beskytte plastpladens overflade mod nedbrydning), indtil pladen har opnået den ønskede formningstemperatur. Ved varmeskabet i position 'tilbage over reflektoren' opvarmes pilotstråleren til den indstillede temperatur, mens pilotstråleren i position 'fremme over pladen' opvarmes til den indstillede temperatur minus temperatursænkningen (fx $599\text{ }^{\circ}\text{C} - 50\text{ }^{\circ}\text{C} = 549\text{ }^{\circ}\text{C}$).

I stedet for at anvende alle varmelementer som pilotstrålere, hvilket er kompliceret og dyrt, samles varmeelementer med samme temperatur i zoner (isoterm). Derved anvendes kun én pilotstråler pr. zone. Den reguleres til $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, og det tilkoblede varmelement tændes og slukkes sammen med pilotstråleren.

Ved flerzone-isoterm-opvarmning har varmepladen - alt efter maskinstørrelse - tre eller flere ringformede strålezoner med hver én pilotstråler. Ved passende temperaturindstilling af de enkelte zoner opnås ensartet temperatur på hele plastpladens overflade. De af maskinleverandøren anbefalede indstillinger for de enkelte zoner bør også anvendes ved produktion på små pladeformater. Kun ved meget små pladeformater kan temperaturen i den yderste ring sænkes. Det anbefales ikke at slukke totalt.

Ved flerzone-isoterm-opvarmning med flere pilotstrålere pr. zone kan man tilordne det enkelte varmeelement til en ønsket pilotstråler og derved skabe en ny zonefordeling. Det enkelte varmeelement vil så tændes og slukkes i takt med den pilotstråler, der er tilordnet. Derved opnås hurtigere stabil kørsel, end hvis man blot slukker for enkelte elementer.

Procesforløb

Se afsnit om positiv- og negativformning, hvor en række forskellige procesforløb er gennemgået.

Køling

Køling af det formede emne sker både fra form- og yderside.

Formsiden kan køles direkte eller indirekte:

- Ved direkte køling er formen temperaturstyret ved hjælp af kølekanaler i formen. Det giver ved korrekt udførelse den bedste kontrol med formens temperatur og dermed emnets køling på formsiden.
- Ved indirekte køling placeres formen oven på en køleplade, hvorefter varmeafgivelsen sker gennem kontaktfladen mellem køleplade og form.
- Forme kan også være uden hverken direkte eller indirekte køling: Ved formning opvarmes formen af en varmeplade. Mens den næste plade opvarmes, vil formen så afgive varmen til maskinen og luften i blæsekassen.



Den udvendige køling af emnet sker med køleblæser og eventuelt vandtågekøling. Køleblæserne blæser luft på emnet, der derved afkøles. I køleblæserne kan der være monteret vandforstøvere, der laver en vandtåge, som køler meget effektivt.

Ved emner med stor godstykkelse er det vigtigt, at emnet køles ensartet fra begge sider, da der ved stor forskel vil komme spændinger i emnet.

Afformning

Følgende faktorer har væsentlig indflydelse på afformningen:

- Afformningstemperaturen
- Slipvinklerne
- Underskæringen
- Positiv- eller negativform
- Afformningsluft
- Afformningshastighed
- Afformningshjælp i formen
- Formens overflade
- Friktion mellem form og emne

Afformningstemperatur

Et formet emne kan først afformes, når det på det tykkeste sted er så koldt, at det er formstabil. Hvis emnet er for varmt, vil det deformeres. Hvis det er for koldt, har køletiden været unødvendigt lang.

Ved positive forme vil den yderligere nedkøling betyde, at emnet bliver sværere at afforme, da det på grund af temperaturfaldet klemmes fast om formen.

Hvis der afformes ved højere temperatur, er emnet som følge af materialets varmeudvidelse større og lader sig derfor lettere afforme.

Ved positivværktøjer vil skrumpningen betyde, at emnet ”klemmer” mere og mere fast om formen. Ved negativværktøjer, enkeltstyks, vil skrumpningen betyde, at emnet løsner sig mere og mere fra formen.

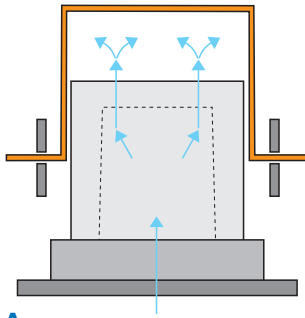
Ved positivforme kan skrumpningen i ekstreme tilfælde betyde, at emner i fx PS eller PMMA revner før eller under afformningen. Andre materialer fx PC revner ikke, men klemmer så hårdt om formen, at afformning er umulig.

Formkonstruktion med god afformning

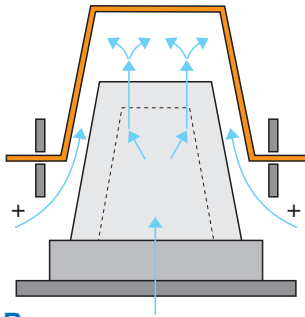
Ved forme med for lille slipvinkel må man tilføje afformningsluft gennem formen under hele afformningen. Ved større slipvinkler må man også tilføje afformningsluft gennem formen, men når afformningen først er begyndt, kan luften strømme ind i den stadig større spalte, der opstår mellem form og emne.

Dette betyder i praksis: For små slipvinkler kræver præcis tilpasning af afformningsluft og afformningshastighed. Jo højere afformningshastighed, desto sværere bliver tilpasningen af afformningsluft. Ved små slipvinkler kan der derfor kun afformes langsomt.

Hvis der kræves små slipvinkler, bør man foretrække negativformning frem for positivformning.



A



B

Slipvinklernes indflydelse på afformningen

A. Slipvinkler $< 0,5^\circ$ B. Slipvinkler $> 0,5^\circ$

Ved negativformning i étstyksforme er 0° slipvinkel mulig, dog kun ved langsom afformning. Det er dog ikke anbefalelsesværdigt at forme uden slipvinkel.

Ved positivforme må man ikke gå under slipvinkler på $0,5^\circ$. En slipvinkel på 0° er kun mulig, hvis der er en større slipvinkel overfor, så denne kan kompensere. Almindeligvis skal slipvinklerne på positivforme være $3-5^\circ$.

Trykudligning og afformningsluft

Under afkølingen bliver emnet holdt presset til formen af vakuomet eller tryklufte. Før emnet løsnes fra formen, skal vakuum eller trykluft afbrydes, og der skal ske trykudligning til atmosfæren. Det aflaster emnet og skaber samtidig en reproducerbar udgangsposition for styring af afformningen. Ved rene trykluftmaskiner afformes mekanisk med udstødere.

Afformningshastighed

Hurtige bevægelser er sværere at styre end langsomme, hvilket også gælder for indstrømning af afformningsluft. Både for lidt og for megen afformningsluft ved en given afformningshastighed fører til deformation af emnet.

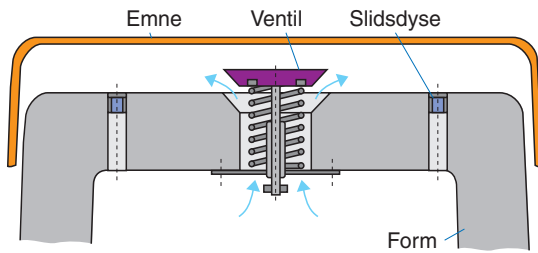
Afformningshjælp

Til øgning af afformningsluft kan anvendes store luftventiler, som har et stort areal, hvilket betyder, at der kan strømme store mængder luft gennem ventilen. Ventilen leveres med diameter på 40-80 mm. Også slidsdysen med diameter på 4-12 mm kan anvendes til øgning af luftarealet.

Selv om det ikke er nødvendigt at anvende overstempler for at få god godsfordeling ved formning af flade emner, kan de anvendes som afformningshjælp til at forhindre deformation af emnet.

Hvis emner er svære at afforme, bliver de deformet af både for lidt og for megen afformningsluft. Her kan det hjælpe med et overstempel, der følger emnets form så præcist som muligt. Ved afformning placeres dette stempel 1-3 mm over emnet, der nu kan blæses hårdt af formen, da det blot bliver trykket op mod stemplet uden at blive deformet. Til slut kan formen køres ned.

Hvis overstempelen anvendes både ved formning og afformning, må man skelne mellem rulleautomatmaskiner, hvor kølingen af emnet udelukkende sker gennem

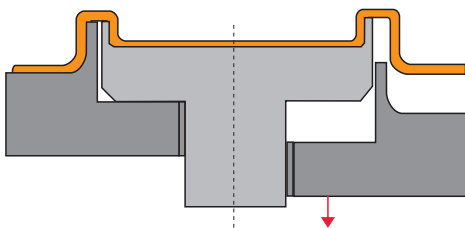


Hurtiglufventil

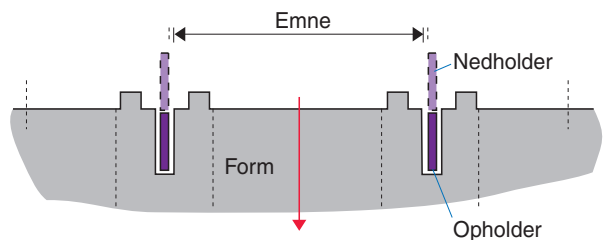
Form med udstøder som afformningshjælp (mekanisk afformningshjælp)

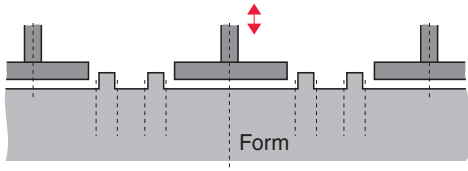
Venstre del: Udstøder i formningsposition

Højre del: Udstøder i afformningsposition



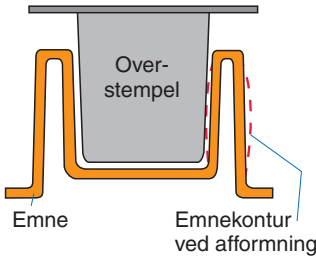
Opholder placeret i underrammen som afformningshjælp



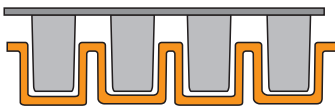


Overstempel som afformningshjælp til flade emner

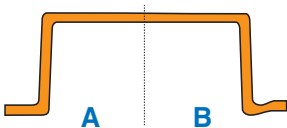
Hovedformålet er at forhindre deformation af emnet.



Overstempel som afformningshjælp ved enkeltstyksform



Overstempel som afformningshjælp ved flerstyksform



Deformationer ved afformningen som følge af for høj friktion

- A. Emne i orden
- B. Emne deformeret

Procesforløb

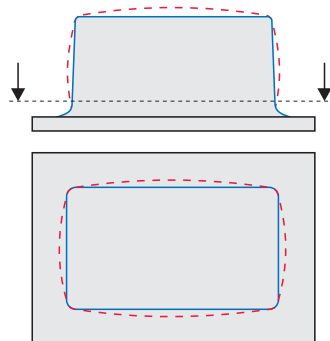
- Formning med overstempel
- Overstempel kører op
- Køling
- Overstempel kører ned (anden overstempelbevægelse)
- Afformning. Afformningsluft presser emnet mod overstempelt, mens form kører ned
- Overstempelt kører op
- Spændramme åbnes
- Emne tages ud

Formoverflader

Ru formoverflader er bedre for afformningen end glatte, da de lader afformningsluften komme ind mellem form og emne. Ved stærkt nubrede overflader skal der anvendes større slipvinkler - gerne større end 5° - da nubringen ellers kan ødelægges.

Friktion mellem emne og form

For høj friktion ved afformning fører til ridser, afrivning af materiale fra emnet eller i værste fald deformation af emnet.



- Formkontur
- - - Emnekontur ved afformningen pga. afformningsluften

Kritiske friktionssteder ved afformning

Praktiske råd

Kanter på kantede positivværktøjer må i modsætning til fladerne poleres.

Slipmiddel bør kun anvendes til prøveforme. Velegnet slipmiddel er blød sæbe til træværktøjer, PTFE og silikoneolie til aluminiumforme. Endvidere kan der købes specialslipmidler.

Ved forventede afformningsproblemer på produktionsværktøjer kan formen beklædes. Aluminiumforme kan om nødvendigt galvanisk beklædes med et lag porøst chrom eller nikkel, hvori der indsintres PTFE.

Underskæringer

Ved mindre underskæringer kan man ved visse plastmaterialer afforme uden løse kerner, kernetræk, klibbare forme og lignende.

formen, og plademaskiner, hvor kølingen også sker fra ydersiden. Her må stemplet ikke blive nede, men skal væk under kølingen for ikke at spærre for denne. Derfor er det her nødvendigt med to stempelnedkøringer, første til formningen, anden til afformning.

Produkteksempler på to overstempelnedkørsler er svært afformbare emner med fx stejle sider med relativt dårlig stivhed og stærk tendens til deformation eller forme med underskæringer.

Overstempelt skal have samme konturer som emnet, så emnet ikke deformeres ukontrollabelt af afformningsluften.

Materialeegenskaber, der har indflydelse på termoformprocessen

Typiske termoplast, der forarbejdes ved termoformning

Amorfe:

PVC, PS, SB, SAN, ABS,
ASA, PMMA, PC, PPO, CA,
CAB, CP, PSU og PES

Delkrystallinske:

PEHD, PELD, PP

Næsten alle glasklare termoplast er amorfe, men ikke alle amorfe termoplast er glasklare, da de kan være modificeret eller indfarvet. Delkrystallinske termoplastmaterialer er på grund af den delvist ordnede molekylstruktur ikke glasklare, men derimod mere eller mere uigennemsigtige afhængigt af krystalliniteten.

Amorfe og delkrystallinske termoplast har et begrænset anvendelses temperaturområde. Under glasovergangstemperaturen (T_g) er materialerne ofte sprøde. Med stigende temperatur reduceres materialets stivhed og styrke, derimod stiger dets formningsevne, hvilket muliggør termoformning. Den øvre anvendelsestemperatur er begrænset af den nødvendige materialestivhed. Inden for et temperaturinterval kan materialets termisk længdeudvidelseskoefficient antages at være lineær.

Ved opvarmning af plastplader kan følgende forskelle observeres: Amorfe materialer kan formes allerede ved temperatur over glasovergangstemperaturen (blødgøringstemperaturen). Hvilken temperatur der anvendes ved formningen, er dog afhængig af materialet og den anvendte proces. Ved vakuumformning anvendes højere temperatur end ved trykformning.

Delkrystallinske termoplast er aldrig fuldstændigt krystallinske, men har amorfe og krystallinske områder. Hvis materialet har lav krystallinitet, er det muligt at forme materialet lige under den krystallinske smelte-temperatur (T_m). Ved højere krystallinitet må man anvende højere formningstemperatur end T_m .

Ligger anvendelsestemperaturen af et færdigt emne af et delkrystallinsk materiale højt, eller skal materialet fx kunne steriliseres ved høj temperatur, må emnet for at kunne forblive stabilt have været næsten fuldstændigt smeltet ved formningen. Det betyder, at formningstemperaturen må vælges tilstrækkeligt højt. Det vil sige, at man med stigende formningstemperatur mindsker de spændinger, der opbygges i materialet ved formningen. Dette gælder også for amorfe materialer.

Optagelse af fugt

Folier og plader af termoplast kan optage vand (de er hygroskopiske), hvis materiale eller additiver er hygroskopiske, fx talkum, sod og visse farvestoffer. Hygroskopiske plastmaterialer er fx ABS, ASA, CA, ekstruderet PMMA, PC, PET-A, PSU, PES og ikke mindst PA.

Hygroskopiske råvarer pakkes normalt lufttæt, og der åbnes først i forbindelse med forarbejdningen, da der ellers optages fugt fra åbningen af pakken til forarbejdningen (det er dog tit alligevel nødvendigt at udtørre materialet). Det er svært at bestemme et materiales fugtighed med enkle midler. Hvis materialet er fugtigt, vil der ved formning opstå blærer i overfladen af pladen. Det er derfor nødvendigt at fortrørrer hygroskopisk materiale, der er fugtigt, for at kunne forarbejde det. Ved normal luftfugtighed kan plastplader/folier opbevares relativt kort tid i fri luft, inden det er nødvendigt at fortrørrer igen. Denne tid er dog afhængig af pladernes tykkelse, og om de ligger i en stabel eller på en rulle. Hvis leverandøren ikke medsender udtørningsdata, kan man anvende fortrørringstemperatur og -tider i tabellen "Egenskaber ved termoform-materialer", der findes senere i dette kapitel.

Materialerne udtørres i en ovn. Det er vigtigt, at pladerne placeres sådan, at tørreluften kan cirkulere omkring begge sider af pladerne.



Praktiske tips mod klæbning

- Materialet glider lettere over let sand eller glasblæste eller let håndslæbne værktøjsoverflader end ved hårdt sandblæste eller højglanspolerede overflader. Kun ved positivværktøjer, hvor materialet glider hurtigt over hjørnerne, bør disse hjørner højglanspoleres.
- Hvis materialet har en tendens til at klæbe til formen, kan friktionen mindskes ved at sænke formtemperaturen.
- Coekstruderede materialer kan være særligt slemme til at klæbe til formen, især hvis materialerne har meget forskellig formningstemperatur. Ved coekstruderede plader af ABS og PMMA er der normalt ingen problemer, da de to materialer har næsten samme formningstemperatur. Derimod kan der opstå problemer ved formning af coekstruderet PS og PE, hvor PE ved den nødvendige formningstemperatur for PS kan være meget klæbende.
- Form ved så lav formningstemperatur som muligt.
- Opvarm den klæbende side mindre end den modsatte.
- Hvis den klæbende side er mod formen, så anvend så kold en form som muligt.
- Hvis den klæbende side er mod et overstempel, så anvend et overstempel af PTFE eller et aluminiumoverstempel beklædt med PTFE.
- Hvis materialet er med antiblockbelægning, skal man være ekstra påpasselig, da ændring i antiblockbelægningen kan medføre problemer.

Materialernes friktion ved termoformning

Materialernes friktion spiller en rolle ved termoformning, hvis materialet skal glide på formværktøj eller overstempel under formningen. Det sker fx ved anvendelse af overstempel til forstrækning af materialet ved negativformning og ved pladens berøring af formen, når denne køres op under positivformning.

Hvis friktionen er meget høj, klæber materialet til form eller overstempel ved første berøring, og yderligere strækning af materialet i dette område er umuligt. Hvis friktionen er meget lille, fx ved anvendelse af beklædte overstempler eller overstempler af PTFE, glider materialet let over kontaktfladen. Det kan give problemer, hvis man ønsker at få et tykt bundområde i en negativform. Det går ikke, hvis materialet glider for let over overstemplet, der derfor ikke "låser" nok materiale og derfor ikke bringer det med ned i hullet. Bunden af et sådant område vil derfor altid blive tyndt.

På formsiden bliver friktionen bestemt af:

- Formmaterialet
- Værktøjstemperaturen på kontaktfladen
- Overfladeruheden

På materialesiden bliver friktionen bestemt af:

- Materialet mod formen (fx ved coekstruderede plader)
- Overfladebehandling og beskaffenhed (evt. antiblock, slipmiddel, talkum)
- Materialetemperatur ved formkontakt

Krymp og formsvind

Ved krymp forstås man ved termoformning den mål-ændring, en plade eller et emne får ved opvarmning. Det er en fordel, hvis man inden formningen undersøger materialets krymp ved hjælp af en krympetest på pladen.

- Man laver et udsnit på ca. 200 × 200 mm og laver en nøjagtig opmåling af udsnittet. Målene noteres, og ekstruderingsretningen markeres på pladen.
- En varmluftovn opvarmes til materialets formningstemperatur.
- Udsnittet lægges oven på en talkumbestrøet PTFE-film, der er fastgjort på et bræt. Udsnittes pudres også med talkum ovenpå og dækkes løst med en PTFE-film, der fæstes på brættet med nåle, hvorefter det hele placeres i ovnen.
- Brættet skal blive i ovnen i minimum 30 min plus 5 min for hver 0,5 mm pladetykkelse.
- Når denne tid er gået, tages brættet og pladeudsnittet ud af ovnen og afkøles.
- Herefter opmåles pladeudsnittet igen, og følgende beregning laves:

Anisotropi

det forhold, at materialer har forskellige egenskaber i forskellige retninger.

Krymp i % =

$$\frac{(\text{mål før opvarmning} - \text{mål efter opvarmning}) \times 100}{\text{mål før opvarmning}}$$

For at fastslå om der er *anisotropi*, anbefales det at måle krympet både i længde- og tvær-retningen (ekstruderings- og maskinretningen). Hvis der ved en ny leverance af plader er problemer med folder, udtrækning af rammen, eller for stort krymp ved opvarmning, kan sammenligning med tidligere leverancer være nyttig. Forskellige fremstillingsparametre hos de to partier giver forskellige krympeprocenter og dermed forskellig opførsel ved termoformning.

Ved formsvind forstår man de målforskelle, der findes mellem formen og emnet. Man kan opdele formsvindet i forarbejdningsvind og eftersvind:

$$\text{Formsvind i \%} = \frac{(\text{formmål} - \text{emnemål}) \times 100}{\text{formmål}}$$

Målene på form og emne skal tages 24 timer efter formningen og ved 23 °C, hvis man vil følge normen.

Ved visse plasttyper kan der afhængigt af forarbejdningsbetingelser allerede efter kort tid i stuetemperatur måles et eftersvind.

Hvis det ved efterfølgende forarbejdning er nødvendigt at fastholde det formede emne i en fikstur, fx ved CNC-fræsning, er det nødvendigt at kende det samlede svind.

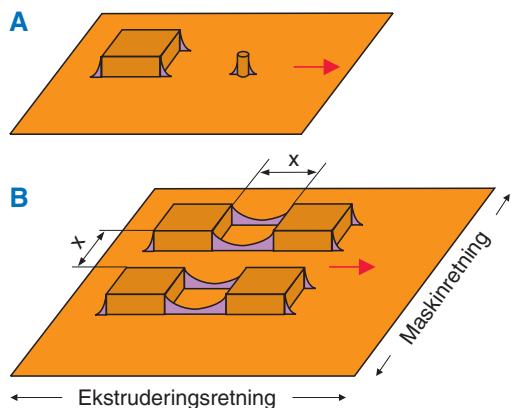
Svind og krymp af emner medfører, at størrelsen af snit- og stanseværktøjer skal fastlægges med stor præcision, specielt ved emballagemaskiner, hvor emnerne snittes eller stanses ud umiddelbart efter formning, og emnet derfor stadigt er varmt og stadigt svinder. En anden mulighed er at lave snit- og stanseværktøjerne, så de kan justeres, så man kan opnå den ønskede størrelse.

Svindværdier hos udvalgte plasttyper kan findes i tabellen ”Egenskaber ved termoform-materialer”. Værdierne er omtrentlige, da de varierer med de forarbejdningsparametre, der er anvendt ved fremstilling af pladen. Helt præcise svindværdier kan kun fastlægges ved prøvekørsler af materialet i formen eller i en form, der ligner den meget.

Faktorer, der har indflydelse på svindet

- Materialet, hvor man skal være opmærksom på, at der kan være forskelle på de enkelte leverancer
- Høj afkølingshastighed giver lille forarbejdningsvind
- Høj afformningstemperatur giver større svind
- Store formændringer giver for det meste mindre svind
- Fremstillingsparametre for pladen. Med det samme granulat kan man ved at ændre på parametrene ved ekstrudering af pladen eller ved at skifte ekstruder ændre på pladens svind
- Positivformede emner har for det meste ubetydeligt mindre svind end negativformede emner
- Ved formning i plader fra samme leverance forekomme variationer i svindet på maksimalt ±10 % af det normale materiales svind

Ved måling af svind skal man vælge en målemetode, hvor eventuelle deformationer af emnet ikke måles med. Man skal aldrig acceptere tættere tolerancer på det færdige emne end ±10 % af svindet på målet. Dette betyder, at tætteste tolerance på 500 mm ABS vil blive 500 mm (længde) × 0,006 (0,6 % svind) × 0,1 (±10 %) = ±0,3 mm.



Finnedannelse som følge af molekylorientering i pladen

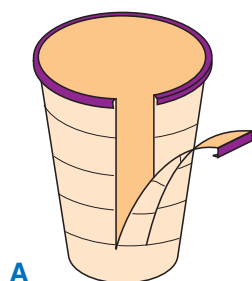
A. Ved etstyksform

B. Ved flerstyksform

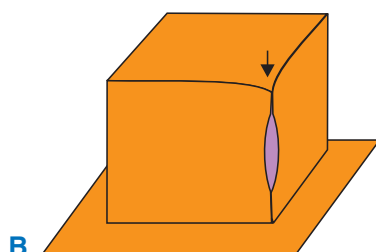
Orientering

Krympetesten, der er omtalt ovenfor, giver også oplysninger om den orientering af molekylerne, der er i pladen eller emnet. Hvis pladen har meget stor orientering i fx ekstruderingsretningen, kan det bevirke, at der opstår finner (folder). Ved flerstyksværktøjer, hvor der er samme afstand imellem formene i længde- og tværetningen, vil muligheden for og størrelsen af finnerne være meget større i ekstruderingsretningen end i maskinretningen.

Ved termoformning af pladen dannes yderligere orientering af molekylerne, idet orienteringen stiger med den strækning, der foretages. Billedet herunder viser et termoformet bæger af PSHI (SB), der let revner i længderetningen. Derimod er den enkelte stribe materiale meget stærk i længderetningen, fordi materialet er stærkt orienteret i denne retning. En stærk orientering af materialet ved termoformning forringer materialets styrke vinkelret på orienteringen og kan dermed føre til revner i strækretningen.



A



B

- A. Revner i et rundt bæger på grund af stor orientering
 B. Revne i orienteringsretningen på et kantet emne

Statisk opladning af termoplastiske plader

Med undtagelse af elektrisk ledende materialer (plader), fx kulfyldte, galvaniserede og metalliserede plader og lignende antistatiske belægninger, bliver termoplastiske plader opladet med statisk elektricitet ved:

- Afrulning fra en rulle
- Aftagning fra en stabel
- Aftrækning af beskyttelsesfolie
- Opvarmning
- Afkøling

En uheldig følge af statisk opladning er, at støv og større partikler som sav- eller fræsespåner af plast bliver tiltrukket og til sidst formet eller brændt ind i pladens overflade. Det kan medføre kassering af emner, hvor der er store krav til overfladen. Problemet kan løses eller mindskes ved at:

- Flytte bearbejdning, der giver støv og spåner, til et andet lokale
- Blæse pladerne rene med ioniseret luft (ionluftpistol)
- Afbørste pladerne med en kulfiberbørste, der er jordforbundet

Plastemner vil også tiltrække støv efter formningen, hvis de er fremstillet uden antistatisk behandling. Man kan mindske problemet i begrænsede perioder ved at afvaske emnet i sulfvand.

Termoplasts opførsel ved opvarmning

Vigtige faktorer ved opvarmning af termoplastiske plader/folier er:

- Opvarmningstiden
- Længdeudvidelsen og nedhængen
- Pladens/foliens (materialets) trækstyrke ved formningstemperaturen
- Størrelsen af formningstemperaturområdet
- Temperaturvariationen gennem pladens/foliens tykkelse

Opvarmningstidens indflydelse

Opvarmningsmetoden har indflydelse på opvarmningstiden.

Opvarmningstiden på en plastplade er ved anvendelse af samme indstilling af maskinen afhængig af:

- Materialetype (PS, ABS, PVC, PC osv.) og materialets farve
- Pladetykkelse

Opvarmningstiden er overproportional med pladens tykkelse, da plast er en dårlig varmeleder. Den korteste opvarmningstid findes, når begge sider af pladen opvarmes med højest mulige temperatur (effekt). Denne findes, hvor pladens overfladetemperatur ligger lige under den temperatur, hvor pladen tager skade (materialet nedbrydes). I praksis begynder man ved den maksimaltemperatur (effekt), man har til rådighed, og derefter sænker man den, til man har et emne med fejlfri overflade. Ved alle plader, der opvarmes på denne måde, vil der være et fald i pladens temperatur ind mod pladens midte. Størrelsen af temperaturfaldet er afhængigt af den temperatur (effekt) og den opvarmningstid, man har anvendt. Hvis dele af pladen efter opvarmningen og ved formningen ikke har den krævede formningstemperatur, kan den ikke formes eller kun formes med uskarpe kanter. Da det ikke er muligt at måle pladens temperatur ned gennem dens tykkelse uden at ødelægge den, kræver indstillingen af optimale opvarmningsparametre (effekt og tid) stor erfaring.

En plade med en lille variation i temperaturen ned gennem tykkelsen (en langsomt opvarmet plade) vil være lettere at forme, og det færdige emne vil være mere holdbart (have bedre mekaniske værdier). En plade, der er opvarmet ved maksimal effekt, vil få dårligere godsfordeling og have ringere holdbarhed (mekaniske værdier). Plader med tykkelse op til 2,5 mm kan, hvis der er opvarmningstid nok til rådighed, opvarmes fra én side. Ved plader med tykkelse over 2,5 mm bør der anvendes tosidig opvarmning.

Slagfast PS (SB) anvendes ofte som referencemateriale i oversigter over opvarmningstider. Kender man opvarmningstiden på et givet emne i PS, kan man beregne en cirka-opvarmningstid for andre materialetyper ved at gange med en materialefaktor.

Længdeudvidelse og nedhæng

Ved opvarmning af en plastplade i en termoformmaskine vil der, indtil pladen har opnået formningstemperaturen, ske følgende:

- Frem til blødgøringstemperaturen vil materialet udvide sig (der dannes "bølger", da pladen er fastholdt i rammen).
- Efter overskridelse af blødgøringstemperaturen vil indefrosne spændinger i pladen udløses, hvorved højtorienterede materialer som orienteret PS eller PELD vil strække sig op i rammen. Andre, mindre orienterede materialer vil fortsat udvides og begynde at hænge i rammen.
- Ved opvarmning med strålevarme findes to problemer:



- Hænger pladen frit ned, vil den ud over nedhæng på grund af udvidelsen hænge yderligere ned på grund af dens egenvægt. Derved kan pladen hænge så langt ned, at den kommer i berøring med undervarmen og derved skades.
- Hvis pladen ”holdes oppe” med støtteluft, dannes bølger. Da top og bund af sådanne bølger er tættere på varmelegemerne og derfor opvarmes mere, medfører det, at man ikke kan opvarme pladen ensartet, hvilket medfører dårligere kvalitet i det færdige emne.

Formningstemperaturområdet

Formningstemperaturområdet er bestemt af:

- Den laveste temperatur, hvor pladen lige præcis kan formes med tilstrækkelig fuldformethed (skarphed)
- Den højeste temperatur, hvor pladen ikke skades termisk

Omtrentlige værdier af formningstemperaturer for forskellige materialer kan findes i tabellen ”Egenskaber ved termoform-materialer”.

Ved termoformning er hovedformålet med opvarmning af plastpladen, at den får en ensartet temperatur over hele formningsfladen. Det er ved strålevarme derfor nødvendigt, at rammerne har god refleksion.

Strækning af pladen

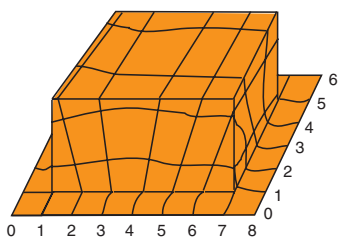
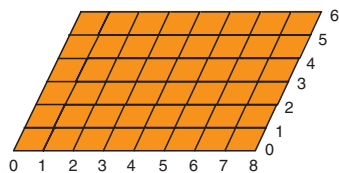
Alle termoplast har et temperaturområde, hvori de kan strækkes meget. I dette formnings-temperaturområde er relativt små kræfter nok til at forme emnet. Kan termoformmaskinen ikke frembringe den nødvendige kraft, må man varme materialet yderligere op, så man kan opnå den ønskede fuldformethed. Det betyder, at man ikke længere er i det område, hvor man har den maksimale strækevne. Man kan se problemet ved positivform, hvor der er krav til små radier i flangeområder, fx ved formning af inderskabe til køleskabe, eller ved små bundradier i negativforme, fx ved drikkebægre. Jo større kravet er, desto længere fjerner man sig fra området med maksimal strækbarhed. Dette medfører, at godsfordelingen bliver dårligere, og emnet får meget tynde områder på siden. Ved for høje krav bliver processen ustabil, og selv små variationer i pladens tykkelse eller i pladetemperaturen fører til kasserede emner.

Hvis man vil undersøge strækningen af pladen, kan man tegne et gittermønster på den. Ved større plader kan man afpasse størrelsen af de enkelte felter, så de passer med størrelsen af maskinens varmeelementer. Efter formningen kan man ud fra ændringen af de enkelte felters areal vurdere pladetykkelsen i feltet. Er arealet blevet dobbelt så stort som startarealet, vil pladetykkelsen være halveret, da volumen af plast i feltet jo er konstant.

Fuldformethed

Ved fuldformethed forstår man den nøjagtighed af formens overflade, emnet opnår. Her ses især på små radier og aftryk af formoverfladen. Følgende faktorer har især indflydelse på emnets fuldformethed:

- Materiale
- Pladetykkelse
- Pladens formningstemperatur (her ser man på temperaturen gennem hele pladens tykkelse og ikke kun på overfladetemperaturen)
- Formningskræfterne ved tryk- eller vakuumformning
- Formtemperatur
- Luftafgangen i formen (hvor let det er for luften at blive suget væk)
- Formningsforhold



Undersøgelse af pladens strækning ved hjælp af et indtegnat gitter i en passende størrelse.

A. Gitteret på pladen

B. Gitteret på det formede emne

Materialer

PS, PE, PP, ABS og PPO er materialer, der let lader sig forme med høj fuldformethed, hvorimod PC, PET-A og visse PVC-typer kun kan få høj fuldformethed under visse betingelser.

Pladetykkelse

Jo tykkere en plade er, jo sværere er det at opnå høj fuldformethed.

Formningstemperatur

Fuldformetheden bliver bedre, jo højere temperatur der formes ved. Der findes dog undtagelser ved PET, der begynder at krystallisere under opvarmningen. Man skal dog huske på, at det er temperaturen i pladens kerne, der er afgørende, hvorfor det ved plader over 4 mm kan være nødvendigt at mindske den intensitet (effekt, temperatur), pladen opvarmes med, for at kernen kan nå at blive varm, inden overfladen begynder at nedbrydes.

Formningskraft

Jo højere formningskraft man anvender, jo lettere opnås fuldformethed. Ved maskiner, hvor man kun har en ringe kraft til rådighed (fx vakuumformmaskiner), kan der i stedet for anvendes højere formningstemperatur.

Formtemperatur

Jo højere formtemperatur, desto bedre fuldformethed opnås.

Luftafgang

For at opnå god fuldformethed er det nødvendigt, at den luft, der ved formningens start findes mellem plade og form, kan komme væk. Hvis det ikke er tilfældet, risikerer man at få luftindslutninger, det vil sige steder, hvor pladen ikke kan komme i kontakt med formen, fordi der er en "boble" af luft, den ligger på.

Formningsforhold

Ved større strækning af pladen kræves højere formningskraft for at opnå samme grad af fuldformethed.

Termoplastens opførsel under køling

Pladen begynder at køles, i det øjeblik den ikke opvarmes længere, fx ved tilbagekørslen af over- og undervarmen. Når selve formningen starter, skal materialet have formningstemperatur, derfor er det nødvendigt at opvarme pladen til lidt over formningstemperaturen, så der er "plads" til et mindre temperaturfald. I praksis betyder det, at tiden mellem opvarmning og formning skal være så kort som muligt.

Under formningen begynder intensiv køling af materialet der, hvor det er i kontakt med formen. Effekten af denne køling vokser med formkontakten. Under formningen skal materialet have den nødvendige formningstemperatur for at opnå fuldformethed.

Køletiden ved termoformning afhænger af følgende faktorer:

- Materiale
- Pladetykkelsen efter formning
- Formningstemperatur
- Afformningstemperatur

- Formmateriale
- Formtemperatur
- Kontakten mellem form og plade
- Kølingen af den pladeside, der ikke vender mod formen

Materiale

Plastene har forskellige værdier af specifik varme (varmefylde, specifik varmekapacitet), hvilket betyder, at der er forskel på, hvor megen energi der skal tilføres for at varme dem lige meget op. Fx er den specifikke varme for PP ca. 1,5 gange så stor, som den er for PS, så der skal tilføres 1,5 gange så megen varme for at opvarme til samme temperatur, og tilsvarende at der skal fjernes 1,5 gange så megen varme under kølingen.

Man kan anvende PS som udgangsmateriale ved beregning af den nødvendige køletid for et nyt materiale, idet man ganger køletiden for PS med det nye materiales materialefaktor for køling.

Pladetykkelsen efter formning

Kølingen af materialet er afhængig af den overflade, der køles på, jo større formningsforhold, jo tyndere bliver pladen, og jo større areal har den.

Kølingen kan sluttes, når emnets tykkeste sted er kølet ned til en temperatur, hvorved det kan afformes. Da det ikke er muligt at måle temperaturen inde i kernen af pladen, køler man, indtil emnet er formstabil ved afformning.

Formningstemperatur

Ved højere formningstemperatur skal der fjernes mere varme. Det medfører, at køletiden forlænges.

Afformningstemperatur

For det meste er afformningstemperaturen lidt lavere end materialets blødgøringstemperatur. Ønskes emnet mere formstabil ved afformningen, må der køles i længere tid.

Formmateriale

De forskellige formmaterialer har forskellig evne til at transportere varme - fx er træ isolerende, mens aluminium leder varmen godt. Kølingen af materialet er mere effektiv i forme, der leder varmen godt, hvilket betyder, at køletiden vil blive kortere.

Formtemperatur

Lavere formtemperatur giver kortere køletid. Formtemperaturen kan ikke vælges frit, men bliver bestemt af:

- Materialet
- Den krævede fuldformethed
- Pladetykkelsen efter formning: Hvis begge sider af den formede plade ikke afkøles lige hurtigt, opstår der spændinger i materialet, hvilket kan føre til deformationer
- Emneformen: Rotationssymmetriske emner kan afformes varmere end emner med plane sider

Ved termoformning er afkølingen bedre på formsiden end på den anden side. I tabellen herunder er der vist en sammenligning mellem en række kølemetoder.

Varmeovergangsværdier ved forskellige kølemetoder	
Kølemetode	Varmeovergangsværdier i $W/m^2 \times ^\circ C$
Køling med stillestående luft	5,7
Luftkøling med blæser	57
Luftkøling med vandtåge	570
Kontakt med aluminium	mod uendelig

Man kan forbedre luftkølingen ved at:

- Øge lufthastigheden
- Rette blæsere mod emnets tykkeste steder
- Have udgangen af luftblæserne så tæt på formen som muligt
- Anvende vandtåge i luften
- Anvende kold luft

Konstruktion af forme

Materialer til termoform-forme

Ved fremstilling af forme anvendes følgende materialer:

- Gips, uforstærket eller forstærket med glasfiber (oftest kun til skue modeller)
- Træ ved små serier af prøveemnet
- Polyurethanstøbemasse til modeller og prøver
- Epoxystøbemasse til produktionsværktøjer til små serier
- Luftgennemtrængelige plader af aluminiumfyldt epoxystøbemasse
- Støbemasse med tempereret aluminiumkerne
- Aluminium i form af plader, keramik-/støbealuminium eller sand-/aluminiumstøbemasse

Træ

Til fremstilling af afstøbningsmodeller kan alt træ anvendes. Til fremstilling af træforme til prøveemner anvendes hårdt, finporet massivtræ med lille tendens til varmerevner fx ahorn. Forme af træ skal ikke lakeres, derimod kan man påføre blød sæbe som pleje- og slipmiddel.

Støbemasse

Støbemasseforme fremstilles i forskellige varianter.

Støbning med støbemasse i det ”negative” af en model er en metode, der er egnet op til et volumen på 2.000 cm^3 og formhøjde på maksimalt 40 mm. Negativen kan være af gips, træ eller silikonegummi.

Kerne med støbemassebelægning

Først fremstilles en kerne af et porøst materiale. Kernen bliver så lagt sammen med udgangsmodellen og omstøbes med støbemasse.

Støbemasse	
Fordele	Ulemper
- Høj afbildningspræcision	- Dårlig varmeledning
- Let og hurtigt at arbejde med	- Svær at temperaturstyre
- Ingen svindproblemer	- Holdbarheden aftager med stigende temperatur
- Oftest ingen holdbarhedsproblemer	

Aluminium

Aluminium er det mest anvendte materiale til termoform-forme. Fordelen ved aluminium er god varmeledningsevne og god bearbejdelighed. Samtidigt kan man ved visse legeringer opfylde selv meget store styrkekrav. Moderne CNC-fræsemaskiner anvendes i dag i stor udstrækning til fremstilling af forme. Sand- eller keramikstøbte aluminiumforme bør kun anvendes, hvor der er besparelse ved det.

Fremstillingsforløb ved støbte aluminiumforme:

- Fremstilling af en model - oftest af træ. Modellen skal have en over-størrelse, der tager højde for både støbegodsets 1,2 % og plastens 0,2-5 % svind.
- Fremstilling af en støbeform i sand eller keramik ud fra modellen
- Afstøbning af støbeformen med aluminiumstøbegods
- Pudsning og boring af sugehuller samt eventuelt yderligere spåntagende bearbejdning

Stål

Stål bliver på grund af materialets styrke/hårdhed hovedsageligt anvendt til kombinerede form- og stanseværktøjer.

Specialmaterialer

Der findes materialer, der tillader luftgennemgang. Fx findes et aluminiumstøbegods fyldt med epoxystøbemasse samt forskellige sintermetaller. Luftgennemtrængeligheden medfører, at man undgår at bore vakuumhuller. Man må dog undersøge, om materialerne har den nødvendige styrke, så de ikke brækkes af under afformning.

Udformningsregler for termoform-forme

Formstørrelse

Man skal under konstruktionen af formen tage hensyn til det svind, der optræder ved de forskellige materialer. Man kompenserer for svindet ved at lave formen tilsvarende større. Ikke alle materialer har samme svindprocent i både ekstruderings- og maskinretningen.

Slipvinkler

Plastmaterialet svinder under formningsprocessen, ved positivforme ind mod formen, ved negativforme væk fra formen. Ved negativform findes afformningsfordelen ved "væksvindet" fra formen kun ved simple étstyksforme. Ved flerstyksforme kan afformningsproblemet sammenlignes med problemet ved flerstyks-positivforme, da materialet vil krybe omkring ad-skillelsesvæggene.

Radier

Radier (R) i negativformning skal altid vælges, så plastpladen kan komme i fuld formkontakt. Hvis der ikke opnås formkontakt, vil varmeafgivelsen i området være væsentligt dårligere, og køletiden må forlænges. Dertil kommer, at der kan optræde deformationer i emnet på grund af de svindforskelle, der opstår mellem de hurtigt og langsomt kølede områder. Et emne, der ikke har formkontakt i en "negativ radius" har ikke en reproducerbar kant, men en kant, der varierer med pladetemperatur og vakuum.

Som grundregel bør radius for et emne med middel fuldformethed være:

$$R = 1,5 \times \text{pladetykkelsen } s$$

Det er lettere at lave skarpe kanter øverst på positivforme end i bunden af negativforme.

Regler for slipvinkler

Slipvinkler skal altid være så store som muligt, specielt ved positivforme.

Man bør ved positivforme ikke gå under 3°. 0,4° regnes for det absolut minimale. Hvis slipvinklen skal være mindre, må man anvende løse ilægningsdele. Enkeltstyks-negativforme kan om nødvendigt laves med en slipvinkel ned til 0°. Ved flerstyksforme gælder samme regler som ved positivforme.

Slipvinklen ved narvede materialer er afhængig af narvdybden. Hvis formen er meget ru, kan det medføre, at slipvinklen skal være større.

Overfladeruhed på formen

De bedste formningsresultater opnås med sand-/glasblæste forme. For glatte overflader forhindrer luftafgangen mellem emne og form. Det fører til luftindeslutninger, der viser sig som runde eller bølgede mærker på emnet (ses bedst på formsiden).

Friktionen mellem form og emne på flader, hvor der er kontakt under strækningen af pladen og formningen, har indflydelse på godsfordelingen.

Kanter, som materialet skal glide over, kan rives op i glideretningen med smergellærred, og hjørner på høje positivforme kan poleres.

Ved fremstilling af glasklare emner, hvor man for at bevare pladeoverfladen så glat som muligt ikke ønsker formkontakt, formes pladen bedst over en skeletform, hvor formkontakt er umulig i de områder, hvor emnet ønskes klart. Man kan også forsøge at lave luftindeslutninger ved at lave dårligt sug på de steder, hvor emnet skal være klart. Hvis det ikke er muligt, må man i stedet polere formen i områderne.

Træforme må ikke lakeres, tykke laklag revner og rives af. Glatte laklag fører til luftindeslutninger, og man får dårlige friktions- og glideforhold for pladen. Træformen kan i stedet pensles med slipmidler, der trænger ind i træet. Det gør træet hårdt og giver gode friktionsforhold.

Sugehuller	
Sugehullsstørrelse	Anvendelsesområde
Sugehuller fra 0,4-0,5 mm	- Til negativforme med høj fuldformethed - Plader med fin narv - Til PP og PE ved trykformning over materialernes krystallinske smeltepunkt
Sugehuller fra 0,5-0,6 mm	- Normal størrelse ved trykformning - Til PP og PE ved vakuumformning - Til følsomme områder ved vakuumformning, højglansområder
Sugehuller 0,8 mm	- Normal størrelse til vakuumformning
Sugehuller 1,0 mm	- Til tykke plader fra 6,0 mm. Ikke til PP og PE-plader
Sugehuller fra 1,0-1,5 mm	- Til opskummede plader
Sugespalter fra 0,2 til 0,3 mm	- Til PP og PE i alle pladetykkelser, hvis formsiden bliver emnets skueside.
Sugespalte 0,5 mm	- Normal størrelse til vakuumformning
Sugespalter fra 0,6 til 0,8 mm	- Anvendes, hvor der er brug for meget hurtig evakuering af luften, hovedsageligt til hurtigløbende rulleautomater, dog ikke til PP og PE.

Sugehuller

Antallet og størrelsen af sugehuller og/eller -spalter skal være stort nok til at sikre hurtig luftafgang, men må på den anden side ikke give emnet mærker.

Sugehullerne placeres altid der, hvor pladen rører formen sidst, samt på flader, hvor der kan opstå luftindeslutninger.

Kvaliteten af suget kan kontrolleres ved en simpel test. Hvis vakuummaskinen er udstyret med et vakuummeter (skala fra 0 til -1,0), må der med tilsluttet vakuum og monteret form, men uden plade, ikke være værdier mindre end:

- -0,2 ved store forme
- -0,3 ved små forme

- forudsat at maskinen med vakuum sluttet til, men uden form monteret, viser -0,2.

Hulrum

Store hulrum, der hovedsageligt findes ved positivforme, skal fyldes op med fx træstykker for at forkorte den tid, det tager at suge formen tom for luft. Ved konstruktion af formen skal man tage hensyn til de belastninger, formens flader udsættes for, når der suges vakuum. Om nødvendigt må man afstive flader, hvor godstykkelsen bliver for lille.

Fordele ved tempererede forme

- Indkøring med form, der har korrekt produktionstemperatur. Dette medfører mindre indkøringsbrøk.
- Kortere køletider/cyklustider
- Emnedeformationer og fuldformethed er bedre kontrollerbar.
- Bedst mulige reproducerbarhed

Temperaturstyring af forme

En form har ikke kun til opgave at formgive emnet, men også at køle materialet, til emnet er formstabil. Fremstilling af ensartet emnekvalitet kræver, at formen holdes på konstant formtemperatur. Ved plademaskiner bliver form og om nødvendigt også spændrammen temperaturstyret via separate enheder. Forme tempereres normalt med vand. Temperaturstyringsaggregatet varmer vandet op via elektriske varmespiraler og køler via varmeveksling med ledningsvand eller kølevand. Med vand kan man i et lukket kredsløb med et overtryk på 5 bar nå temperaturer på op til 150 °C.

Ved rulleautomater køles form og rammer via et køleaggregat, der også normalt anvender vand som kølemedie.

Tempereringsmetoder

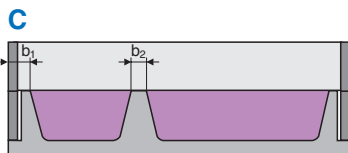
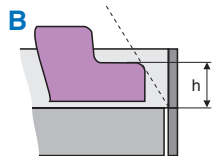
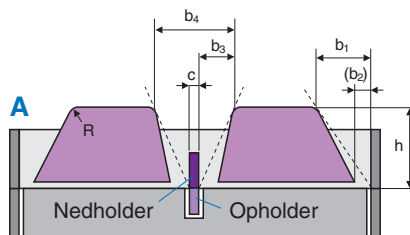
Aluminiumforme kan køles direkte eller indirekte. Direkte køling sker gennem et kanal- eller rørsystem, der er indbygget i formen, fx indstøbte rør, fræste kanaler, ilagte kobberrør og lignende. Indstøbte rør har meget god køleeffekt, men på grund af deres relativt upræcise placering kan de skabe problemer ved senere efterbearbejdning af formen. Her tænkes specielt på boring af sugehuller. Indirekte køling sker over en køleplade, på hvilken formen monteres. Derved overføres der varme fra formen til kølepladen. Hvor effektiv denne overførsel er, afhænger meget af, hvor stor kontaktfladen mellem formen og kølepladen er og af de til form og køleplade anvendte materials varmeledningsevne. Ved indirekte køling af forme skal kontaktfladen helst være så stor og så jævn som muligt. Samtidigt skal overfladen være så glat som muligt for at opnå god kontakt. Ved fastgørelse af formen skal der anvendes tilstrækkeligt mange skruer eller bolte, så den får godt anlæg på kølepladen. Man kan komme varmeledende pasta ind mellem form og køleplade, så små ujævnheder som fræsespor og lignende ikke får isolerende effekt.

Stor temperaturforskel mellem form og køleplade er tegn på dårlig varmeovergang, og dermed at kølingen fungerer dårligt.

Ved alle ønskede temperaturer, men specielt, når man ønsker at have høj formtemperatur (fx ved PC, hvor formtemperaturen skal være ca. 120 °C), er det vigtigt, at tempereringsanlægget og specielt slanger, koblinger osv. er beregnet, dimensioneret og velegnet til opgaven. Skoldning med så varmt vand eller olie kan være livsfarligt.

Dimensionering

- For forme op til 200 mm høje
- Fastlæggelse af den teoretiske formhøjde
- For negativforme



Dimensionering af formfladen

Afstanden mellem formdele og spændramme er vigtig, ligesom afstanden mellem enkelte formsegmenter er det. Den nødvendige afstand kan ikke beregnes efter en generel formel, da den er afhængig af de enkelte formmål, emneform, materiale og kvaliteten af arbejdet.

For positivforme med en højde op til 200 mm kan den nødvendige afstand beregnes efter følgende tommelfingerregel:

$$b_1 = (0,25-0,33) \times h$$

h er den teoretiske højde, der kan findes som vist på figuren til venstre. Det handler om det sted på formen, hvor en tangent

tegnet fra spændrammen først berører formen. Den teoretiske højde af formen er i dette tilfælde ikke det samme som den faktiske højde af formen. Samtidigt gælder det altid, at:

$$b_2 > 1,5 \times \text{pladetykkelsen } s$$

Afstanden mellem form og nedholder b_3 beregnes som b_1 :

$$b_3 = (0,25-0,33) \times h$$

Bredden af nedholderen c skal være så stor, at denne ikke deformeres under brug. Afstanden b_4 kan så beregnes:

$$b_4 = 2 \times b_3 + c$$

For forme, der er under 20-30 mm, kan man se bort fra nedholderen, hvis afstanden b_4 er stor nok. Da gælder, at:

$$b_4 > 1,5 \times \text{formhøjden } h$$

For alle forme gælder, at man på baggrund af erfaringer eller forsøg kan afvige fra disse regler.

For negativforme gælder følgende tommelfingerregel:

$$b_1 > 1,5 \times \text{pladetykkelsen } s$$

b_2 er ikke begrænset af noget formningsmæssigt.

Formens vægtykkelse ved b_1 og b_2 skal vælges sådan, at varmen kan transporteres væk inden for køletiden. For tynde vægge kan føre til forlængede cyklustider.

Fremstilling af konturblænder til positivforme

Med en konturblænde kan formningsarealet formindskes under formningen. En konturblænde fastgøres til spændrammen sådan, at pladen under strækning holdes nede i højde med spændfladen. Figur A viser en blænde, der er monteret på spændrammen. Der kan vælges mellem to forskellige typer konturblænde:

- En, der har samme afstand mellem blænde og form hele vejen rundt (figur B). Det er løsningen, hvis man ønsker en regelmæssig, tyk kant. Afstanden a i figur B beregnes som:

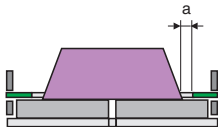
$$a = 1,5 \times \text{pladetykkelsen } s + (3-6) \text{ mm}$$

Ulempen ved denne blændetype er det meget lille pladeareal, der anvendes, hvorved man får meget høj formningsgrad og relativt tynde sider på det positivt formede emne.

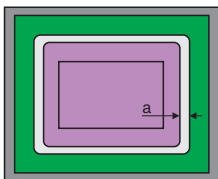
- En oval blænde, der anvendes til en positivform med vinkelrette hjørner i spændfladen (figur C), forhindrer hjørnefiner (folder). Afstanden a kan også her beregnes som ved figur B.

Konturblænder

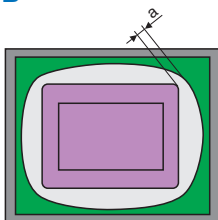
- Konturblænde på formrammen
- Konturblænde med samme afstand a til formen
- Oval konturblænde til retvinklet form



A



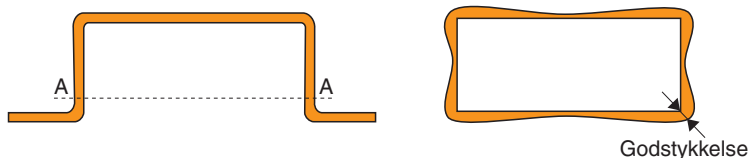
B



C

Uregelmæssig godstykkelse ved brug af ovale konturblander

Snit A-A angiver, hvor godstykkelsen betragtes i figuren til højre.



Konstruktion af overstempler

Overstempelmaterialer

Følgende krav stilles til overstempelmaterialer:

- Det må ikke køle det varme materiale ved berøring
- Det skal have et gunstigt friktions-/glideforhold til det varme materiale
- Det skal kunne holde til de belastninger, det udsættes for (tryk, bøjning osv.)
- Det skal kunne holde til de termiske belastninger, det udsættes for
- Det skal være let at bearbejde
- Pris og fremstilling skal stå i rimeligt forhold til hinanden

Træ er det mest anvendte overstempelmaterialer ved plademaskiner. Det bedste glideforhold opnås ved anvendelsen af massivt træ (helst ahorn). Det er nødvendigt at være opmærksom på træets åreretning. Krydsfiner er et fortræffeligt konstruktionsmateriale, men bør på grund af de overstempelmærker, materialet giver, ikke anvendes til overstempler. Overstempler kan beklædes med forskellige bløde materialer, fx filt eller bomuldsflannel. Det mindsker overstempelmærker og forbedrer glideegenskaberne. Træoverstempler skal dog helst laves, så en sådan beklædning ikke er nødvendig, da beklædningen slides relativt hurtigt.

Selv om filt er dyrere end træ, kan dets anvendelse anbefales, da man kan spare beklædningen af træoverstempelen. Uhardt filt kan behandles med dybt indtrængende trægrunder. Derved opnås bedre formstabilitet og afrivningsstyrke.

Syntetisk skum er et næsten universelt overstempelmaterialer, der ofte anvendes i rulleautomatmaskiner.

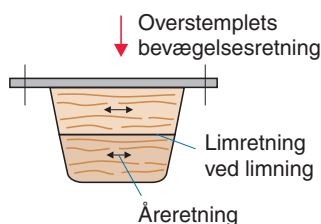
Støbemasse, der er talkumfyldt på grund af de dermed følgende forbedrede glideegenskaber, anvendes, når overstempelen har kompliceret form. De bedste erfaringer er opnået med polyurethanstøbemasse (PUR). Overstempelen kan fremstilles af støbemasse alene eller af støbemasse og træ sammen.

Metal, for det meste aluminium, anvendes som overstempelmaterialer i følgende tilfælde:

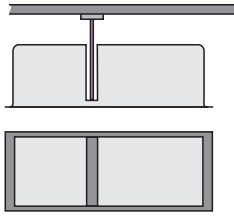
- Hvis træ eller støbemasse ikke kan holde til belastningen
- Hvis overstempelen skal være tempereret

Opvarmning af overstempler anvendes kun i særlige tilfælde, da opvarmningen er meget problematisk.

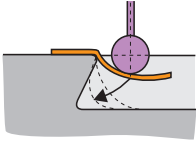
PTFE er i specielle tilfælde egnet til overstempelmaterialer til polyolefiner, PE og PP, hvis formningstemperaturen skal være meget høj. POM har i mange tilfælde vist sig velegnet som overstempelmaterialer til glasklare emner.



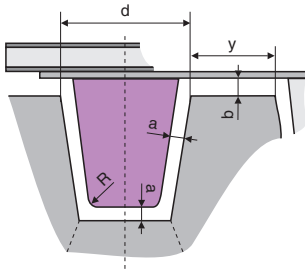
Åreretningen i træet ved fremstilling af overstempler



Sværdformet overstempel

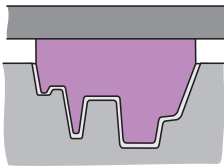


Materialeafkøling med et overstempel for at forhindre tynde hjørner

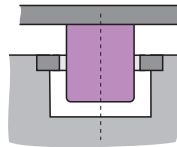


Beregning af overstempelkontur for flerstyksforme

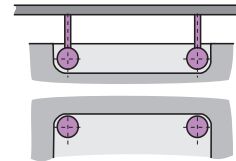
$$b_{\min} \geq 0,25 \times y$$



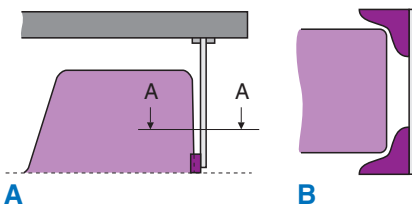
Konturfølgende overstempel



Simpelt overstempel til form med underskæring



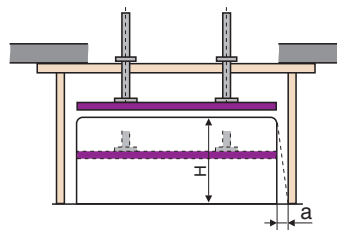
Negative hjørnepartier, der strækkes med kugler



Stempel mod hjørnefiner

A. Set fra siden.

B. Set fra oven ved snit A-A.



Forblæsning i en klokke med op hængt bundbræt

$$a = (0,12-0,15) \times H$$

Overstempelkonstruktioner

Overstempler til negativforme

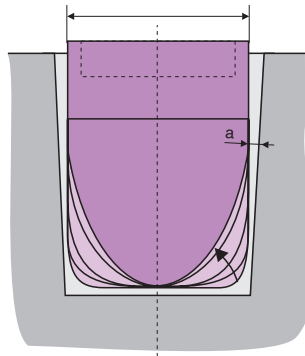
Formen af et overstempel kan ofte findes ud fra formen til emnet, idet der mellem de to dele skal være afstanden a hele vejen rundt.

$$a = 1,5 \times \text{pladetykkelsen } s + (3-6) \text{ mm}$$

Overstempelen kan, hvis diameteren $d < 20$ mm, også fremstilles som en rund cylinder.

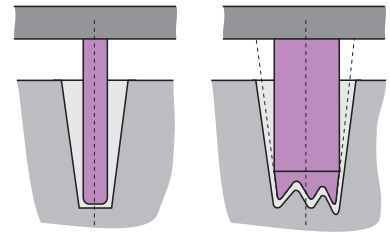
De her anbefalede afstande og radier for overstempler giver en udgangsform af overstempelen, der kan korrigeres under indkøringen. Den normale fremgangsmåde ved ændringen af et overstempel er, at der begyndes med den mindste radius.

Eksempler på overstempler er vist herunder.



Normal fremgangsmåde ved ændring af stempelkonturen

Der begyndes med den mindste radius.



Stempler til koniske konturer

A. Cylindrisk overstempel til små diametre ($d \leq 25$ mm).

B. Konturfølgende overstempel i bundområdet af en formdel.

Overstempler til positivforme

Ved positivforme anvendes overstempler ikke kun til at opnå bedre godsfordeling, men også til at forhindre finner. Afstanden a skal være lig tykkelsen af den formede plade plus 1 mm. For at undgå "gardiner" bliver overstempler i form af klokker anvendt.

Kontrol af emner

Både ved indkøring og produktion er det vigtigt at kontrollere emnerne grundigt. Kontrollen bør som minimum bestå af følgende punkter:

- Fuldformethed:
Emnet kontrolleres fra forsiden for:
 - formkontakt (specielt ved hjørner og kanter)
 - luftindeslutninger
- Overflade:
Emnet kontrolleres fra begge sider for:
 - varmekvikker
 - blærer
 - overfladesmeltninger (blanke områder)
 - farveændringer
- Godstykkelser:
Emnet kontrolleres fra ydersiden for, om:
 - ”gardinerne” overholder tilladte størrelser og placeringer
 - godstykkelserne ligger inden for tolerancerne
 - der er finner
- Afformningsfejl:
Emnet kontrolleres fra begge sider for, om der er:
 - hvidbrud
 - ridser
 - deformationer

Fejl ved termoformning

Ved termoformning vil fejl hovedsageligt opstå fra:

- Udformning af emnet
- Halvfabrikata (folie eller plade)
- Valg af maskine
- Form
- Indkøring
- Dekoration
- Opvarmning
- Formningskraft ved vakuum- eller trykformning

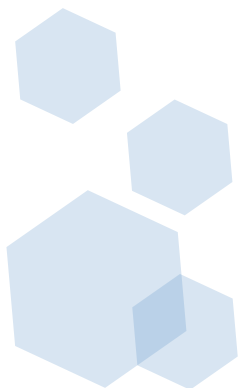
Der vil efterfølgende blive gennemgået en række af disse fejkilder.

Fejl ved emnet

For at kunne udforme emnet optimalt må konstruktøren kende alle de muligheder og krav, der findes ved termoformning og efterbearbejdning. Emnet skal konstrueres, så det ligger inden for disse rammer.

Fejl ved halvfabrikata

For at kunne fremstille høj kvalitetsemner må den plastplade, man anvender, også være et kvalitetsprodukt. Det betyder, at der både er krav til materialet og til fremstillingen af pladen. Baggrunden for ensartethed af plastemnet er, at den anvendte plastplade er af samme kvalitet og har samme egenskaber som referencepladen - både hvad angår termoformbarhed, farve, overflade, polymer, tykkelse og krymp. Man skal både være opmærksom på variationer i den enkelte leverance (batch) og variationer mellem de enkelte leverancer.



Tykkelsestolerancen er afhængig af pladens tykkelse, plasttype og fremstillingsmetode. Tilnærmet kan tykkelsestolerancen beregnes som:

$$\Delta s \text{ i mm} = \pm (0,5 + 0,03 \times \text{pladetykkelsen } s)$$

For støbte materialer eksempelvis PMMA er tykkelsestolerancerne større, samtidigt varierer den enkelte plade mere, idet den kan være tyndere i visse områder.

Hvis der ved ekstrudering af en plade anvendes samme granulat, men forskellige procesparametre (aftrækshastighed, masse- og dysetemperatur osv.), ændres pladens opførsel ved termoformning, hvorfor det kan være nødvendigt at ændre forarbejdningsparametrene.

For at opnå så ensartet en plade som muligt fra produktion til produktion er det nødvendigt, at råmaterialet er så ensartet som muligt, og at der ved fremstilling af pladen anvendes samme ekstruder og samme fremstillingsparametre.

Hygroskopiske plastmaterialer skal være pakket luft- og damptæt, indtil de anvendes ved termoformmaskinen, ellers må de for tørres. Visse plader vil afhængigt af materialetykkelse og luftfugtighed allerede have optaget fugt efter 30 min. Hvis en pladetype fx har optaget for megen fugt efter to timer, må man ikke tage mere materiale frem, end der bruges i denne periode.

Uhomogene plader kan allerede ved opvarmning eller ved forblæsning og formning få huller eller revne. Det formede emne kan også have ”knolde” af indstøbt usmeltet materiale. Denne type fejl opstår oftest, hvis der er tale om genbrugsmateriale, som er forurenede af fremmede partikler, fx andre plasttyper, træ og papir.

Ved coekstruderet materiale kan lagene delaminere, hvis de ikke hæfter godt nok til hinanden, eller hvis det ene lag er for tyndt.

De hyppigste fejl er dog ekstruderingsstriber, variation i narvtydelighed og farvefejl. Narv er det mønster, der kan være valset ind i pladens overflade.

Ekstruderingsstriber er små fuger i pladeoverfladen, der stammer fra ekstruderdyesen. Striberne er altid i ekstruderingsretningen.

Variationen i narvtydelighed er forskelle i den dybde, narven har på plastpladen. Den kan variere hen over plastpladen og/eller fra leverance til leverance.

Farveforskelle er nok den mest almindelige ”pladefejl”. Da der er ret vide tolerancer for farven på indfarvede plader, vil selv plader, hvor en farveforskel er tydelig ved sammenligning mellem to plader, ofte ligge inden for denne tolerance. For at kunne vurdere farveforskelle er det vigtigt at opbevare en af kunden godkendt referenceprøve eller et farvekort, der kan anvendes ved kontrol. Disse prøver skal til daglig være opbevaret i et mørkt skab eller lignende, idet de vil ændre farve, hvis de udsættes for meget lys.

I klare plader vil man næste altid kunne finde små, sorte prikker, der stammer fra forbrændt materiale. Her fastsættes tolerancen ud fra, hvor mange prikker af de forskellige størrelser der accepteres.

Der kan optræde temperaturforskelle i en rulle eller pladestak, fx hvis materialet umiddelbart før formning er kommet lige fra et koldt lager eller har haft kort lagringstid efter produktion, hvor kun den yderste del er kølet ned. Forskellen i temperatur mellem rullens/stakkens overflade og kerne betyder, at det ikke er muligt at finde en ideal opvarmningstid, da den er påvirket af materialets begyndelsestemperatur.

Fejl på form

Formmateriale

Valget af formmateriale afhænger af det forventede produktionsantal og den krævede kvalitet af emnet. Fra træ over støbemasse og aluminium til aluminium med køling stiger formens fremstillingsomkostninger. En billig form er ingen garanti for små, samlede fremstillingsomkostninger for et givet emne. Høje styktal kan produceres billigere med en tempereret aluminiumform end med en træform alene på grund af den reducerede cyklustid. Dertil kommer, at aluminiumformen kan holde til langt flere emner end træformen.

Køling af forme

Ved køling af forme er det vigtigt, at formen har ensartet temperatur. Formen må ikke have områder, der varierer væsentligt i temperatur. Det kan forekomme, hvis formen er konstrueret sådan, at varmen i visse områder ikke kan komme væk, fx ved smalle ribber, eller hvis kølerør ikke er placeret korrekt.

Forme af støbemasse har sjældent temperaturstyring, da den dårlige varmeledning ikke tillader optimal styring.

Ved materialer med god varmeledning, fx aluminium, skal kølerørene have god kontakt med formen og være så store, at der er god gennemstrømning. Ved for lille gennemstrømning eller ved for lange kølekanaler vil kølevandets temperatur variere meget fra indgang i formen til udgang. Det betyder, at formen vil have stor variation i temperatur.

Også ved indirekte kølede forme, hvor formen placeres oven på en køleplade, er det vigtigt, at berøringsfladen er så stor som muligt for at få den størst mulige varmeovergangsflade.

Styring og regulering af formtemperatur

Afgørende for ensartet kvalitet af det formede emne er temperaturen, herunder temperaturvariationer på formens overflade. Hvis det kun er muligt at regulere vandtemperatur og vandgennemstrømning, er det nødvendigt at kontrollere formtemperaturen direkte på formen. Bedre er det, hvis formen har indbygget temperaturløser og reguleringsmuligheder direkte i formen. Det er dog vigtigt, at de er placeret de rigtige steder.

Mekanisk stabilitet

Formene skal naturligvis kunne holde til de belastninger, de udsættes for ved formning og afformning af emner.

Formoverflade

Hvis der på det fuldformede emne findes områder (buler), der ikke har været i kontakt med formen, er der tale om luftindeslutninger, det vil sige områder mellem form og pladen, hvor der er luft, som ikke kan komme væk. Det kan skyldes manglende sugehuller, eller at formen er så glat, at pladen ved berøring slutter så tæt, at luften ikke kan komme igennem. Formoverfladen skal helst være sandblæst eller groft slebet. Polering af forme anvendes derfor kun ved forme til klare emner eller emner med krav til glatte flader på formsiden samt til hjørnerne på positivforme.

Sugehuller

Hvis der fremstilles flerstyksværktøjer med flere ens forme, skal man være opmærksom på, at sugehuller og slidser skal afpasses sådan, at suget ved





alle forme er ens og ikke afhængigt af den enkelte forms afstand til maskinens vakuumhul.

Sugehuller ved formens overflade anvendes ikke kun til at suge luft væk, men også til at indblæse afformningsluft. Specielt ved høje positivforme skal der kunne indblæses tilstrækkeligt megen luft, til at emnet løftes fri af formen.

Fejl ved indkøring af nye forme

Fejl, der opdages, inden man begynder opstilling af en ny form, sparer omkostninger - som minimum en opstillingsomkostning. Kontrol af vakuumhuller og slidser samt overfladen på formen er meget vigtig. Efter at formen er opstillet i termoformmaskinen, kontrolleres først vakuum-sugget uden plade. Vakuum slås til, og hvis vakuummeteret har en skala fra 0 til -1, skal der ved frit sug være et udslag på ca. -0,2 eller ved små forme -0,3. Det gælder kun for forme, der er tætnet ved formsoklen. Ved sug med plade skal vakuummeteret vise mindst -0,9, ellers skal maskine, vakuumpumpe og form testes for utætheder. Hvis udslaget er mindre end -0,9, vil det forringede sug medføre dårligere fuldformethed eller længere varme- og køletider.

Man bør altid starte med maskinens universalvarmebillede ved ny indkøring. Ved moderne maskiner er det endvidere muligt at lade maskinen beregne de opvarmnings- og køletider, man kan bruge som udgangspunkt.

Den maskinindstilling, man finder frem til under indkøringen, gemmes på opstillingskort eller diskette alt efter maskintype.

Ved fremstilling af prøver skal alle forhold svare til dem, der er ved produktion af emnet. Alle involverede fra værktøjsfremstiller over indkørrer til efterbehandler må kende til emnets mål og tilladelige tolerance.

Kender formeren til emnets færdige udseende kan han selv tage beslutning om fuldformethed og størrelse af eventuelle finner i affaldsområdet og derved i sidste ende spare penge.

Det materiale, man anvender, skal også være af samme type, kvalitet, farve, narv og krymp som det, der skal anvendes i produktionen for at forhindre senere problemer ved serieproduktion. Ved ilægning af pladen skal man være opmærksom på ekstruderingsretningen, så senere produktionsplader skæres, så de får samme retning.

Fejl ved opvarmning med strålevarme

Ved plademaskiner kan man ved indkøring af nye forme altid arbejde ud fra varmebilledets grundindstilling, hvis den er isothermreguleret. Jo tykkere plastpladen er, jo lavere sættes stråletemperaturen, og desto større er varmelegemernes temperaturfald fra start til slut.

På maskinen, hvor det er muligt at indstille temperatursænkningen, kontrolleres det, om varmelegemerne kan nå at komme op i temperatur i køletiden. Hvis form og rammer ikke er temperaturstyret, er det nødvendigt inden opstart at varme dem op til produktionstemperaturen.

Træ og plaststøbeforme må aldrig varmes op med overvarmen.

Manglende formningstryk (vakuum)

Den mængde af kræfter, der arbejdes med under formningen, er naturligvis vigtig. Manglende kræfter kan skyldes for ringe vakuum eller for lidt trykluft.

Manglende kræfter findes ved:

- For dårlige tætninger mellem værktøj og spændramme
- For høje sokler i singlestationmaskiner
- Åbne monteringshuller i formbordet
- For løse eller for skæve spændrammer
- Ujævne sokler
- Utætheder i rørforbindelsen
- Fejl i opstilling af maskinen

Hvis flere maskiner forsynes fra samme vakuum- eller trykluftpumpe, og alle kører med fuld last, kan vakuum- eller trykluftforsyningen bryde sammen, hvis pumperne ikke er store nok.

Problemer med finner og folder

Finner ved termoformning kan opdeles på følgende måde:

- Plade/foliebetingede folder:
 - Overfladefinner på grund af for stort pladenedhæng ved opvarmning
 - Orienteringsfinner på grund af orienteringsspændinger som følge af ekstruderingskrump
- Finner på grund af formopbygning eller udseende:
 - Hjørnefinner ved positivforme
 - Finner ved højdeovergange i hjørneområder på grund af for små radier eller for stejle overgange
 - Finner på grund af for lille afstand mellem forme
 - Finner i negativforme med formningsforhold $H:D > 1:0,4$ og ekstremt forhold mellem længden L og bredden B
- Formningsbetingede finner:
 - Ved for høj forblæsning
 - Ved for høj formningshastighed
 - Ved for lav formningshastighed, hvis en tynd folie når at blive for kold, inden den formes

Finner opstår aldrig der, hvor materialet strækkes, men derimod hvor det stykkes sammen, og hvor temperaturen er for lav, og/eller formningshastigheden er for høj.

Muligheder for at undgå finner:

- Materialer med stort nedhæng varmes mindre
- Opvarm pladen/folien mere, hvis der kun forblæses lidt, og materialet ikke hænger for meget. Forhøj formtemperaturen
- Hvis der forblæses: Forblæs mindre, eventuelt opvarmes pladen/folien mindre, mindske af formningshastigheden. Formtemperaturen hæves
- Formindske plade/foliearealet
- Anvend overstempel. Små finner trykkes bort eller holdes nede under formningen med et konturfølgende stempel. Ved anvendelse af overstempel strækkes materialet under formningen
- Ændring af formen, så formvolumenet øges under de steder, hvor der dannes finner

Fejlsøgning ved vakuumformning

	Plade for varm (tid/intensitet)	Afornet for varm	Mangler slipmiddel	For meget slipmiddel	Vakuum bløddet for tidligt	Vakuum for hurtigt	Vakuum for langsomt	Vakuum ikke stukt	Kalling stærkt for tidligt	Ingen eller for lidt forblæsning	Plade rører form ved opvarmning	Ingen opholder	Kæber for lang tid	Abogdsakt for lav	Reguler over falken	Form kører for hurtigt op	Start kalling for hurtigt ned	Uens kalling tidligere	Plade opvarmet for hurtigt (intensiv)	Ingen ikke færdigt	For lille overstempel	For stor overstempel	Overstempel for nu	Overstempel for lidt	Overstempel ikke centrert
Fejl ved emne																									
Uskarp (ikke fuldformet)																									
Uskarp i randzonen																									
Ingen formberøring																									
"Gardiner" på siden																									
Vulst på fladekant																									
Overfladen uren																									
Luftindeslutning på flader																									
Runde markeringer																									
Bølger i overfladen																									
Prikker/biærer i overfladen																									
Tynde sider																									
Tynde flader																									
Tynde hjørner																									
Uens godstykkelse																									
Finner på flader																									
Finner ved hjørner																									
Finner mellem forme																									
Pladen revner v. formberøring																									
Emnet klæber til form																									
Emnet revner																									
Punktvis indbulet (kneakke)																									
Punktvis hvidbrud																									
Pladen folder under opvarmning																									
Emnet former sig tilbage																									
Emnet bøjer																									
Emnet er ustabil																									
Pladen bliver uens varm																									

Fejlsøgning ved vakuumformning

	Form for kold	Form for varm	Form for glet (seanbles)	Form for ru	Form ikke kontak	Form har underskæringer og hjørner	Ingen luftegang (sug/afformingsluft)	Formplade for høj, uskarp	Ingen hul, for stor luftvolumen	Ingen eller for lidt sug	Uegenessigt sug, sughulfordeling	Sughuller forkert placeret	Form snævsset	For lille formingsflade	Formastande for lille	Spændarme for stor	Ingen alskape på spændarmen	Testningsgummi defekt	Uens opvarmning for testningsgummi	Vakuumfler forkert (loakret)	Plade valgt for tynd	Plade har skidindsealtinger	Plade svarer til forme	Plade har lille formingsområde	Dårlig formingsforhold	Sider for lodrette	For skape hjørner	Indtom afslutninger	Fejl ved emne
Fejl ved emne																													
Uskarp (ikke fuldformet)																													
Uskarp i randzonen																													
Ingen formberøring																													
"gardiner" på siden																													
Vulst på fladekant																													
Overfladen uren																													
Luftindslutnin. på flader																													
Runde markeringer																													
Bølger i overfladen																													
Prikker/blærer i overfladen																													
Tynde sider																													
Tynde flader																													
Tynde hjørner																													
Uens godstykkelser																													
Finner på flader																													
Finner ved hjørner																													
Finner mellem forme																													
Pladen revner v. formberør.																													
Emnet klæber til form																													
Emnet revner																													
Punktvis indbuler (knækket)																													
Punktvis hvidbrud																													
Pladen folder under opvarm.																													
Emnet former sig tilbage																													
Emnet bøjer																													
Emnet er ustabil																													
Pladen bliver uens varm																													

Fejl ved form

ROTATIONS-STØBNING

Rotationsstøbning er en fremstillingsmetode for produkter af termoplast. På engelsk hedder det rotational moulding, rotomoulding eller rotoforming.

Plastråvaren, som ved denne proces oftest er i pulverform, fyldes i en hul støbeform bestående af to halvparter - eventuelt flere, hvis det er en vanskelig form. Formparterne lukkes og anbringes i en ovn. Den lukkede form sættes til at rotere, hvorved plastmaterialet (pulveret) fordeles ensartet rundt på den indre overflade. Varmen fra ovnen får plasten til at smelte og sætte sig med samme godstykkelser hele vejen rundt indvendigt i formen. Efter afkøling af form og emne kan formen åbnes og emnet udtages.

Rotationsstøbning anvendes oftest til produktion af hule, sømløse emner af enhver størrelse og form, fx dukker, sparebøsser, fendere, kar, store rørsamlinger, inspektionsbrønde, paller, kasser, beholdere, mindre både, tanke til vand, benzin, olie og andet. Der fremstilles rotationsstøbte tanke med et rumindhold på 10.000 liter eller måske endnu mere.

Da emnet efter afformning vil fremstå som en fuldstændigt lukket beholder, fx en benzintank til en bil, vil det efterfølgende være nødvendigt at bortskære materiale der, hvor benzinpåfyldningen skal foregå.

Desuden er det muligt at lave komplekse geometrier samt at indstøbe fx gevindbøsninger. Det er muligt at indsætte metaldele på indvendig side i formen. Disse dele bliver derved indstøbt i emnets væg, og kan senere fungere som tilslutning for fx benzinrør, opspændingsankre og løftekroge.

Fordelene ved rotationsstøbning er især lave formomkostninger, hvilket gør den velegnet til små og mellemstore serier (100-10.000 stk./år). På grund af de mindre krav til værktøjernes tæthed og trykstabilitet er de selvfølgelig også meget billigere at fremstille. Det betyder, at selv små serier kan være attraktive at rotationsstøbe.

Det er desuden muligt at anvende den mest moderne værktøjsteknik ved fremstilling af forme, således at overfladen på de rotationsstøbte emner opnår en finish, der langt overstiger normalen inden for denne støbeform.

Emnerne, som er næsten spændingsfrie, kan fx støbes i materialerne PVC, PE og PP, og kan indfarves. Størrelsesmæssigt produceres emner fra $\varnothing 17 \times 17$ mm og helt op til $\varnothing 1.800 \times 2.200$ mm.

Afhængigt af emnets form er det også muligt, at en støbning kan opskæres til flere emner, hvorved det tilsatte råmateriale kan udnyttes endnu bedre. Fx kan to havebassiner udføres som henholdsvis bund og låg, som efterfølgende adskilles på midten.

Fendere til både

Et typisk eksempel på produkter, der er fremstillet ved rotationsstøbning er fendere, men også legetøj og produkter af mere teknisk art kan med fordel fremstilles ved denne teknik. (dan-hill-plast a/s)



Fordele og ulemper ved rotationsstøbning

Fordele

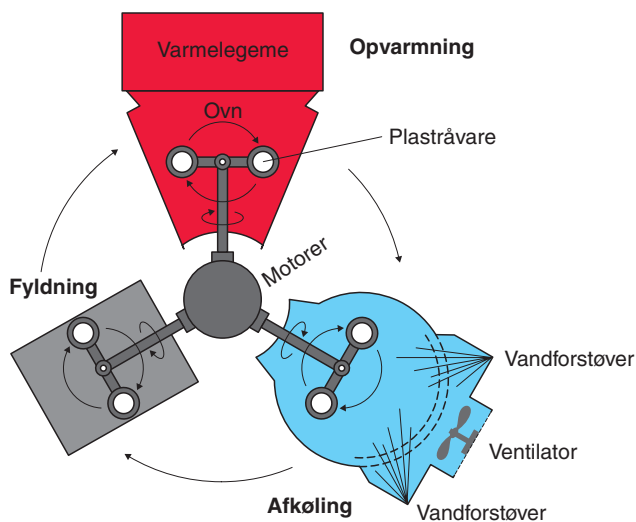
- Værktøjsomkostninger er lave
- Anvendelig til emner med ensartet godstykkeelse
- Emner med små spændinger og lille vridning
- Ingen svejsesøm, ingen udløbs- eller udstødningsmærker, næsten intet spild
- Forholdsvist komplekse konturer kan fremstilles
- Ændring af godstykkelsen sker ved at tilføre en anden mængde materiale
- Automatisk materialeafvejning, fyldning og afformning
- Forme og materiale kan ændres meget hurtigt til små serier

Ulemper og begrænsninger

- Rotationsstøbning kan ikke anvendes til emner med godstykkeelser mindre end 0,75 mm
- Kan ikke anvendes ved komplekse emner og emner med for skarpe kanter
- Produktionen er langsom i forhold til blæsestøbning
- Ikke alle materialer kan rotationsstøbes

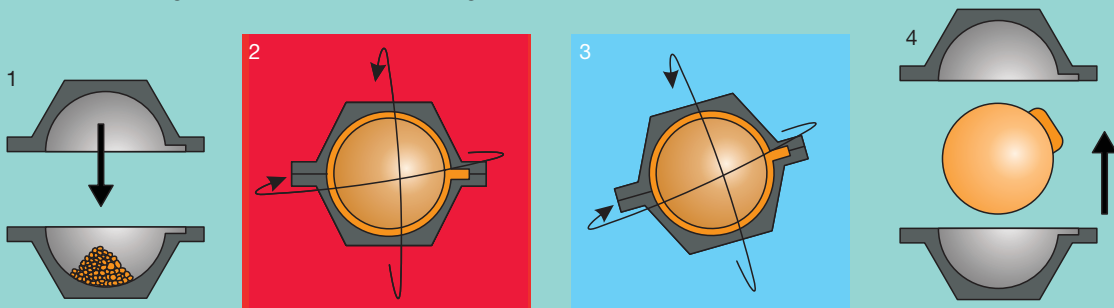
Typiske emner produceret ved rotationsstøbning:

- Containere
- Skraldespande
- Bådsprog
- Spande
- Kabinetter
- Tasker og kufferter
- Fodbolde



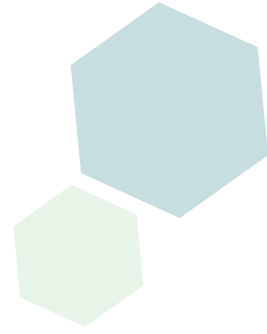
Processen

1. Afvejnet mængde termoplastpulver eller pellets hældes i den åbne form. Formen lukkes.
2. Formen føres ind i ovnen og sættes i rotation om to akser.
Materialet sintres (smeltes) ensartet imod formens væg. Eventuelt foregår en kemisk reaktion.
3. Formen føres ind i kølerum og afkøles, imens den stadig roterer.
4. Formen føres ud i det fri og åbnes, og emnet udtages.
Formen skal designes, så den er nem at åbne og lukke.





Rotationsstøbning af
trekammertank
(Wavin)



Trekammertank
tages op af form
(Wavin)



Færdigt arbejde
(Wavin)



FREMSTILLING OG FORARBEJDNING AF FIBERFORSTÆRKET HÆRDEPLAST

I forbindelse med fremstilling og forarbejdning af hærdeplast er det vigtigt at huske, at hærdeplast ikke eksisterer som sådan, før hærdeningen er foregået. Hærdeningen foregår samtidigt med eller umiddelbart efter formgivningen (støbningen).

Det hærdede materiales egenskaber er således - foruden af plasthanpiksens og hjælpestoffernes natur og sammensætning

- væsentligt afhængige af faktorer som blandingsforholdet mellem polymer og hærdemidler, temperaturen og temperaturforløbet under hærdeningen, tilsætning af forstærkningsfibre, disses art, fordeling og placering i emnet. De sidstnævnte forhold er direkte afhængige af operatørens forståelse for og omhu med arbejdet.

Diskontinuerlige metoder

Håndoplægning

Håndoplægning er den simpleste fremstillings- og forarbejdningsmetode til glasfiberforstærket polyester. Billige forme kan anvendes. Forme af glasfiberforstærket polyester eller epoxyplast finder udbredt anvendelse, men metal, træ og gips er også egnede som formmateriale.

Efter at et slipmiddel er påført formoverfladen, fremstilles et emne af glasfiberforstærket polyester, ved at man anbringer forstærkningsmaterialet i formen og mætter det med polyester tilsat hærdemidler. Indesluttet luft fjernes ved bearbejdning med ruller eller pensel. Flere lag forstærkningsmateriale bygges oven på hinanden, indtil den ønskede godstykkelser er opnået. Hærdeningen foregår uden opvarmning og uden tryk.

Modificerede udgaver af håndoplægningens metode omfatter vakuumsækmetoden og tryksækmetoden, hvor tilpassede gummisække placeres over det endnu "våde" laminat. Ved hjælp af enten vakuum eller tryk presses sækken ned mod materialet, idet indesluttet luft tvinges ud.

Hvis der ønskes særlig beskyttelse mod påvirkning fra omgivelserne eller en særligt dekorativ overflade, kan det gøres med *gelcoat*, dvs. uforstærket polyester, som i 0,5-0,7 mm's tykkelse påføres den klargjorte form, inden laminatet bygges op. Når laminatet har fået den ønskede tykkelse, kan der ligeledes afsluttes med et beskyttende lag uforstærket polyester, der som sidste lag benævnes *topcoat*. Som forstærkningsmateriale anvendes i overvejende grad glasfibernåte. Glasindholdet i det færdige laminat ligger normalt mellem 25 og 40 vægt-%. Vævet roving kan bruges sammen med nåte, idet der i så fald normalt skiftes mellem væv og nåte. Glasindholdet ligger da på 35-45 %. Glasfiberlærred giver laminater med højt glasindhold (45-60 %) og dermed høj styrke.

Håndoplægning



Sprøjteoplægning



Sprøjteoplægning
(Reichhold A/S/Aplicator System AB)

Sprøjteoplægningens metode er at betragte som en delvis mekaniseret udgave af håndoplægning. Glasfiberrovings føres gennem et huggeværk, hvori glasfibrene hugges til forudbestemte længder, normalt 25 eller 50 mm.

Polyester tilføres fra trykbeholdere eller med pumper til en sprøjtepistols dyser. Halvdelen af polyesteremængden er blandet med initiator, den anden halvdel med accelerator. Sprøjtehovedet kan være forsynet med dobbelte dyser eller med et blandehoved. Sprøjtepistoler med initiatorpumpe er kun forsynet med én trykbeholder eller én fødepumpe til fremføring af den foraccelererede polyester til dysen. Initiator bliver da sprøjtet ind i polyesterstrømmen i afpassede mængder.

De hugne glasfibre kastes fra huggeværket ind i polyesterstrålen på en sådan måde, at fibre og polyester samtidigt aflejres på formoverfladen. Fra dette punkt følges samme procedure for bearbejdning med ruller for at befugte fibrene og for at tvinge indesluttet luft ud som beskrevet under håndoplægningens metode.

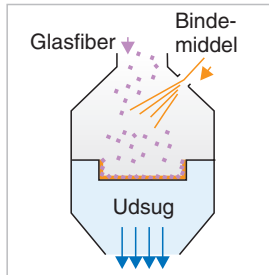
Glasfiberroving er det eneste egnede forstærkningsmateriale til sprøjteoplægning. For at give bedst mulige forhold ved hugning af glasfibre anvendes ofte overfladebehandling af fibrene med chrom- eller chromsilan-forbindelser. Glasindholdet er sædvanligvis mellem 30 og 40 %.

Pressestøbning

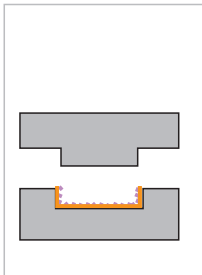
Varmpresning

Pressestøbning er en fælles betegnelse for en række metoder til forarbejdning af hærdeplast i hydraulisk eller elektrisk styrede presser. En del af metoderne er kun egnede til forarbejdning af fiberforstærkede hærdeplast af typen umættet polyester eller epoxyplast.

Forform

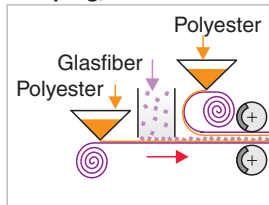


Produktion

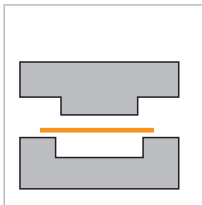


Ilægning

Prepreg, SMC

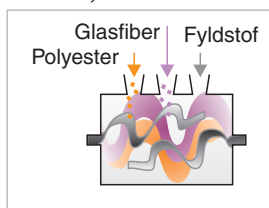


Produktion

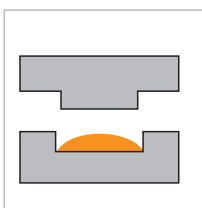


Ilægning

Premix, DMC



Produktion



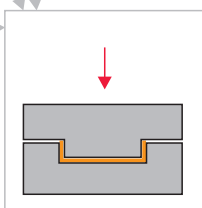
Ilægning

Varmpresning

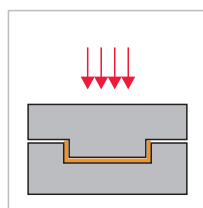
Til fremstilling af mindre emner af hærdeplast i større serier er presning den mest hensigtsmæssige forarbejdningss metode. Der benyttes metalforme, oftest stålforme, og et pressetryk på 0,1-4 MPa. Ca. 2 MPa er det almindeligste pressetryk. Arbejdstemperaturen er i området 90-130 °C. Som katalysator til umættet polyester anvendes sædvanligvis benzoylperoxid (BPO), som har den store fordel, at polyester blandet med BPO ved stuetemperatur har en potlife (opbevaringstid) på flere dage, mens der ved temperaturer over 80 °C opnås en meget hurtig udhærdning.

Produktionstiden pr. emne er 1-8 minutter afhængigt af temperaturen i formen, pressetryk, polyestertype, initiatortype og godstykkelse.

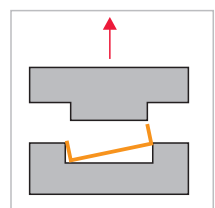
Foruden hurtig produktion fås der ved presning produkter med højt glasindhold, alle overflader med god finish og reproducerbare dimensioner.



Lukning



Kompression
Polymerisation/
hærdning



Formen åbnes



Hvis der bruges glasfibermåtte, skæres denne til på forhånd (konfektioneres) og placeres i formen. Polyester blandet med initiator hældes derefter i afpasset mængde over glasfiberforstærkningen. Under sammenpressning af formen trænger polyestern ind i og igennem forstærkningen, og overskuddet presses ud.

Ved varmepresning benyttes ofte fyldstof i forskellige mængder. Derved fås bedre overflade og større stivhed i det færdige produkt, samtidigt med at det giver bedre flydeegenskaber.

For at kunne fremstille mere komplicerede emner af især phenolplast, carbamidplast og melaminplast er pressteknikken udviklet til det, der i dag kendes som *sprøjtepresning*. Ved passende forvarmning af plastikompounden giver sprøjtepresning kortere cyklistid og dermed lavere produktionsomkostninger. Materialerne opvarmes med højfrekvent spænding eller - ved mindre mængder - med infrarødt lys. Ved skruoplastificering fordeles varmen jævnt i materialet; opvarmningen sker hovedsageligt via indre friktion i materialet, som derpå kan doseres automatisk. Ved at forvarme materialet reduceres både den nødvendige pressetid og hærdetiden. Ved emner med større godstykkelse kan hærdetiden reduceres med 50-75 %. Cyklistiden kan være fra få sekunder til adskillige minutter. Sprøjtepresning benævnes også transfermetoden.

Hvis nogle af de normalt manuelle operationer i processen fx ilægning af pressemasse sker med maskinelle operationer, nærmer processen sig en automatisk proces. Hvis automatiseringen fortsættes, nærmer den sig sprøjtestøbning.

Ved pressestøbning uden forvarmning af materialet åbnes formen kortvarigt undervejs i processen, for at eventuelle dampe og gasser kan slippe ud, inden den lukkes igen. Støbningen gøres færdig ved højt tryk.

Pressen er forsynet med et fast og et bevægeligt plan til opspænding af formværktøjet, som er af stål med hårdtforkromet eller poleret overflade og konstrueret til at blive spændt op i planerne. Der findes også etagepresser med plads til opspænding af to formværktøjer.

Forform-metoden

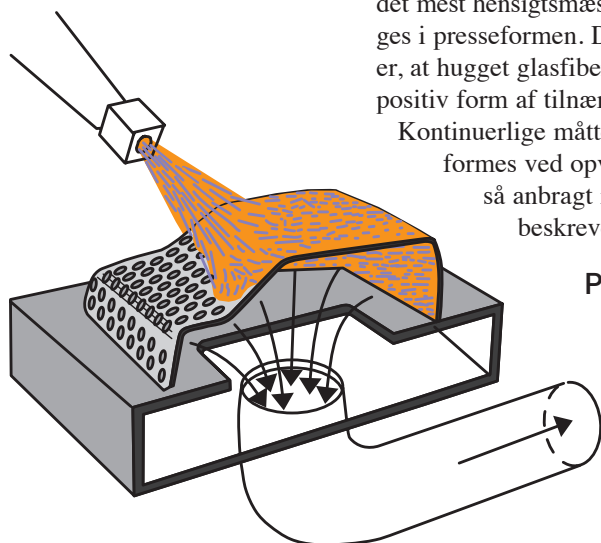
Ved særligt komplicerede udformninger vil der ved brug af glasfibermåtte være stor fare for, at glasfiberen fordeles ujævnt. I sådanne tilfælde er det mest hensigtsmæssigt at forme glasfiberforstærkningen, før den anbringes i presseformen. Det kan gøres på forskellige måder, men princippet er, at hugget glasfiber sammen med et bindemiddel bliver sprøjtet på en positiv form af tilnærmelsesvis samme geometri som produktionsformen.

Kontinuerlige måtter og måtter med termoplastisk bindemiddel kan formes ved opvarmning. Den således forformede glasfiber bliver så anbragt i formen, og polyester bliver tilsat som tidligere beskrevet.

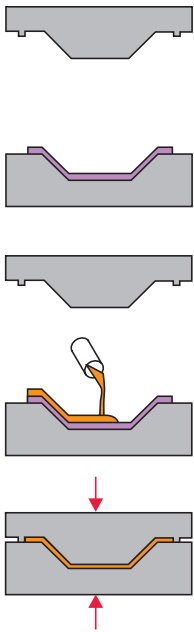
Prepreg-metoden (SMC)

Der benyttes også måtter, der på forhånd er imprægneret med polyester. De går oftest under navnet prepregs. Prepregs fremstilles, ved at glasfiber-måtte føres gennem et bad med initieret polyester, som også indeholder stoffer, som medvirker til, at blandingen efter nogen tid fortykkes kraftigt, dvs. viskositeten stiger.

Fremstilling af forform



Koldpresning



Magnesiumoxid, calciumoxid og calciumhydroxid bliver ofte brugt som fortykningsmiddel. Således forimprægneret glasfiberemåtte med plastfolie på begge sider leveres til presseriet i færdige ruller.

Når prepreg'en skal bruges, klippes eller skæres den op i passende stykker, som lægges i formen. For at få et produkt med jævn tykkelse bør mindst 80 % af formoverfladen dækkes med prepreg. Trykket i pressen ligger i området omkring 15 MPa og temperaturen fra 150-170 °C. Som følge af trykket og varmen flyder polyester og glasfibre ud og danner et homogent laminat i hele formen.

På engelsk kaldes metoden *Sheet Moulding Compound* og betegnes derfor ofte med forkortelsen *SMC*.

Prepregpresning anvendes også til fremstilling af store emner i fiberforstærket epoxyplast fx vindmøllevinger og bådsrog.

Premix-metoden (DMC, BMC)

Ved produktion af komplicerede, mindre detaljer bruges ofte pressestøbning af premix, som er en blanding af afhugne fibre, polyester, fyldstoffer og initiator og ser ud som en tyk dej.

En afmålt mængde af dejen lægges i formen. På samme måde som ved prepreg-metoden flyder massen ud under påvirkning af tryk og varme og hærdes til et stærkt og homogent laminat. Der kræves som regel et noget større tryk i pressen ved brug af premix og temperatur fra 150-170 °C.

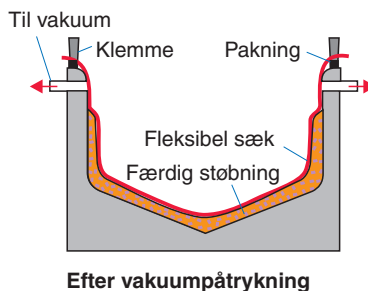
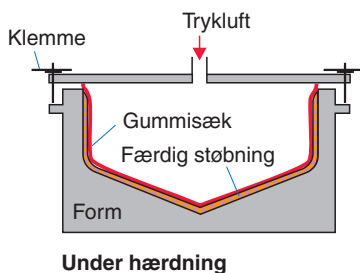
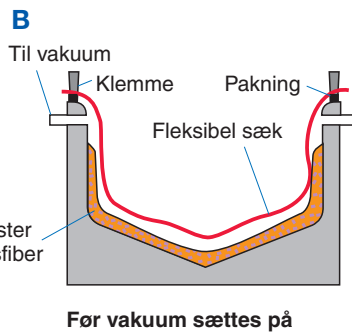
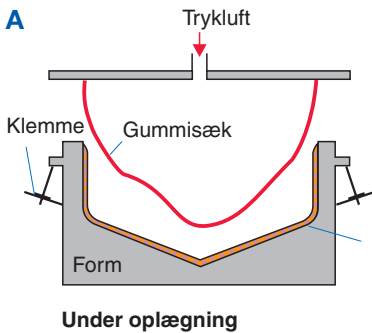
På engelsk kaldes metoden *Dough Moulding Compound* og betegnes derfor ofte med forkortelsen *DMC* eller *Bulk Moulding Compound (BMC)*.

Koldpresning

Ved koldpresning, dvs. uden ydre opvarmning af formen, ligger presstrykket sjældent over ca. 100 kPa. Der kan derfor også anvendes polyesterforme. De er langt billigere end forme af metal og er forholdsvis enkle at fremstille. Koldpresning kan derfor også benyttes, når det gælder noget større produkter og ved mindre serier end ved varmpresning. Det almindeligste hærdesystem er benzoylperoxid og aminaccelerator.

Ved kontinuerlig presning vil temperaturen i formen stige til 50-60 °C på grund af reaktionsvarmen fra hærdeprocessen. Hærdetiden ligger på 6-15 min.

A. Tryksækmetoden B. Vakuummetsoden

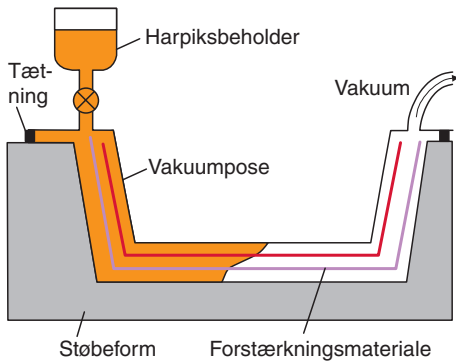


Vakuum- og tryksækmetoderne

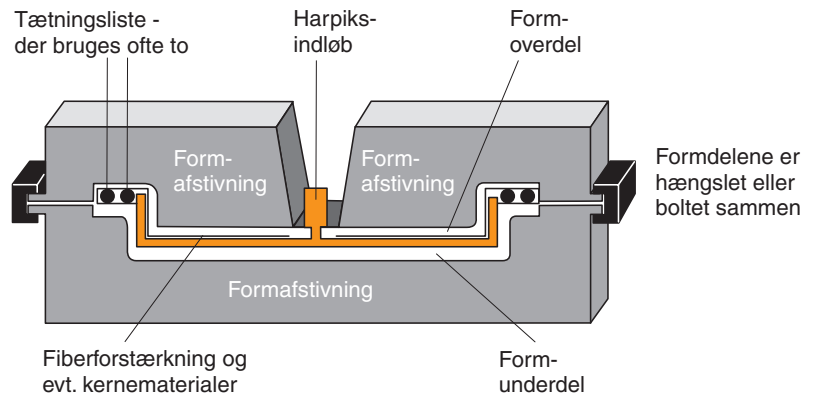
Efter oplægning af forstærkningsmateriale og polyester som ved håndoplægningsmetoden, anbringes en fleksibel sæk eller folie over materialet. Den presses så ved hjælp af vakuum eller tryk mod laminatet, således at al luft tvinges ud. Der fås et laminat med to gode overflader og forholdsvis højt glasindhold.

RTM

RTM står for Resin Transfer Moulding, som dækker over støbning i lukkede forme. Princippet er, at - normalt konfektioneret - forstærkningsmateriale anbringes præcist i underparten, formen lukkes, og initieret harpiks tilføres. Formens underpart skal være stærk og stiv (oftest af stål, aluminium eller evt. GUP). Overparten kan være stærk og stiv som underparten, den kan være semifleksibel fx af GUP i forholdsvis lille tykkelse eller fleksibel fx en vakuumpolie. I formen skal der være indbygget en klemkant for at skabe det nødvendige modtryk.



RTM-metoden



RTM med stiv dobbeltform

Injektionsmetoden

Mindre emner (op til ca. 1 m²) kan støbes ved ren injektion, hvilket vil sige, at harpiksen enten pumpes ind i formen eller tilføres ved gravitation, dvs. at harpiksen af sig selv løber fra en beholder, der er hævet over formen. Harpiksblendingen injiceres gennem nøjagtigt placerede injektionsåbninger med tryk op til 350 kPa. Cyklustiderne er af samme størrelsesorden som ved koldpresning.

Injektionsudstyret er derimod kun i brug i sekunder. Derved åbnes mulighed for ved successiv injektion at støbe i flere forme af varierende geometri og størrelse. Det giver stor grad af fleksibilitet i produktionen.

Stak af glasfiberprodukter i injektionsform (TUNETANKEN A/S)

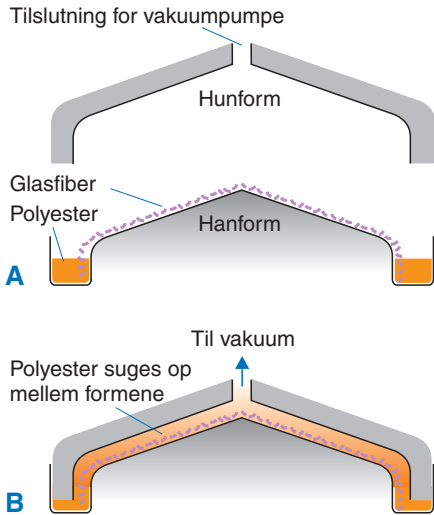


Vakuumstøbning

Større emner (fx bådsrog og vindmøllevinger) kan ikke støbes ved injektion alene, da det bliver uøkonomisk med de meget kraftige forme og meget store presser til at holde formparterne sammen. Større emner kan derimod fremstilles, ved at harpiksen tilføres ved hjælp af vakuum, hvis den øverste formpart er fleksibel eller semifleksibel. Metoden kaldes vakuumstøbning. (Se figuren ved RTM på foregående side).

Vakuumstøbning

- A. Under oplægning
B. Under imprægnering



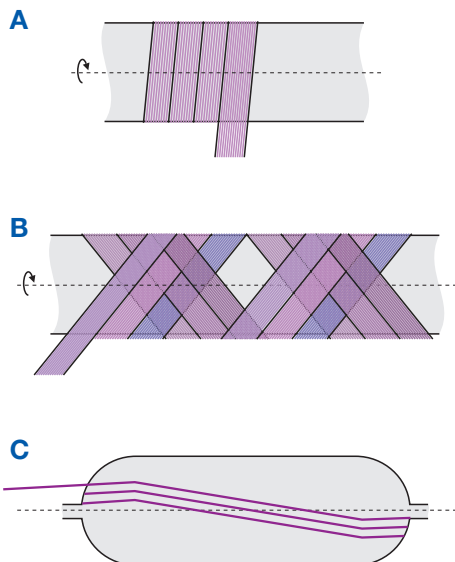
Vakuum-injektionsmetoden

Denne metode er, som navnet siger, en kombination af de to foregående metoder. Formene kan være af glasfiberforstærket polyester eller epoxyplast. Yderformen kan være bygget som en almindelig håndoplægningsform, blot med en kant til påtrykning af vakuum for at holde formparterne lukket sammen. Inderformen er forholdsvis fleksibel og uden ekstra forstærkninger. Det tilskårne forstærkningsmateriale anbringes i formen, som lukkes og holdes sammen ved hjælp af vakuum i kanten. En afmålt mængde initieret polyester injiceres med et overtryk på blot ca. 10 kPa. Harpiksen trænger et stykke ind i forstærkningsmaterialet, hvorved den semifleksible overform tvinges til at løfte sig fra underformen. Når den nødvendige mængde harpiks er injiceret, lukkes injektionsstutsene, og der påtrykkes vakuum langs kanten, således at luften suges ud, og polyestertrænger gennem forstærkningen, indtil overskud løber af i overløbsrenden.

Metoden er velegnet til store emner, og der kan fremstilles detaljer med udformninger, som er umulige ved håndoplægning. Sandwichkonstruktioner og komplicerede emner med indlæg kan ligeledes fremstilles ved vakuuminjektion.

Vikling

- A. Omkredsvikling
B. Krydsvikling
C. Polær vikling



Foruden de her nævnte metoder forekommer RTM i en lang række modifikationer, hvoraf flere er kendt under særlige betegnelser. VARTM står for Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding. VARI står for Vacuum Assisted Resin Injection. SCRIMP står for Seeman Composites Resin

Infusion Moulding Process. Injektionsmetoden kendes på engelsk som resin injection (harpiksindeprøjtning eller harpikstilførsel) og som resin infusion (harpikstilførsel).

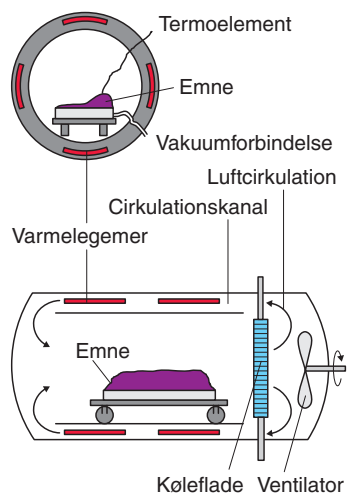
Vikling

Vikling er en metode, som er særdeles velegnet til rotations-symmetriske, større emner. Rør og tanke egner sig udmærket til fremstilling ved vikling.

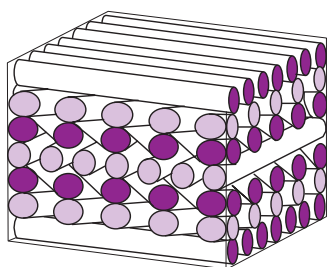
Fiberproduktet imprægneres først i et bad af initieret plasthantharpiks og føres til en roterende kerne. Laminatet kan så passere en hærdezone med forhøjet temperatur. Der kan tilføres varme gennem kernen, eller ved at kerne og laminat anbringes i en hærdeovn. Det hærdede laminat skæres eventuelt op i ønskede længder.

Den vinkel, hvormed rovingen vikles på kernen, kan varieres for at opnå optimale styrkeegenskaber i emnet.

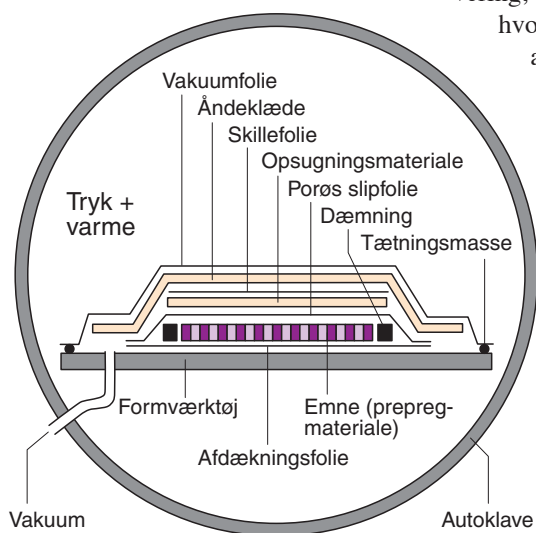
Ved vikling kan der blandt andet opnås laminaer med meget højt glasindhold og følgelig meget gode styrkeegenskaber.



Autoklavens principielle opbygning i tværsnit og i længdesnit



Laminat opbygget af mange lag med forskellige fiberorienteringer



Principskitse af oplægning og indpakning af pre-pregmateriale, som skal autoklaveres

Ved produktion af rør bruges sædvanligvis metalkerner. Ved mere komplicerede emner kan der også benyttes voks eller letsmeltelige metallegeringer, som smeltes væk, når laminatet er hærdet.

De metoder, der er beskrevet i dette kapitel, er principielt anvendelige til alle hærdeplastmaterialer, der kan forarbejdes på flydende form - altså først og fremmest polyester og epoxyharpiks og til dels også polyurethan og phenolplast. Carbamidplast og melaminplast kan af de nævnte metoder kun forarbejdes ved varmpresning. Hærdeplast kan herudover under særlige betingelser desuden sprøjtetøbes.

Autoklaving

Ved fremstilling af plastbaserede fiberkompositter ved autoklaving an-bringes en stabel eller pakke af rålaminatet i en autoklave, hvori det - efter først under vakuum at være blevet evakueret for indesluttet luft - udsættes for tryk og varme samtidigt. Hærdeplastbaserede fiberkompositter kan formgives og hærdes ved tryk på 1 MPa og temperatur på 250°C. Termoplastbaserede halvfabrikata kan formgives og konsolideres ved autoklaving med tryk op til 2 MPa og temperatur op til 450°C.

Autoklavens størrelse sætter selvsagt begrænsningen for, hvor store emner der kan fremstilles. De største autoklaver i dag er 10 m i diameter og 27 m lange. De anvendes hovedsageligt til fremstilling af komponenter til flyindustrien.

Autoklaveprocessen er en meget alsidig, men langsom proces, og procesudstyret er relativt dyrt. Fordelen ved processen er, at der fremstilles emner af meget høj og ensartet standard, specielt fordi procestrykket let kan kontrolleres og reguleres, og fordi metoden sikrer ensartet trykfordeling - også på emner med kompleks geometrisk udformning. Processen er derfor især udbredt i rumfarts- og luftfartsindustrien, anden højteknologisk industri og i forsøgs- og udviklingsarbejde til undersøgelse af nye materialer og til fastlæggelse af optimale procesbetingelser.

Prepregs er den type halvfabrikat, som anvendes mest ved autoklaving; men der er intet til hinder, for at et vådoplagt laminat, hvor fiberlagene påføres matrixmateriale, efterhånden som de anbringes i formen, også kan forarbejdes, sammenpresses og hærdes ved autoklaving.

Tynde lag af forimprægnerede fibre stables med skiftende fiberorientering for at danne det ønskede laminat som eksemplificeret på figuren til venstre.

Brede og 0,125 mm tynde prepreg-folier med ensrettede fibre har vundet stor udbredelse, da de giver konstruktøren stor frihed til at vælge fiberorienteringer og godstykkelsesvariationer i laminatet. Ved fremstilling af emner med stor godstykkelse er det dog mere almindeligt at anvende ensrettede prepregs med større tykkelse eller prepregs fremstillet af vævet roving.

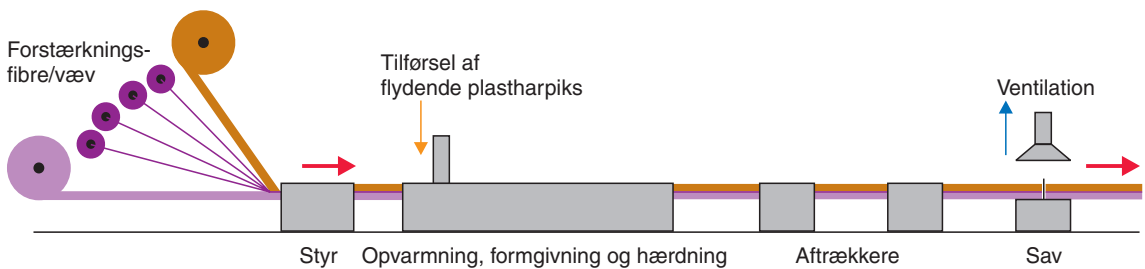


Kontinuerlige metoder

Pultrudering (profiltrækning)

Pultrudering er en automatisk proces til fremstilling af profiler af plastbaserede fiberkompositter. Profilernes egenskaber kan i høj grad tilpasses deres anvendelsesformål, og profilerne får en meget ensartet og reproducerbar kvalitet.

Ved pultrudering føres kontinuerligt forstærkningsmateriale gennem et imprægneringsbad med flydende plasthanpiks, normalt initieret polyester, men også phenolplasthanpiks og epoxyharpiks kan anvendes. Det imprægnerede forstærkningsmateriale føres så gennem opvarmede formgivningsværktøjer af stål, hvorved den ønskede geometri dannes. Ved hjælp af en aftræksmekanisme trækkes profilet gennem en hærdezone, hvori plasthanpiksen hærdes, og den endelige geometri dannes. Til sidst bliver profilet skåret i passende længder.



Princippet i pultrudering

I en variant af processen trækkes forstærkningsmaterialet "tørt" ind i formgivningsværktøjet, og plasthanpiksen injiceres. Dermed bliver det lettere at styre og kontrollere processen og hurtigere at stille om fra et profil til et andet. Samtidigt lettes skift fra en plasthanpiks til en anden. Ved denne udgave af pultruderingsprocessen er plasthanpiksen lukket inde i formgivningsværktøjet, hvorved frigivelsen af opløsningsmidler - fx styren fra polyester - er meget lille. Metoden giver altså et bedre arbejdsmiljø.

Pultrudering af store serier kræver relativt små produktionsomkostninger pga. få omstillinger og et lille mandskabsbehov.

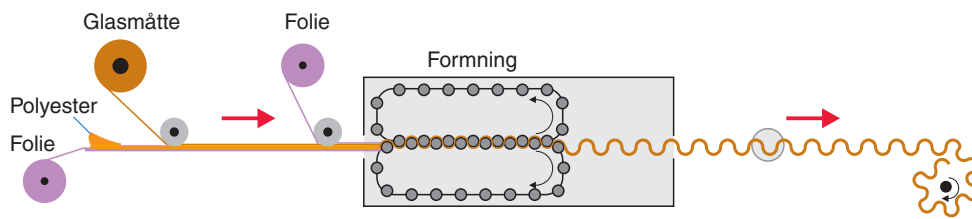
Ved pultrudering kan der opnås et moderat indhold af tværgående fibre og et meget højt indhold af langsgående fibre. I pultruderede profiler med kontinuerlig glasfiberforstærkning kan glasandelen nå op over 75 vægt-%.

Profiltrækning kan foregå i vandrette eller lodrette anlæg.

Man opnår produkter med meget høj styrke, hvis forstærkningen er orienteret i én retning og glasindholdet er højt. Typiske eksempler på pultruderede kompositprofiler er isolatorer til højspændingsrelæer, beklædningslementer til tog, lamelriste, trapper, reposer og gelændere samt bygningsprofiler.

Kontinuerlig laminering

Ved fremstilling af plane og korrugerede (bølgeformede) plader kan kontinuerlig laminering med fordel benyttes. Glasfiberforstærkningen føres gennem et imprægneringsbad med initieret polyester, derpå mellem to plastfolier og til sidst gennem et formgivningsværktøj. Polyesteren hærdes så ved passage gennem en hærdeovn. Temperaturen i ovnen kan variere mellem 60 og 140 °C. Produktionshastigheden afhænger af ovnens længde og er normalt fra 1-10 meter pr. minut.



Kontinuerlig laminering

Kontinuerlig vikling

Udstyr til kontinuerlig vikling er udviklet til fremstilling af cylindriske emner med et bredt diameterområde.

Med denne type udstyr bevæger den roterende kernes overflade sig kontinuerligt i retning mod hærdeovnen med en hastighed på 10-30 meter pr. time afhængigt af diameteren og godstykkelsen af det fremstillede emne. Standardlængde af kernen er ca. 6 m.

One off-metoden

Spantekonstruktion med GUP-laminat udvendigt under vending. (Standard Flex 300)

One off-metoden

Fremstilling af store emner i små serier i forme er helt uøkonomisk.

Derfor bruges det såkaldte one off-princip. Det indebærer, at der først fremstilles en spantekonstruktion, på hvilken der monteres planker fx af celleplast, som kan indgå i det færdige emne eller senere fjernes. På dette trin kan konstruktionen opfattes som en grov model af det færdige emne. Derpå påføres GUP-laminat i passende eller ønsket tykkelse; det skal i hvert fald være tykt nok til at tåle efterfølgende håndtering.

Når dette laminat er hærdet, fjernes eventuelt spantekonstruktionen, det hærdede GUP-laminat vendes, og der lamineres færdigt på den anden side indtil den ønskede tykkelse. Metoden er egnet til enkeltlagskonstruktioner, og til sandwichkonstruktioner er den særdeles velegnet, fordi kernen kan udgøres af planker af celleplast eller balsatræ, som monteres direkte på spantekonstruktionen. Fordelen er selvfølgelig, at der principielt ikke er nogen grænse for, hvor store emner der kan fremstilles. De ca. 50 m lange Standard Flex 300-fartøjer til Søværnet er fremstillet i Danmark efter one off-princippet. I Sverige er en 71 m lang korvet fremstillet på samme måde.

Ulempen er, at det ikke bliver nogen glat formside. Den ønskede overfladefinish skal altså tilvejebringes efterfølgende ved slibning, spartling, polering og lakering.



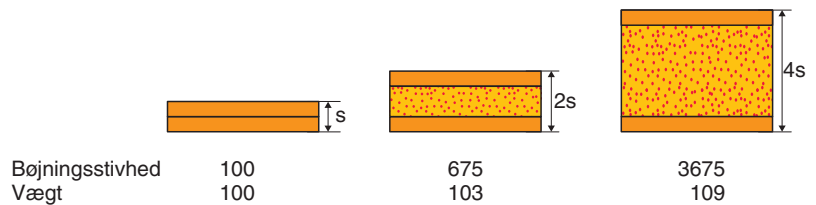
Spantekonstruktion til Standard Flex 300 under opbygning

Sandwichkonstruktioner

Sandwichkonstruktioner er en fællesbetegnelse på konstruktioner, der i princippet er opbygget af to tynde, stive og stærke (og derfor relativt tunge) skaller, der holdes adskilt af et relativt tykt lag af et relativt let materiale med langt lavere styrke og generel stivhed end skalmaterialet. Desuden skal der være god vedhæftning mellem kernelaget og skallerne. Kernens funktion er således at fiksere skallerne i veldefinerede positioner i forhold til hinanden. Et sådant arrangement besidder en væsentligt større bøjningsstivhed end en tilsvarende konstruktion uden kernen med samme vægt af skalmaterialet. I homogene bjælkekonstruktioner stiger bøjningsstivheden med tredje potens af tykkelsen; dvs. at den bliver otte gange så stiv, hvis tykkelsen blot fordobles.

På nedenstående figur ses, hvorledes et emnes bøjningsstivhed øges markant ved at skifte fra en "homogen" konstruktion af glasfiberforstærket umættet polyester med 40 % glasfibernåte til en sandwichopbygning med en kerne af 40 kg/m³ stift polyurethanskum, uden at materialeforbruget og dermed vægten stiger væsentligt.

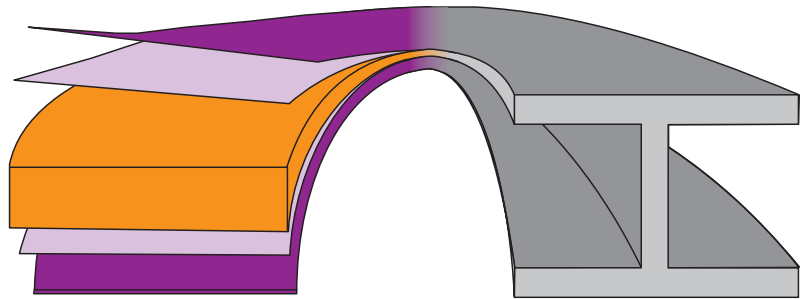
Sammenhæng mellem bøjningsstivhed og emnevægt ved sandwichprincippet



Det ses, at en vægtforøgelse på blot 3 % medfører 6,75 gange så stor bøjningsstivhed, samtidigt med at den totale tykkelse blot fordobles, mens 9 % vægtforøgelse giver 36,75 gange så stor stivhed ved en firedobling af tykkelsen.

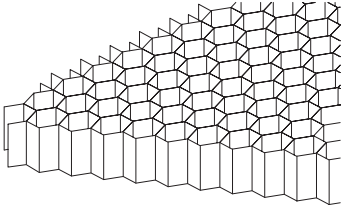
Det er i øvrigt helt samme princip, som kendes fra I-bjælker, hvilket illustreres af denne figur.

Illustration af analogien mellem sandwichprincippet og I-bjælkeprincippet



Som skalmateriale anvendes typisk fiberforstærkede hærdeplastkompositter især glasfiberforstærket polyester og epoxyplast forstærket med fibre af glas, carbon eller aramid (se kapitlet Hærdeplast).

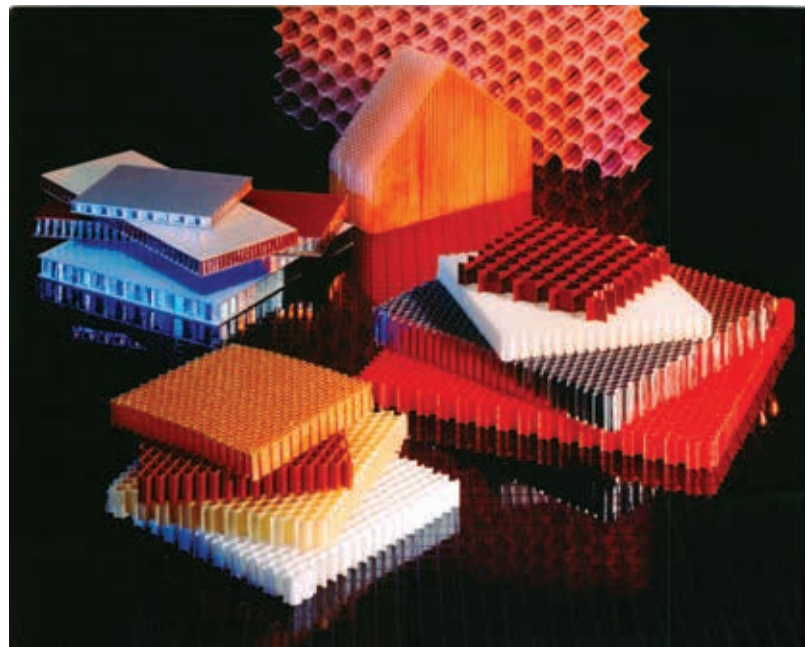
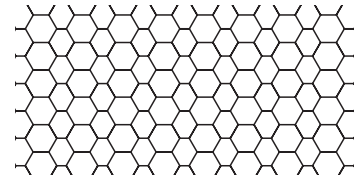
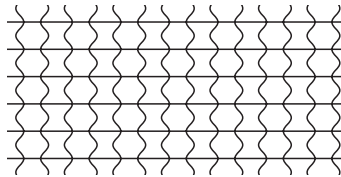
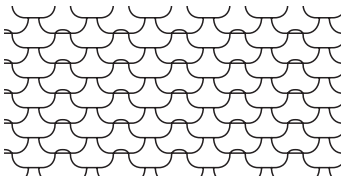
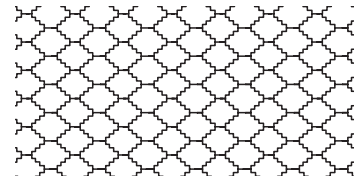
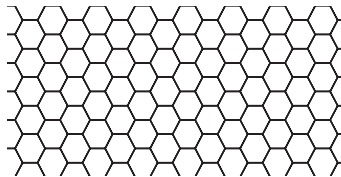
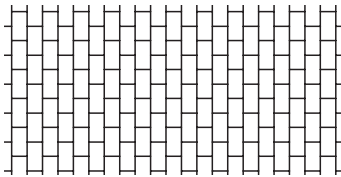
Bikagestrukturen i honeycomb



Som kernemateriale anvendes især balsatræ og celleplast af PVC, polystyren, polyurethan, polymethacrylimid og phenolplast. I konstruktioner, hvor vægten er afgørende, fx i fly- og rumfartsindustrien, anvendes hyppigt såkaldte honeycombs som kerne. Honeycombs består af forholdsvis smalle og tynde strimler af fx papir, stof eller plast, som er imprægneret med en plasthanpiks, eller af metal fx aluminium og formet til (oprindeligt) sekskantede celler i et særligt mønster. Således dannes fx en bikage-struktur, hvilken har givet navn til denne produkttype. Fordelen ved at anvende en honeycomb som kerne i en sandwichkonstruktion er, at der kun er materiale dér, hvor der er brug for det, nemlig på tværs af konstruktionen, mens der i fx celleplast er masser af skrå og langsgående cellevægge, som ikke bidrager til konstruktionens mekaniske egenskaber, men kun bidrager med øget (overflødig) vægt.

Både honeycombs og skaller i sandwichkonstruktioner fremstilles i øvrigt også af aluminium.

Eksempler på cellestrukturer i honeycomb



Honeycombprodukter
(Plascore Inc.)

Kontrolmetoder

Ved fremstilling af kompositmaterialer af fiberforstærket hærdeplast er det af afgørende betydning for kvaliteten af de færdige emner, at man sikrer sig, at hver eneste af de faktorer, der har indflydelse på resultatet, er optimal. Det gøres bedst ved at kontrollere flest mulige af disse faktorer.

Hos mange fabrikanter består hele kvalitetskontrollen alene af kontrol af den færdige produktion. Hvis der er fejl i et færdigtstøbt emne, er det imidlertid ofte forbundet med store tab at afhjælpe fejlene, idet materialet ikke kan støbes om til et nyt emne, fordi matrixmaterialet er en hærdeplast i hærdet tilstand. Fejl må afhjælpes som regulære reparationer. Ofte skyldes fejl i færdige emner, at der er forekommet fejl i en af råvarerne eller i selve produktionsprocessen. Det vil altid være hurtigere, nemmere og billigere at rette fejlene tidligst muligt i forløbet eller naturligvis bedst helt at undgå fejl.

Der findes en lang række relevante standardiserede prøvningsmetoder til rådighed til at gennemføre et fornuftigt kontrolprogram. Mange fabrikanter råder imidlertid ikke over udstyr eller personale til at gennemføre disse metoder, samtidigt med at metoderne ofte er kostbare og langvarige at gennemføre. I mange produktioner vil det ofte være tilstrækkeligt at gennemføre simple kontrolmetoder, som – selv om de ikke altid er så nøjagtige som de standardiserede metoder – giver tilstrækkeligt sikre udsagn.

I *Glasfiberarmeret polyester – Praktiske kvalitetskontrolmetoder af Kjeld Karbæk, Teknologisk Institut, 1989* er der nærmere beskrevet en række gennemprøvede kontrolmetoder, som er fundet tilpas enkle at udføre, og som uden særlig uddannelse og uden brug af kostbart udstyr kan udføres af formanden eller værkføreren i direkte tilknytning til produktionen under værkstedsmæssige forhold. Det vil dog altid være at foretrække at adskille kontrolaktiviteterne fra produktionen, hvis det overhovedet kan lade sig gøre.

Et fornuftigt opbygget kvalitetskontrollsystem vil omfatte:

- Råvarekontrol
- Produktionskontrol
- Færdigvarekontrol

Råvarekontrol

Råvarekontrol af polyesterharpikser

I det følgende er nævnt nogle forhold ved polyesterharpikser, som det kan være relevant at kontrollere - ved modtagelsen, og/eller umiddelbart før de tages i brug. Listen er ikke nødvendigvis et udtryk for, at alle ting skal kontrolleres i alle tilfælde. Afhængigt af den aktuelle situation og af de kontrolmuligheder, man råder over, kan man vælge de ting, man vil kontrollere.

- Overensstemmelse mellem ordre, følgeseddel og etiketoplysninger:
 - handelsnavn, produktbetegnelse og eventuelt farvekode
 - fremstillingsdato (alder). (De enkelte leverandører anvender ofte forskellige kodesystemer)

- Verificering af væsentlige egenskaber (ved leverandørattest eller ved prøvning):
 - reaktivitet (geltid, peak exotherm, hærdetid)
 - syretal
 - monomerindhold (styren)
 - viskositet
 - tiksotropi
 - løbeevne
 - evne til at lade luft slippe ud af forstærkningsmateriale
 - udhærdning
 - evt. andre relevante egenskaber fx af hærde harpiks

Råvarekontrol af epoxysystemer

Ligesom i det foregående om polyesterharpikser gælder det ved epoxysystemer, at man i hvert enkelt tilfælde skal vælge de ting, man vil kontrollere:

- Overensstemmelse mellem ordre, følgeseddel og etiketoplysninger:
 - handelsnavn, produktbetegnelse og eventuelt farvekode
 - fremstillingsdato (alder) sammenholdt med leverandørens anbefalinger om varens holdbarhed. Visse leverandører anvender forskellige kodesystemer til at angive råvarenes produktionsdato.
- Verificering af væsentlige egenskaber (ved leverandørattest eller ved prøvning):
 - reaktivitet (geltid, peak exotherm, hærdetid)
 - viskositet af færdig blanding ved relevante temperaturer angivet af leverandøren (stuetemperatur; evt. forhøjet procestemperatur)
 - evne til at lade luft slippe ud af forstærkningsmateriale
 - udhærdning af blandingen
 - evt. andre relevante egenskaber fx af hærde blanding

Råvarekontrol af forstærkningsmateriale (fibre)

Forstærkningsmaterialer fx glasfiberprodukter kan også kontrolleres for en række væsentlige forhold, hvoraf nogle kan være relevante, når man skal vælge fiberprodukter til sin produktion, mens andre kan anvendes som kontrol af et modtaget vareparti eller ved ibrugtagning:

- Udseende generelt samt fordeling af fibre og bindemiddel
- Arealvægt af todimensionale produkter (måtter og væv)
- Textværdi af roving (også i måtter og væv)
- Uimpregneret matts opførsel
- Harpiksimpregneret matts opførsel
- Håndterbarhed
- Gennemfugtningstid
- Formbarhed
- Stivhed
- Fugtindhold
- Glødningstab



Råvarekontrol af prepregs (SMC)

Da prepregs er en kombination af forstærkningsmateriale og ikke hærdet hærdeplastharpiks, vil råvarekontrol ofte kunne omfatte punkter fra de ovenstående afsnit samt:

- Type af fiber
- Type af hærdeplast
- Fremstillingsdato (alder)
- Udseende generelt samt evt. fordeling af fibre og bindemiddel
- Arealvægt
- Andel af forstærkningsmateriale
- Fugtindhold
- Glødningstab
- Fremstilling af prøveemne

Produktionskontrol

- Temperatur og relativ fugtighed af omgivende luft fx ved hjælp af termohygrograf
- Temperatur af råvarer
- Regnskab med forbrug og fordeling af råvarer
- Lagtykkelse af gelcoat- og topcoatlag
- Total tykkelse på passende stadier i processen

Færdigvarekontrol

Ikke-destruktiv prøvning

- Visuel kontrol
- Vægtkontrol
- Dimensionskontrol (tykkelse fx ved hjælp af ultralyd)
- Delamineringskontrol (fx ved hjælp af ultralyd eller coin tap test)

Destruktiv prøvning på udskæringer eller referenceplader

- Udhærtningsgrad (fx reststyrenanalyse eller Barcol-hårdhed)
- Andel og fordeling af forstærkningsmateriale (fx glasprocent)
- Andre relevante egenskaber (fx mekaniske, herunder interlaminaire styrkevædier)

Reparationsmetoder

I litteraturen gives der ingen egentlig dokumentation for de metoder, der i almindelighed anbefales til reparation af fiberforstærket hærdeplast. Til reparation af konstruktioner, der ikke udsættes for ekstreme påvirkninger, anbefaler en lang række råvareleverandører fremgangsmåder, der erfaringsmæssigt har vist sig at være fornuftige. Desuden gives en del kurser i reparationsteknik af tekniske skoler, teknologiske institutter, bådklubber og andre, allesammen byggende på nogle principper, som forekommer fornuftige, og som i årevis har vist sig at være gode.

Når det drejer sig om ekstremt påvirkede konstruktioner som fly og søværnets fartøjer, kan man i flyværkstederne og hos marinen finde meget detaljerede reparations-instruktioner, hvor intet overlades til tilfældigheder og sjældent til reparatørens egen afgørelse. Her er der imidlertid tale om et endeligt antal velkendte konstruktionsdetaljer, hvis betydning for hele fartøjets operationsdygtighed er kendt, og hvor kontrol af det udførte arbejde er en selvfølgelig nødvendighed. Følgerne af fejl i sådanne konstruktioner kan ofte være katastrofale.



Principper for reparation

Formålet med at reparere en beskadiget konstruktion er indlysende, nemlig at genskabe de oprindelige egenskaber, helst uden at det kan ses. Ofte anses udseendet imidlertid for lige så vigtigt som fx mekanisk styrke, fx hvis en bådejer ønsker at sælge sit fartøj efter et havari.

Principielt går reparationsarbejde altså ud på at fjerne alt beskadiget materiale og erstatte det med nyt. Det lyder simpelt, men kan ofte medføre store praktiske vanskeligheder. Tilførsel af nyt materiale vil i langt det overvejende antal tilfælde ske ved klæbning eller sekundær laminering.

Reparationsopgaver kan fx inddeles i følgende hovedtyper:

- Gelcoat- og topcoatskader
- Laminatskader
 - Ikke gennemgående
 - Gennemgående
 - Adgang fra begge sider
 - Kun adgang fra den ene side
- Sandwichskader

Det er et overordnet princip, at reparationer udføres, så den oprindelige konstruktion genskabes bedst muligt, dvs. med samme materialer og med samme laminatopbygning. Hvis laminatets opbygning er ukendt, kan man skaffe sig kendskab til den ved at afbrænde et lille stykke udskåret laminat. Glasset vil da blive tilbage, og man kan se, hvilke glasfiberprodukter laminatet er bygget op af. Hvis man ikke kan skaffe de samme materialer - der kan fx være tale om udenlandsk fremstillede konstruktioner eller konstruktioner af ukendt oprindelse - må man i hvert fald vælge materialer af samme type. For polyesterens vedkommende kan det være nødvendigt at analysere sig frem til den anvendte type (fx terephthalsyre, neopentylglykol, brandhæmmende).

Erfaringen har vist, at man imidlertid ikke altid kan regne med, at en bestemt polyester er god til at klæbe mod et udhærdet laminat af samme polyester, endsige af en anden polyester af samme type. Resultatet af en undersøgelse udført af Center for Plastteknologi på Teknologisk Institut vises i tabellen herunder. Det ses, at en bestemt kvalitet polyester ikke kan hæfte tilstrækkeligt godt mod sig selv, ej heller mod en anden kvalitet af samme fabrikat, men derimod godt mod en polyester af fremmed fabrikat, dog ikke et hvilket som helst. En anden polyester hæfter øjensynligt fint mod alle de undersøgte fabrikater og kvaliteter - også mod den omtalte "dårlige" kvalitet.

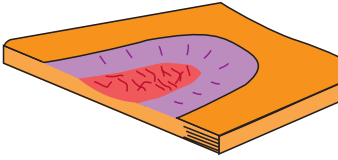
Vedhæftning

Indbyrdes vedhæftning mellem fem forskellige polyestere af fire fabrikater (A, B C og D).

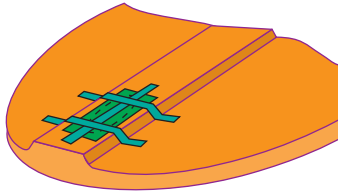
1 og 2 henfører til to forskellige kvaliteter af samme fabrikat. Alle er på orthophthalsyrebasis.

		Basislaminat			
		A, 1	A, 2	B	D
Sekundært laminat	A, 1	Dårlig	Dårlig	God	Dårlig
	C	God	God	God	-

Forberedelse af skadesområde ved en gelcoat-skade



Tilplastring af gelcoatreparation med plastfolie og pap



Valg af kornstørrelse

Grovslibning

P24-P50	Meget mat. fjernes. Emnets kontur kan tilpasses
---------	---

Mellemslibning

P80-P150	Noget mat. fjernes. En pæn, glat overflade efterlades
----------	---

Finslibning

P180-P320	Meget lidt mat. fjernes. Fint udseende
-----------	--

Vådslibning

P400-P1500	Efterlader overfladen egnet til polering
------------	--

Polérslibning

Polérpasta overflade	Færdigbehandlet
----------------------	-----------------

Vådslibning

Vådslibning udføres oftest som håndslibning. Der startes med korn P400-500, og når slibestedet har ens struktur, skiftes til næste kornstørrelse med største spring P200, og der sluttes med kornstørrelse omkring P1500. Jævnligt under slibningen og ved hvert skift af kornstørrelse skylles slibestedet med rent vand. For at sikre optimalt sliberesultat bør man jævnligt kontrollere resultatet i tør tilstand. Ved med en kulblyant at tegne streger på emnet kan man kontrollere, at der er slebet i bund, dvs. at gamle slibespor er fjernet. Blyantsstregene går helt ned i bunden af slibesporerne, og når farven er væk, er de gamle slibespor ligeledes væk, og der kan skiftes til finere kornstørrelse.

Gelcoat- og topcoatskader

I dette afsnit behandles reparation af skader og produktionsfejl i gelcoat og topcoat. Typiske produktionsfejl er beskrevet i tabellen sidst i dette kapitel.

Ridser og skrammer, der ikke er gennemgående, men således at gelcoaten stadig udgør en lukket overflade, finslibes med vandslibepap nr. 600, og de nu matte områder poleres til oprindelig eller ønsket glans med polérpasta.

Gennemgående ridser, krakeleringer (ofte stjerneformede), blærer, huller, såkaldt elefanthud (rynker) og andre gelcoatfejl eller beskadigelser udbedres, ved at gelcoaten først fjernes helt ned til glasfiberlaminatet. Randen slibes jævnt rund eller oval uden skarpe hjørner og affases med en hældning på helst 1:10.

Reparationsstedet renses for slibestøv med en acetonebefugtet klud eller bedre med en klud gennævædet med styren. Styren fordamper langsommere end acetone og indgår som bekendt i polyestersystemet, men overskud skal alligevel fjernes omhyggeligt, inden arbejdet fortsættes.

Som erstatning for den fjernede mængde gelcoat foretrækkes samme kvalitet fra samme leverandør og med samme farvenummer. Der vil oftest opstå en nuanceforskel, fordi den gamle gelcoat er falmet, men hvis ikke den er meget gammel, vil den nye gelcoat ret hurtigt få samme nuance, da den også falmer.

Dosering af hærdemidler skal være meget nøjagtig, men især ved små portioner er dette vanskeligt. For en sikkerheds skyld er det en god ide altid at tage mindst 50 g gelcoat i anvendelse, selv om behovet er mindre, og så kassere overskudet. Da de fleste fejl på dette trin skyldes utilstrækkelig sammenblanding af gelcoat og hærdemidler, skal det pointeres, at det er overordentligt vigtigt, at sammenblandingen sker omhyggeligt. Brug mindst 3 minutter til omrøringsprocessen!

Før gelcoaten påføres reparationsstedet, rengøres omgivelserne, og det kan undertiden være fornuftigt at behandle med voks eller andet slipmiddel, men pas på ikke at komme for tæt på reparationsstedet! Gelcoaten påføres i overskud, og derover anbringes et stykke folie af et materiale, der ikke klæber til gelcoaten, fx termoplastisk polyester (fx Hostaphan® eller Mylar®).

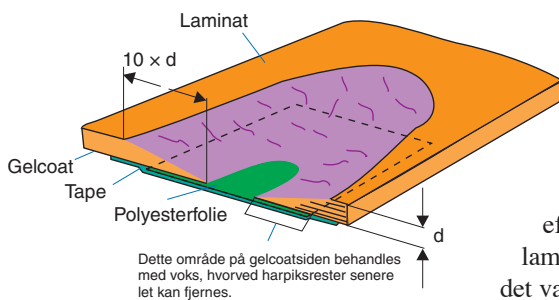
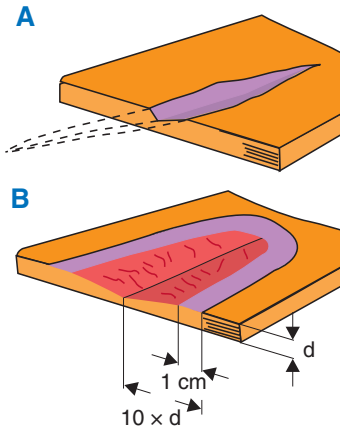
Med spartel, gummivalse eller andet passende værktøj udjævnes massen, og et stykke pap anbringes uden på folien og fæstnes med tape, så gelcoaten forhindres i at løbe, mens den hærdner. Efter hærdningen fjernes pap og folie, og reparationsstedets oprindelige kontur og overfladefinish genskabes ved en omhyggelig og tålmodig slibeprocess bestående af tørslibning, vådslibning og afsluttende med polering med polérpasta i forhold til den ønskede glans. Ved dobbeltkrumme flader eller andre vanskelige de taljer kan det være nødvendigt at gennemføre processen i to eller flere etaper. Fremgangsmåden illustreres på figureerne.

Tørslibning

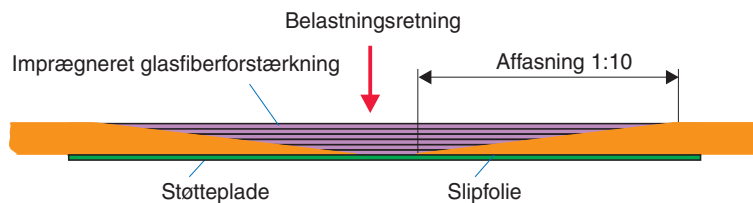
Inden tørslibning påbegyndes, er det vigtigt at beskytte det ubeska-digede område mod unødige sliberidser, idet skadesområdet afdækkes med tape. Er der store toppe af gelcoat, der ligger langt over om givelsernes niveau, indledes der med grov håndslibning med tørslibepapir, og der slibes videre med mellemslibning og afsluttes med finslibning. For at undgå, at der ved håndslibning slibes helt igennem gelcoatlaget, benyttes en slibeklods med samme kontur som emnets. Derved slibes der kun på de højeste punkter. På store, regulære områder kan der anvendes vinkel- eller excentersliber.

Forberedelse af skadesområde ved reparation af ikke gennemgående laminatskade

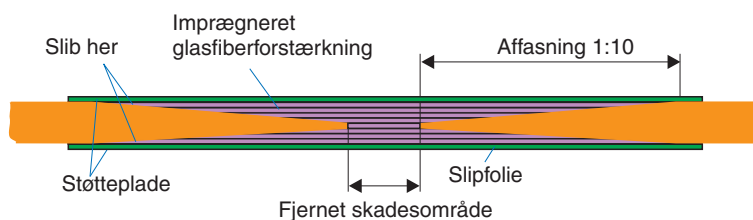
- A. Før reparation
B. Klar til påføring af nyt materiale



Gennemgående laminat-reparation fra bagsiden, enkeltsidigt affaset



Enkeltaffaset reparation af gennemgående laminatskade



Dobbeltaffaset reparation af gennemgående laminatskade

Laminatskader - ikke gennemgående

Beskadiget materiale fjernes ned til sundt (ubeskadiget) laminat, og randen af "såret" affases til en hældning på ca. 1:10 med groft slibepapir, fx nr. 24, idet der tilstræbes afrundede konturer, og skarpe hjørner og spidser undgås. Slibestedet renses for slibestøv med en styrenvædet klud.

Det fjernede materiale kan nu erstattes enten med tilskårne stykker af glasfibermåtte eller med en glasfiberholdig spartelmasse. Sidstnævnte kan man selv blande, eller den kan købes færdigblandet i pakker med afmålte mængder af hærde midler, som ofte er indfarvet for at sikre kontrollen med sammenblandingen.

Materialet skal grundigt arbejdes ind i "såret", så dette bliver fuldstændigt udfyldt, og så indesluttet luft arbejdes ud. Eventuelt kan fyldningsprocessen udføres i flere trin; fx først en grov og derpå en fin arbejds gang.

Når materialet er udhærdet, slibes det jævnt og glat, og der påføres ca. 0,5 mm gelcoat, som beskrevet i forrige afsnit. På figurene vises to vigtige trin i processen.

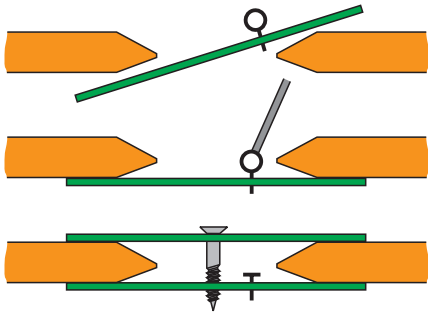
Laminatskader - gennemgående

Gennemgående laminatskader kan undertiden forekomme på steder, hvor laminatet ikke er tilgængeligt fra begge sider. Det er lidt mere besværligt at reparere, men med lidt ekstra omhu kan det sædvanligvis godt gøres tilfredsstillende. Er der tale om meget store skader, kan det være hensigtsmæssigt at støbe en ny detalje - helst i den oprindelige støbform - svarende til det område i konstruktionen, der er beskadiget, og så indlamine "reservedelen" efter udskæring af det tilsvarende beskadigede stykke. Er laminatet i sådanne tilfælde kun tilgængeligt fra én side, kan det være nødvendigt at skaffe sig adgang fx ved udskæring af et stykke ubeskadiget laminat og indlamining af det igen efter endt reparationsarbejde.

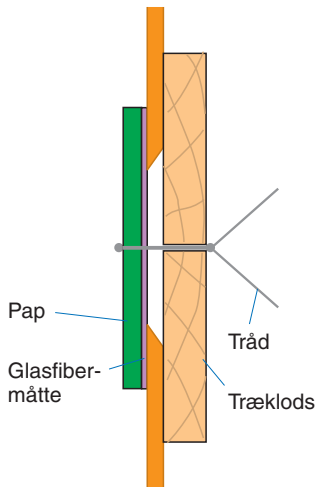
Et frit tilgængeligt laminat repareres ved fjernelse af alt beskadiget materiale, renskæring af brudstedet med afrundede kanter og dobbeltaffasning med den tidligere nævnte hældning 1:10. Nogle foreslår kun affasning på bagsiden af laminatet, således at gelcoatsiden fremstår med det mindst mulige hul. Forklaringen er, at reparation af gelcoatlag volder størst vanskelighed og derfor foretrækkes mindst muligt. Andre derimod foretrækker dobbeltsidig affasning ud fra den betragtning, at en sådan fremgangsmåde giver en stærkere reparation.

Ensidig affasning kan accepteres ved små eller ensidige belastninger.

Hvis laminatet kun er tilgængeligt fra den ene side, må der laves et hul, der er stort nok til, at man kan komme til at bearbejde den anden side af laminatet igennem hullet.



Anbringelse af støtteplade gennem aflangt hul ved reparation af gennemgående laminatskade - kun adgang fra oversiden



Hjælpeanordning til påføring af et lag glasfibernåtte indvendigt i lukket hulrum

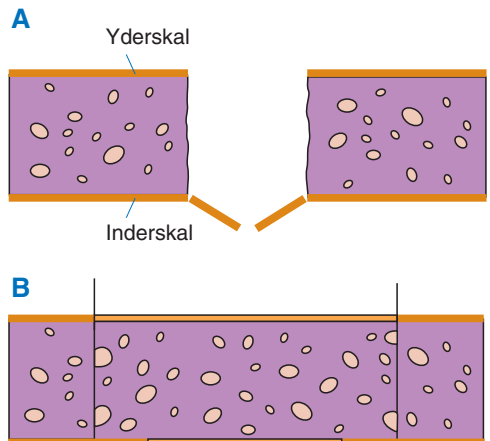
Om affasningen skal udføres enkeltstidigt eller dobbeltsidigt, er der som ovenfor nævnt forskellige opfattelser af. Ved dobbeltsidigt affasning fås måske en stærkere reparation, som det til gengæld er betydeligt vanskeligere at udføre godt. Hvis hullet gøres lidt aflangt, kan en støtteplade skydes igennem og fastgøres, fx med et lag glasfibernåtte pålagt, med en ståltråd eller lignende til forsiden. Den videre fremgangsmåde følger det, der er nævnt ovenfor under ikke gennemgående skader.

Laminatskader - sandwichkonstruktioner

Reparationer af beskadigede sandwichkonstruktioner kan være meget forskellige alene i medfør af de mangfoldige materiale-muligheder, der er til stede. Her skal blot omtales et sandwichlaminat bestående af to skaller af GUP med et cellulært materiale som kerne, typisk polyure- thanskum, PVC-skum eller kantstillet endetræ af balsa.

Hvis kernen skal udskiftes, fordi den er beskadiget, laver man først den allerede eksisterende åbning i det ene dæklag noget større end i det andet. Den beskadigede keredel kan da skæres ren og udtages igennem det større hul, og en omhyggeligt tilpasset erstatningskerne kan føres ind ad samme vej. Erstatningskernen må naturligvis fx med passende spartelmasse klæbes til det modsatte dæklag og til den øvrige kerne. Begge dæklagene lukkes herefter udefra på sædvanlig måde.

Hvis skaden ikke er gennemgående, men kun berører det ene dæklag og kernen, kan samme fremgangsmåde benyttes. Dog skal man passe på ikke at beskadige det uskadede dæklag, når kernematerialet fjernes.



Princip for erstatning af en keredel Gennemgående sandwichskade.

- A. Oprindeligt brud.
B. Færdig reparation.

Hullet i det ene dæklag er udvidet, og en ny skumkerne indsat.

Gelcoatfejl - deres årsag og afhjælpning			
Fejltype	Beskrivelse	Årsag	Afhjælpning/forebyggelse
Delaminering	Gelcoat skaller af fra laminat, og glasfibre er synlige	Gelcoaten er forurenset med voks, initiator, fyldstof, støv e.l.	Beskyt gelcoatens overflade mod forurening, indtil der påføres polyester
		Overskydende formvoks vandrer (migrerer) frem til overfladen	Undgå dårlig påføring og poléring af slipmidler
		Gelcoaten indeholder parafinwoks	Benyt gelcoat uden voks
		Gelcoaten er for udhærdet	Påfør yderste lag polyester og glasfiber inden 8 timer, eller rengør gelcoatoverfladen med styren, inden laminering med glasfiber og polyester påbegyndes
		Glasfibre er forurenset med snavs, olie, vand e.l.	Benyt kun tørre og rene glasfiberprodukter
Elefanthud	Rynker i gelcoaten. Luft eller polyester findes i fugerne mellem rynkerne	Gelcoatlag for tyndt	Anbefalet vådfilmtykkelse: 400-600 µm
		Luftfugtighed for høj	Reducér luftfugtigheden
		Temperatur for lav	Forøg temperaturen
		Initiatortilsætning for lav	Tilsæt mere initiator
		For stor styrenafdampning inden geléring som følge af for lang geltid	Forkort geltiden ved at justere accelerator- eller initiatortilsætningen
		Dårlig udhærdning af gelcoat inden påføring af polyester og glasfiber	Justér initiator type og/eller -mængde samt temperaturen
Mikroporer (knappenåls-huller/pinholes)	Mikroporer i gelcoatens overflade	Geltid for kort til, at luft kan undslippe	Justér initiator type og/eller -mængde
		For megen initiator tilsat	Justér mængden af initiator
		Dårlig forstøvning ved sprøjtning	Justér sprøjtetryk (poredannelse skyldes normalt for højt sprøjtetryk)
		Sprøjtepipist for tæt på form	Hold pistolen 50-100 cm fra formens overflade
		Gelcoatlag for tykt	Overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 µm
		Gelcoaten for højviskos	Justér viskositet og/eller temperatur
Farvevariation/misfarvning	Farvevariationer i emnets overflade	Gelcoat forurenset fra ruller, pensler eller sprøjte (vand, acetone m.m.)	Rens sprøjteanlæggets slanger, og brug kun helt tørre og rene pensler og ruller
		Løbere på bagsiden af gelcoaten	Se afsnit om løbere og buer
		Dårlig fordeling af initiator	Kalibrér sprøjteudstyr. Omrør håndoplægningskvaliteter omhyggeligt
		Sprøjtetryk for lavt, eller dyse for stor	Justér sprøjtetryk og/eller dysestørrelse
		Utilstrækkelig eller dårlig omrøring	Sørg for, at gelcoaten er gennemrørt. Hvis farvepasta tilsættes af kunden, bør gelcoaten gennemrøres med mikser ved lavt omdrejningstal
		Pigmentindhold for lavt	Justér tilsætningen af farvepasta

- fortsættes

Gelcoatfejl - deres årsag og afhjælpning			
Fejltype	Beskrivelse	Årsag	Afhjælpning/forebyggelse
Gelcoat binder til form	Gelcoaten hæfter til formen og giver ødelagte overflader	Slipmiddel er påført sjustet og uens	Påfør slipmiddel mere omhyggeligt
		Snavset form	Rengør formen grundigt, og påfør slipmiddel på ny
		Der er gået for lang tid mellem påføring af slipvoks og påføring af gelcoat	Påfør gelcoat, umiddelbart efter at formen er behandlet med slipmiddel
		Slipmiddel af dårlig kvalitet	Skift slipmiddel
Fiskeøjne/kratere	Små, runde områder uden gelcoat	Gelcoat forurenset med vand, olie, silikoneolie eller snavs	Rengør og aftør værktøj, udstyr og slanger omhyggeligt
		Uegnet slipmiddel	Undgå slipmidler, der indeholder silikone
		Snavset form	Rengør form med fnugfri klude
		Overskydende voks fra form	Fjern overskydende voks og polér form på ny
		Gelcoatlag for tyndt	Overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 μm
		Viskositet eller tiksotropi for lav	Justér gelcoatens viskositet, tiksotropi og temperatur. Omrør gelcoaten langsomt inden brug
Uklar, mat overflade	Uklar eller mat overflade, når emnet er afformet	Formens overflade er mat pga. slid eller dårlig polering	Polér formen ekstra omhyggeligt og påfør slipmiddel
		Formens overflade er mat pga. ophobning af voks og styren	Rens formen i bund med et egnet middel, og påfør slipmiddel på ny
		Slipmiddel indeholder vand, der ikke er fordampet inden oplægning af gelcoat	Bruges vandholdige slipmidler, så vent, indtil alt vand er fordampet
		Snavs og støv fra form	Rengør form med antistatiske og fnugfri klude
		Gelcoat ikke gennemhærdet inden afformning	Sørg for, at gelcoaten er gennemhærdet og kontrollér, at initiatortilsætning har været korrekt
Glasfiber-gennemslag	Mønsteret fra glasfiberforstærkningen anes gennem gelcoaten	Gelcoaten ikke gennemhærdet før oplægning af polyester og glasfibre	Kontrollér initiatormængde og -type, gel-tid, temperatur af luft, gelcoat og form
		Laminat afformet før tilstrækkelig udhærdning	Lad emnet forblive længere i formen, inden det afformes
		Gelcoatlag for tyndt	Overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 μm
		For stor varmeudvikling (T_{max}) af efterfølgende lamineringspolyester	Lad lamineringspolyesterlaget mellemhærde, eller vælg polyester med lavere T_{max}
		Forkert brug af glasfibermaterialer	Brug ekstra polyester til glasfiber måtte med lav tex-værdi i første lag laminat bag gelcoatlaget. Anvend ikke vævede glasfiberprodukter tæt på gelcoatlaget

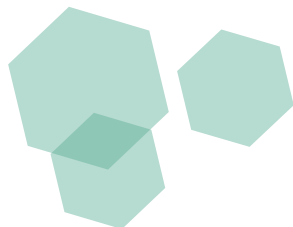
- fortsættes

Gelcoatfejl - deres årsag og afhjælpning					
Fejltype	Beskrivelse	Årsag	Afhjælpning/forebyggelse		
Gelcoat slipper form	Gelcoat slipper form for tidligt	Gelcoat påført for tykt og uensartet	Overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 µm		
		Gelcoatens varmeudvikling (T_{max}) for høj	Reducer accelerator- og/eller initiatortilsætningen		
		Gelcoat ikke fleksibel nok	Vælg en mere fleksibel gelcoattype		
		For kraftig skrumpning	Vælg gelcoat med lavere styrenindhold		
		Form for varm	Undgå direkte varme og sollys på formen		
		Overskydende slipmiddel	Rengør formen grundigt, og polér den igen		
		Geltid for kort, eller lamineringspolyester for varm	Justér accelerator- og/eller initiatortilsætningen til både gelcoat og lamineringspolyester		
Krakelering/edderkop	Krakele- ring og sprød- hed i gel- coatens overflade	Tryk fra lami- nate- ts side	Overdreven brug af kraft ved afformning af emner	Slå aldrig på formen eller laminatet med en hammer e.l. Brug trykluft eller vand til hjælp ved afformningen	
Krakelering i cirkler	Tryk fra gel- coatens side	Efter afformning	For tykt gelcoatlag	Reducér gelcoatlagets tykkelse	
Krakelering paral- lelt			Over- dreven vridning	Polyesterlaminat underhær- det på afformnings- tidspunktet	Kontrollér udhærdningen. Afform først, når laminatet er tilstrækkeligt hærdet
				For tyndt glasfiberlaminat	Forøg tykkelsen af glasfiberlaminatet på berørte områder
				Gelcoat ikke tilstrækkeligt fleksibel	Anvend en mere fleksibel gelcoat
				Problemer med slipmiddel	Kontrollér, at slipmidlerne og behandling af formen er korrekt
				Revner i formen	Kontrollér, at formens overflade er uden revnedannelser
Gulning	Misfarvning af hvide farver eller pastefarver ved påvirkning med sollys	Initiatortilsætning alt for stor	Justér initiatortilsætningen		
		Gelcoatlag for tykt	Påfør gelcoat så jævnt som muligt og overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 µm		
		Lokal underhærdning af gelcoat	Kontrollér fordeling af initiativ og temperatur		
		Styren eller overskud af voks fra formens overflade	Rengør, polér og vedligehold formen bedre		
		Færdige laminater rengjort med midler, der indeholder alkalier eller aminer	Brug kun vand eller neutrale rengøringsmidler		
		Gelcoat udsat for stærk termisk nedbrydning	Eliminér lokale varmekilder		
		Pigmenter (billige typer), der har dårlig lysstabilitet	Hvis der anvendes klar gelcoat, bør kvaliteten af farvepasta undersøges		
		Angreb fra vand eller andre kemikalier	Kontrollér udhærdningsgraden. Kontrollér, at den rigtige gelcoat er anvendt		

- fortsættes

Gelcoatfejl - deres årsag og afhjælpning

Fejltype	Beskrivelse	Årsag	Afhjælpning/forebyggelse
Løbere og buer	Gelcoaten løber på lodrette steder	Gelcoatlag for tykt	Kontrollér tykkelsen, og justér den
		Gelcoatens viskositet eller tiksotropi for lav	Justér viskositeten inden påføring
		Omrøring af gelcoat for kraftig inden brug	Benyt blandeudstyr med langsom omrøring, så tiksotropien ikke nedbrydes midlertidigt
		Slipmiddel uegnet (silikoneindhold for højt)	Anvend andet slipmiddel
		For højt sprøjtetryk kan få gelcoaten i bevægelse	Kontrollér og justér sprøjte trykket
Osmoseblærer	Blærer af diameter fra få mm til få cm	Gelcoat, polyester og glasfiber er ikke alle egnede til den aktuelle anvendelse	Vælg polyester og gelcoat med lavest muligt indhold af vandopløselige og hydrolyserbare bestanddele samt pulverbundne mætter
		Dråber af initiator, acetone eller vand på gelcoaten inden laminering	Kontrollér sprøjteudstyr, og brug tørre pensler. Rens gelcoatoverfladen med trykluft eller styren inden overlaminering
		Tørt glas eller luftblærer i første lag glasfiber	Sørg for, at første lag glasfiber er helt gennemvædet og udrullet for indesluttet luft
		Gelcoatlag for tyndt	Overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 μm
		Gelcoatlag eller første lag lamineringspolyester er underhærdet	Justér påførings- og hærdebetingelser
Appelsinhud	Ujævn finish og uensartet farve. Emnets overflade ligner appelsinskræl	Gelcoatens viskositet eller tiksotropi for høj	Kontrollér temperaturen, og justér om nødvendigt
		Sprøjtepipet for tæt på form eller holdt i forkert vinkel	Påfør altid gelcoat vinkelret på formens overflade i en afstand af 50-100 cm
		Utilstrækkelig forstøvning	Forøg sprøjte trykket
Polyesterseparation	Tynde revner med polyester uden farve viser sig på lodrette flader	Gelcoat eller trykluft til rensning af form indeholder vand	Affugt arbejdsområdet. Fjern evt. kondensvand fra trykluft
		Utilstrækkelig og/eller dårlig iblanding af initiator	Anvend evt. en anden initiator. Tilsætning og omrøring af initiator bør forbedres
		Geltid for lang	Justér temperaturen og initiator tilsætningen. Fjern styren i dybere områder af formen ved at forøge ventilationen
		For stor koncentration af styren over formen spærrer for iltkontakt til overfladen og skaber derfor dårlig udhærdning	Justér sprøjte trykket. Overhold den anbefalede tykkelse på 400-600 μm
		For høj dynamisk spænding ved sprøjtning af gelcoat. Godstykkelse for høj og viskositet eller tiksotropi for lav	Justér viskositeten
		Sprøjtepipet for tæt på formens overflade	Hold altid sprøjtepipeten i en afstand af 50-100 cm fra formens overflade



POLYURETHAN-STØBNING



Produktkendskab

Polyurethan benævnes i daglig tale PUR, hvilket også er den gængse og internationalt standardiserede forkortelse for materialet.

Polyurethan blev opdaget i 1849 af kemikerne Würtz og Hoffmann, som rapporterede om reaktioner mellem diisocyanat- og hydroxylforbindelser.

Udviklingsarbejdet til et industrielt produkt blev dog først sat i gang i 1937 i Aachen i Tyskland, da kemikeren Otto Bayer opdagede polyadditionen af disocyanater og kunne fornemme den kommercielle anvendelse af polyurethaner.

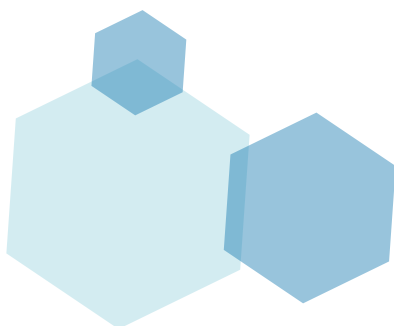
I dag er polyurethaner en meget omfattende materialegruppe. Der skelnes mellem to hovedgrupper, nemlig stive og fleksible polyurethaner.

I Danmark blev der i 1999 forbrugt totalt 35-40.000 tons PUR til opskumning og støbning af polyurethanemner.

Branchen består af 40-50 virksomheder, hvoraf de 10 største alene anvender 75 % af Danmarks totale forbrug af PUR-råvarer.

Branchen kan opdeles i tre materialegrupper:

- Stift PUR-skum
- Fleksibelt PUR-skum
- Integral-PUR-skum



Stift PUR udgør mellem halvdelen og 2/3 af branchens produktion. Cirka halvdelen af dette anvendes inden for køle/frysesektoren, omkring 1/4 anvendes til fjernvarmerørssektoren og resten til sandwichpaneler, isolering af varmtvandsbeholdere m.m.

Stift PUR er et af de mest effektive isoleringsmaterialer, der anvendes inden for bygge-, fryse- og fjernvarmesektoren. Ud over sandwich- og isoleringseffekt fremstilles polyurethaner med forskellig stivhed og massefylde bl.a. til vinduesprofiler og kabinetter.

Fleksibelt skum udgør ca. 1/3 af branchens produktion. Det er emner som madrasser, sæder og hynder samt emner som sportsudstyr, skobunde og dele til automobilindustrien, der produceres af forskellige typer poly-urethanelastomerer.

Integralskumsemner, støbe- og fugemasser og lim udgør resten af branchens produktion.

Polyurethanerne forekommer mest som hærdeplast (en-, to- eller tre-komponent), kaldet PUR, men findes også som termoplast, kaldet TPU.

I modsætning til de fleste andre plastmaterialer kan polyurethaner fremstilles med meget store variationer i både massefylde og stivhed.

Derfor er det hensigtsmæssigt at opdele polyurethanerne i grupper og inden for hver gruppe behandle materialerne, deres egenskaber og anvendelsesområder.

I tabellen nedenfor er polyurethanerne opdelt i stive og fleksible (bløde) polyurethaner, og derefter deles de i grupper med bestemte egenskaber afhængigt af massefylden.

Polyurethantyper

Stive polyurethaner		Fleksible polyurethaner	
Type	Massefylde kg/m ³	Type	Massefylde kg/m ³
Massive typer	1.200	Massive elastomerer	1.100-1.250
Stift integralskum	100-800	Mikrocellulære elastomerer	100-1.100
Let skum/isoleringsskum	32-100	Fleksibelt integralskum	100- 800
Ultralette skum	8-30	Lette typer (komfort-teknisk)	15-60

Stive polyurethaner

Ved at anvende en speciel type polyolråvare tilsat di-isocyanaten MDI kan der fremstilles stive PUR-emner.

Stive, massive typer

Massive PUR-produkter fremstilles af råvarer, som tilnærmelsesvis ligner råvarerne til stift integralskum. Råvarerne indeholder dog ikke opskumningsmiddel, og strukturen bliver således porefri og dermed helt massiv.

Materialet bruges fortrinsvis til støbning af mindre serier af tekniske artikler og som tekniske støbemasser. Karakteristiske egenskaber er stor slidstyrke, termisk stabilitet og kemikalieresistens.

Stift integralskum

Ved at variere procesbetingelserne samt sammensætningen og blandingen af ingredienserne kan man endvidere opnå, at PUR-polymeren opskummes delvist, således at emnet dannes med en porefri overflade. Skum, der er fremstillet på denne måde, kaldes integralskum. Integralskum laves både stift og fleksibelt. Opskumningsgraden og dermed massefylden af skummet kan styres ved valg af råvarer og procesparametre.

Front til flaskeautomat i massivt PUR (SP Group A/S)



Eksempler på anvendelse af stive, massive typer

- Tekniske artikler
- Sportsudstyr
- Tandhjul
- Støbeforme
- Belægninger
- Lamineringsopgaver

Eksempler på anvendelse af stift integralskum

- Vinduesprofiler
- Termobokse
- Kabinetter
- Valser
- Automobildele
- Transportkasser
- Stoleskaller
- Dekorationsartikler
- Træimitationer

Eksempler på anvendelse af let skum/isoleringskum

- Køle/frysecontainere
- Køle/fryseskabe
- Sandwichelementer
- Fjernvarmerør
- Præisoleringselementer
- Isolering af tanke/rør

Eksempler på anvendelse af ultralette skum

- Hulrumsisolering
- Emballage
- Isoleringsopgaver
- Opdriftsmiddel



Isolering af fjernvarmerør i let skum
(Krauss Maffei/Polyfa Trading)

Stift integralskum anvendes typisk til fremstilling af kabinetter i mindre serier. Derudover fremstilles vinduesprofiler og valser til fremkalder- og reproanlæg i integralskum. Integralskumsstrukturen giver produkterne høj styrke og lav vægt, samtidigt med at det massive PUR's gode materialemæssige egenskaber bevares.



Tekniske artikler i stift integralskum
(Bayer A/S)



Valser til grafisk industri
(SP Group A/S)

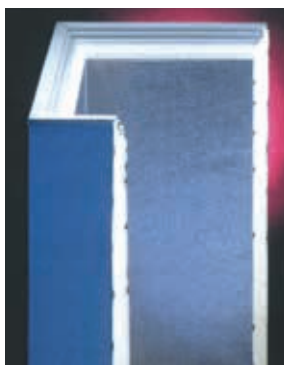
Let skum/isoleringskum

Let PUR-skum anvendes hovedsageligt til sandwichpaneler til containerproduktion, til isoleringsformål i fjernvarmerør, i køle/fryseskabe, i isoleringspaneler og i varmtvandsbeholdere. Skummets isolerende egenskaber opstår ved dannelsen af et stort antal lukkede celler indeholdende en isolerende gas. Disse celler fremkommer ved brug af et opskummingsmiddel/drivmiddel, som fordamper under fremstillingsprocessen og indkapsles som gasblærer i PUR-materialet og/eller som et reaktionsprodukt (CO_2) mellem di-isocyanat og vand.

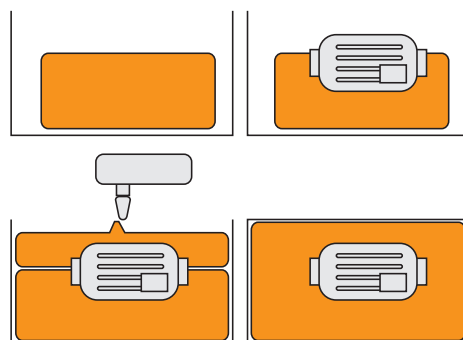
Stift PUR-skum er et stabilt og stærkt materiale. Skummet kan indgå som kernemateriale i sandwichkonstruktioner, idet skummet stabiliserer opbygningen ved at udfylde mellemrummet mellem to skaller og hæfte sig til dem.

Ultralette skum

Ultralet PUR-skum anvendes hovedsageligt til isoleringsformål og som stødabsorberende emballage. Fremstillingsprocessen er som ved let PUR-skum, der bliver dog i blandingen tilsat en øget mængde opskummingsmiddel/drivmiddel. Derved øges cellestørrelsen, og massefylden bliver lavere.



Isolering af fryseskab i let skum
(Nortech-Cannon A/S)



Emballageskum/let skum

Fleksible polyurethaner

Ved at anvende en speciel type polyolråvare tilsat di-isocyanaterne TDI og MDI kan der fremstilles fleksible PUR-emner.



Elastomer-emner
i PUR
(Bayer A/S)

Eksempler på anvendelse af massive elastomerer

- Rør og slanger
- Valsler
- Tandhjul
- Sportsudstyr
- Dæk
- Hjul
- Tandremme
- Sprøjtebelægninger

Eksempler på anvendelse af mikrocellulære elastomerer

- Skistøvler
- Skosåler
- Automobiledele
- Tætningslister

Eksempler på anvendelse af fleksibelt integralskum

- Skosåler
- Armlæn
- Nakkestøtter
- Bilinteriør
- Rat

Eksempler på anvendelse af lette typer

- Sæder
- Ryglæn
- Madrasser
- Svampe
- Tætningslister
- Isolering af rør
- Emballageskum

Massive elastomerer

Massive, elastomere PUR-produkter fremstilles ud fra råvarer, som tilnærmelsesvis ligner råvarerne til de øvrige fleksible typer. Råvarerne indeholder dog ikke opskumningsmiddel/drivmiddel, og strukturen bliver således cellefri/massiv.

Massiv, elastomer PUR anvendes til fremstilling af tekniske artikler, som udsættes for særlige kemiske eller fysiske påvirkninger. Et eksempel herpå er truckhjul.

Mikrocellulære elastomerer

Mikrocellulære, elastomere PUR-produkter fremstilles ud fra råvarer, som tilnærmelsesvis ligner råvarerne til de øvrige fleksible typer. Råvarerne indeholder dog opskumningsmiddel/drivmiddel, og der dannes således mikroskopiske celler i materialet med deraf faldende massefylde.

Egenskaberne er som ved de massive elastomerer.

Fleksibelt integralskum

Ved at variere procesbetingelserne samt sammensætningen og blandingen af ingredienserne kan man endvidere opnå, at PUR-polymeren opskummes delvist, således at emnet dannes med en porefri overflade. Opskumningsgraden og dermed massefylden af skummet kan styres ved valg af råvarer og procesparametre.

Fleksibelt integralskum anvendes først og fremmest til skosåler, møbelpolstring og inden for bilindustrien. Der udnyttes luftlommernes fjedrende og vægtreducerende virkning i kombination med den massive overflades styrke over for kemisk og fysisk påvirkning.

Lette typer

Let, fleksibelt PUR anvendes hovedsageligt af møbel- og bilindustrien til hynder, sæder og madrasser.

Ved at ændre blandingen, bl.a. mængden af opskumningsmiddel/drivmiddel, ændres egenskaber som massefylde og komfort (blødhed). Det er karakteristisk, at produkterne har åbne celler.



Emner i fleksibelt polyurethan
(SP Group A/S)

Øvrige anvendelsesområder for PUR

Ud over anvendelsesområderne for de allerede nævnte typer anvendes polyurethaner til fremstilling af:

- Lime
- Malinger og lakker mv.
- Tætningslister
- Fugeskum
- Fugemasser
- Gulvbelægninger
- Folier og slidlag



Lette, fleksible PUR-emner
til møbel- og automobil-
industrien
(NortechCannon A/S)

RIM-processer

En særlig type polyurethaner er egnet til forarbejdning ved *RIM-processen* (RIM = reaction injection moulding). Ved denne metode kan der fremstilles produkter fra integralskum til massive, termoplastiske elastomerer.

Ved iblanding af glasfibre kaldes metoden *RRIM* (= reinforced reaction injection moulding). Derved forbedres de mekaniske egenskaber betydeligt. RRIM-PUR anvendes mest i bilindustrien til interiørdele samt udvendige paneler og pyntelister. Andre typiske anvendelser er stoleskaller og kabinetter til computere og andre elektriske apparater.

Materialelære

I tabellen herunder gives en samlet oversigt over råvarer til PUR-fremstilling.

Råvarer til PUR-fremstilling				
Polyoler	Di-isocyanater	Driv-/blæse-midler	Katalysatorer	Andre tilsætningsstoffer
Tilsat kædeforlængere = polyol med lille OH-tal	MDI	Vand	Organiske tinkatalysatorer (katalyserer reaktionen mellem polyol og diisocyanat)	Celleregulatorer og stabilisatorer (fx silikoneolier)
Tilsat tværbindere = polyol med stort OH-tal	TDI	HFC	Tertiære aminer (katalyserer reaktionen mellem vand og diisocyanat samt polyol og di-isocyanat)	Brandhæmmende additiver
	Modificerede di-isocyanater	Kulbrinter		Farve
		Pentan		Antistatiske midler
				Fyldstoffer

PUR's opbygning

Hovedkomponenterne til fremstilling af alle typer polyurethener (massive og celleplast) er:

- Polyol
- Vand
- Di-isocyanat

Polyol og di-isocyanat blandes i korrekt blandingsforhold, hvorefter de reagerer kemisk med hinanden (ved additionspolymerisation), idet der dannes polyurethan. Under reaktionen udvikles varme (eksoterm reaktion).

Vand og di-isocyanat reagerer med hinanden under dannelse af urea, CO₂ og varme.

PUR's fremstillingsproces

Hovedreaktion I

polyol + di-isocyanat → varme + polyurethan = massiv PUR

PUR-celleplasts fremstillingsproces

Ved fremstilling af PUR-celleplast tilsættes opskumningsmidler/drivmidler.

Til dannelse af PUR-celleplast er det nødvendigt, at der udvikles gas i reaktionsblandingen. Det sker enten ved kemisk reaktion eller ved tilsætning af væsker med passende kogepunkt.

PUR-celleplasts fremstillingsproces med kemisk reaktion

Hovedreaktion II

polyol + di-isocyanat + vand → CO₂ + diamin + varme

diamin + di-isocyanat → urea + varme = celledannende PUR

- Vand tilsættes polyolblandingen
- Vand reagerer med di-isocyanaten under dannelse af kuldioxid (CO₂) og urea
- Kuldioxidgassen udgør cellegassen under polymerisationen, idet polyol reagerer sammen med resten af di-isocyanaten

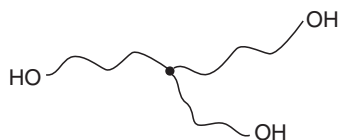
De mest almindeligt anvendte opskumnings-/drivmidler			
Gruppe	Navn	Struktur	Kogepunkt (°C)
HFC134a	C ₂ H ₃ F ₄		-26
	152a	C ₂ H ₄ F ₂	-25
	365mfc	C ₄ H ₅ F ₅	40
	245fa	C ₃ H ₃ F ₅	15
FC	Perfluorbutan	C ₄ F ₁₀	-2
	Perfluorpentan	C ₅ F ₁₂	30
	Perfluorhexan	C ₆ F ₁₄	56
HC	Cyclopentan	C ₅ H ₁₀	49
	Iso-pentan	C ₅ H ₁₂	28
	n-pentan	C ₅ H ₁₂	36
"Vand"	Kuldioxid	(CO ₂)	(-80)
HFC	"hydrofluorcarboner"		
FC	"fluorcarboner"		
HC	"hydrocarboner"		

PUR-celleplasts fremstillingsproces med tilsætning af væsker med lavt kogepunkt

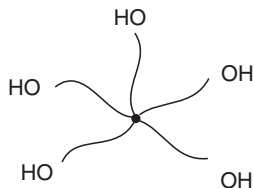
Som tidligere nævnt er polyurethan-polymerisationen varmeudviklende (eksoterm).

Tilsætter man en ureaktiv væske med passende kogepunkt til reaktionsblandingen, bliver den varmet op ved den eksoterme reaktion. Væsken koger i blandingen. Den dannede gas danner celler i PUR-materialet.

I dag anvendes HFC'er (hydrofluorcarboner), kulbrinter eller CO₂ som opskumnings-/drivmidler.



OH-grupper i polyol til fleksibelt PUR (giver elasticitet)



OH-grupper i polyol til stift PUR (giver hårdhed)

Polyoler

I polyurethanfremstillingen er polyolen den komponent, der indebærer de store variationsmuligheder.

Som udtryk for polyolens reaktive grupper anvendes:

- OH-grupper
- OH-tal
- Hydroxyl-tal (engelsk: hydroxyl value)

Ved valg af polyol kan generelt siges:

- Polyol med lavt OH-tal giver fleksibelt PUR (OH-tal 30-60)
- Polyol med stort OH-tal giver stift PUR (OH-tal 250-600)

Ud over polyolens OH-tal bestemmes den færdige PUR's egenskaber af polyolens funktionalitet og af OH-gruppernes reaktivitet.

Di-isocyanater

De mest anvendte di-isocyanater til fremstilling af PUR-celleplast er di-isocyanater med to reaktive NCO-grupper, også kaldet MDI (diphenylmethan-di-isocyanat) og TDI (toluen-di-isocyanat).

Mest almindelige er "crude" 4,4'-MDI (4,4'-diphenylmethan-di-isocyanat, udestilleret blanding).

MDI anvendes fortrinsvis til fremstilling af stift polyurethan.

MDI + polyol (med stort OH-tal) → stift PUR



TDI (toluen-di-isocyanat) anvendes til fremstilling af fleksibelt PUR.

TDI + polyol (med lille OH-tal) → fleksibelt PUR

Blandinger af MDI og TDI anvendes til formstøbt, fleksibelt PUR-celleplast.

Ud over MDI og TDI anvendes modificerede og rene MDI'er til specielle PUR-recepter.

Ligesom polyolerne har di-isocyanaterne forskellig molekylmasse.

Antallet af reaktive NCO-grupper angives i datablade som %NCO, dvs.:

$$\%NCO = \frac{\text{reaktive NCO-gruppers molekylmasse} \times 100}{\text{hele molekylets masse}}$$

MDI: % NCO = 20-32 %

TDI: % NCO = 48 %

Katalysatorer

En blanding af polyol og di-isocyanat uden tilsætning af katalysator har meget ringe reaktionshastighed. Derfor er det nødvendigt at tilsætte en katalysator.

Katalysatorers funktion er at:

- øge reaktionshastigheden
- skabe balance mellem de to hovedreaktioner
- føre reaktionerne til ende

I fremstillingen af PUR-celleplast anvendes:

- Organiske tinsalte, som katalyserer reaktionen mellem polyol og di-isocyanat (hovedreaktion I)
- Tertiære aminer, som katalyserer reaktionen mellem di-isocyanat og vand samt mellem polyol og di-isocyanat
- Specielle katalysatorer til specielle recepter

Katalysatoren er typisk tilsat polyolen af systemproducenten, typisk i koncentrationer på 0,5-3 % afhængigt af de øvrige parametre.

Stabilisatorer

Ved fremstilling af PUR-celleplast skal cellerne gøres ensartede og stabile, indtil hærdeningen er færdig. Det sikres ved tilsætning af et overfladeaktivt stof også benævnt en celledstabilisator, fx polysiloxan-polyether-copolymer (silikoneolier).

Stabilisatorerne styrer også den funktion, der bestemmer, om celledstrukturen skal være åben eller lukket.

Stive PUR = lukkede celler.

Fleksible PUR = åbne celler.

Additiver

Ud over de ovenfor nævnte nødvendige stoffer kan der tilsættes additiver til specifikke formål.

Brandhæmmende additiver

Til produkter af visse PUR-typer stilles der særlige brandkrav, det gælder fx produkter til fly-, bil- og møbelindustrien. Det er derfor nødvendigt at tilsætte en såkaldt brandhæmmer.

Der findes to typer af brandhæmmere:

- Reaktive typer, der via deres kemiske struktur kan indbygges i polyurethanen. Fx brandhæmmende polyoler, hvis fosfor- og/eller halogenindhold (chlor-, fluor-, brom- og jodforbindelser) virker brandhæmmende.
- Ikke-reaktive typer, der er iblandet polyurethanen. Disse kan have en tendens til at migrere (vandre) ud til polyurethanens overflade. Det kan være lavmolekylære forbindelser, som indeholder fosfor og/eller halogen.

Fyldstoffer

Forskellige fyldstoffer og forstærkningsmaterialer kan tilsættes med det formål fx at forbedre de mekaniske egenskaber.

Farvepigmenter

Polyurethaner kan indfarves ved tilsætning af organiske farvepigmenter i polyolen.

UV-stabilisatorer

Der kan tilsættes UV-stabilisator for at beskytte polyurethanen mod nedbrydning fra sollysets ultraviolette stråler.

Slipmidler

Ved støbning af emner i PUR påføres formen et slipmiddel, for at emnet kan slippe formen ved afformning.

Endvidere anvendes slipmidler for at kontrollere emnets glans m.m. på de støbte emners overflade.

Slipmidler findes i mange varianter. Alt afhængigt af råvarer og procesbetingelser findes de i enten fast, pasta-lignende form eller i flydende form, hvor de faste stoffer er opløst i et opløsningsmiddel.

Tidligere var det typisk CFC'er, der anvendtes, men i dag, hvor denne stofgruppe ikke er tilladt, anvendes vand eller organiske opløsningsmidler.

Procesforløb

Reaktionstider

Til karakterisering af PUR-processens forløb anvendes et sæt betegnelser, som i tid angiver hele processens varighed fra start af blandingsstidspunktet, til blandingen er færdigreageret.

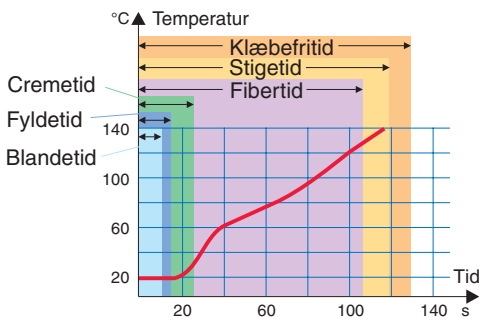
Tiden måles kontinuert med start fra blandingsstidspunktet af råvarerne:

- Blandetid/skudtid: Tiden målt i sekunder fra blandestart til afslutning af blandeprocessen.
- Fyldetid: Tiden målt i sekunder fra blandestart til det tidspunkt, hvor blandingen er fyldt i formen.
- Cremetid: Tiden målt i sekunder fra blandestart til det tidspunkt, hvor den reagerende blanding skifter farve, og reaktionen starter. Hvis der er tale om en celledannende PUR, kan der på overfladen ses skumdannelse med en begyndende stigning.

- **Fibertid:** Tiden målt i sekunder fra blandestart til det tidspunkt, hvor der kan trækkes fine tråde ud af den reagerende masse, fx med en træ rørepind, der fjernes med en hurtig bevægelse. Ved fremstilling af PUR-emner bør formen være fyldt, inden fibertiden indtræder. Den resterende tid bruges til overfyldning/overpak med deraf følgende densitetsstigning.
- **Stigetid:** Tiden målt i sekunder fra blandestart til det tidspunkt, hvor skummet ikke udvider/ekspanderer mere.
- **Klæbefritid:** Tiden målt i sekunder fra blandestart til det tidspunkt, hvor skummet ved en let berøring er klæbefrit.

Dannelse af PUR sker ved en eksoterm proces. Der sker altså en varmeudvikling i takt med den kemiske reaktion. Det skal især iagttages i forbindelse med fremstilling af cellulære typer. Da skummet allerede under processen er varmeisolerende, undslipper reaktionsvarmen kun langsomt, og der kan nås ganske høje temperaturer midt i skummet.

Selvantændelse ved overophedning i tykke blokke er en realistisk risiko!



Temperaturforløb under hærdning af PUR-skum

Jo tykkere emnerne er, des højere bliver temperaturen. Jo højere temperatur, des større reaktionshastighed.

Ved sammenlignende prøver skal der altid anvendes portioner af samme størrelse.

Det er væsentligt at tage hensyn til, at den kemiske reaktion mellem polyol og di-isocyanat er temperaturafhængig. Det betyder, at selv mindre temperaturudsving medfører væsentlige ændringer af alle reaktionstider. Hæves temperaturen 10 °C, fordobles reaktionshastigheden i nogle tilfælde, hvilket kan medføre, at fx cremetiden reduceres til det halve.

Diagrammet til venstre viser reaktionstiderne for et typisk cellulært system, der reageres ved stuetemperatur (23 °C).

Opskumning

Ved opskumning i lukkede eller åbne formværktøjer er det væsentligt at iagttage nogle regler for skudtid, transporttid og overfyldningsgrad. Reglerne beskrives herunder.

Skudtid

Skudtiden i formen må ikke overstige cremetiden. Cremetid minus skudtid bør altid være højere end fem sekunder ved hurtige skumsystemer.

Dette skal sikre, at skummet har en rimelig tid til at stabilisere sig i formen, og at en del af den indpiskede luft kan forlade den reagerende blanding.

Procesforløbet skal studeres nøje inden produktionsstart, og reaktionstiderne skal tilpasses den aktuelle opgave: fx røropskumning med lange flydeveje eller udskumning i lukkede eller åbne formværktøjer.

Transporttid

Transporttiden, som er den tid, det tager for skummet at udfylde hele formhulrummet, bør ikke overstige fibertiden. Er dette tilfældet, er der fare for, at der trækkes fibre langs formens sider med deraf følgende fejl i overfladen, reduceret mekanisk styrke og dårlig vedhæftning til eventuelle yderlag.

Den resterende tid, indtil stigetid indtræder, anvendes til materialekompression/overpakning.

Overfyldningsgrad	Skumtryk (bar)
1,2	0,1
1,5	0,3-0,4
2,0	0,7-0,9
2,5	1,3-1,6

Overfyldningsgrad

Overfyldningsgrad eller overpakning defineres som forholdet mellem vægtfylden ved fri opskumning og vægtfylden efter opskumning i form.

Overfyldningsgraden har betydning for vedhæftningen, densiteten og dermed de mekaniske egenskaber. En given overpakning medfører et overtryk i formen, som det er nødvendigt at dimensionere denne efter.

Overfyldning giver overtryk i formen. Trykket i formen kan ved utilsigtet overdosering blive for stort - i værste fald med ødelæggelse til følge.

Blandemetoder

For at få PUR-produkter med optimale egenskaber er det en forudsætning at have det rette blandingsforhold mellem de enkelte komponenter. Afvigelserne i blandeforholdet bør holdes inden for $\pm 1\%$ med anvendelse af moderne blandeudstyr.

Der findes to metoder til blanding:

- Portionsblanding (håndblanding)
- Kontinuert blanding

Portionsblanding

Portionsblanding er den simpleste og billigste metode, men egner sig kun til forsøg, ved små råvaremængder, produktion af små og simple emner i lille antal osv.

De er - polyolblandingen og di-isocyanat - afvejes i hver sin beholder, hvorefter de hældes sammen i den ene eller i en tredje beholder.

Straks herefter omrøres med en mikser, fx en boremaskine med blandepropel, ved 2.000-3.000 omdr./min i et givent tidsrum, fx 15 sekunder.

Blandehovedet/mikseren bør være cirka en halv gange diameteren af blandebeholderens diameter.

Det er vigtigt, at der anvendes en god propel, og at dens størrelse, hastighed og placering i blandebeholderen er nøje afstemt med blandingens viskositet, størrelse og blandebeholderens udformning.

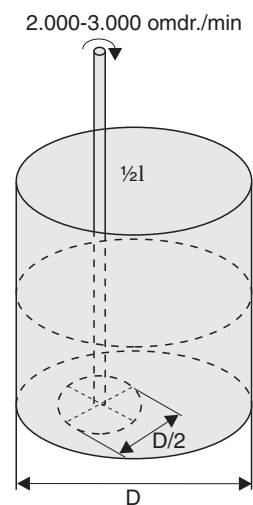
Blanding og fyldning af form eller hulrum skal være afsluttet i god tid inden cremetiden. Derved sættes grænser for blandestørrelsen.

Denne metode giver et forholdsvis stort materialespild, og især ved hurtige skumsystemer kan det knibe med at nå at blande komponenterne effektivt, hvilket kan medføre forringede materialegenskaber.

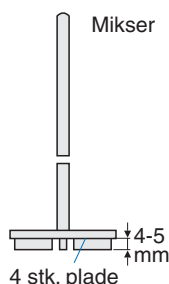
Håndblanding anvendes typisk ikke ved egentlig, kontinuert produktion, men mere til laboratorieforsøg, prøveproduktioner m.m.

Kontinuert blanding

Kontinuert blanding og udstøbning foregår altid med maskine. Gennemgangen af denne blandemetode er derfor indeholdt i efterfølgende gennemgang af polyurethanstøbmaskinen.



Portionsblanding



Polyurethanstøbemaskinen

Der findes et stort udbud af maskiner benævnt som henholdsvis høj- og lavtryksmaskiner. Maskinerne er af varierende konstruktion med kapacitet fra få gram til ca. 350 kg/min.

Fælles for dem alle er, at komponenterne fra materialetanke, trykfade eller via fødepumper føres gennem tryk- og doseringspumper til et blande-hoved, hvori de blandes.

Højtryksmaskiner og lavtryksmaskiner adskiller sig principielt fra hinanden ved det princip, hvorved komponenterne sammenblandes.

Maskinerne fås med eller uden returløb fra skudhoved/mikser til materialetanke, ligeledes med eller uden fødetryk og opvarmning af råvarerne.

Som oftest er et af de store problemer at hindre råvarerne i maskinen i at reagere med fugt. Det kan være procesluft eller den aktuelle værksteds-luft. Det er derfor af største betydning, at luften er tør.

Til en god proces-luftkvalitet vil det oftest være nødvendigt med en lufttørre på kompressoren eventuelt med et tørrebatteri monteret direkte på maskinens lufttilslutning. For at forhindre skadelig indvirkning fra fugtig luft kan der specielt på di-isocyanatsiden anvendes en trykflade med kvælstoftilsætning (N_2).

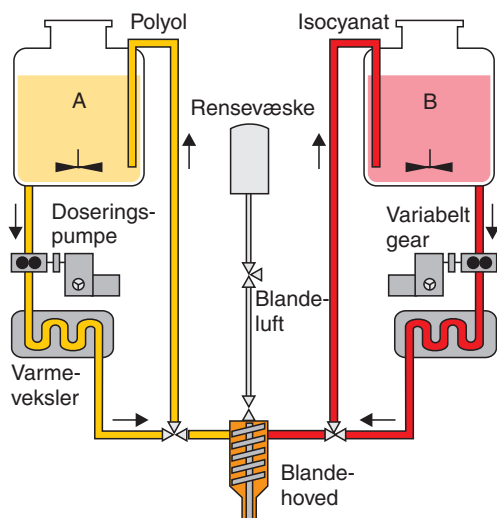
Rengøring af lavtryksmaskiners blandekammer sker ved renspling med en rensvæske. Det kan være et opløsningsmiddel eller et opvarmet vandrensningssystem. Der vil altid forekomme spild eller kemikaliefaldsrester på lavtryksmaskiner i forbindelse med rengøringen efter hvert skud.

Ved højtryksmaskiner foregår rengøringen ved en mekanisk funktion, enten med et hydraulisk rensesempel eller en trykluftaktiveret rensenål.

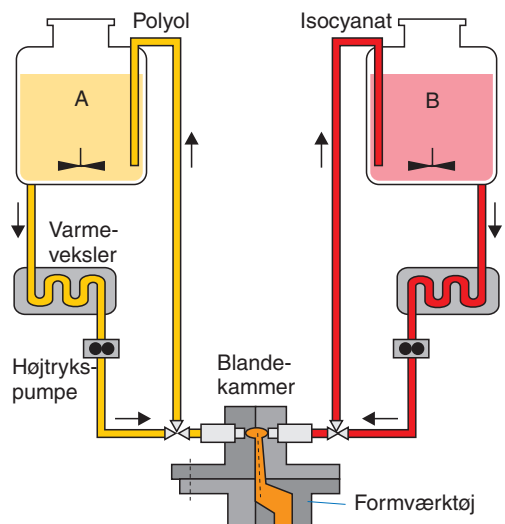
PUR-maskinens blande-hoved er en central maskindel for fremstilling af PUR. I blande-hovedet blandes polyolen med di-isocyanaten og eventuelle additiver. Doseringen og blandingen foregår automatisk, umiddelbart inden blandingen skal bruges.

Ved valg af maskine er det væsentligt, at maskinens kapacitet tilpasses emnestørrelsen. En skudtid på 0,3-0,6 gange cremetiden ved den aktuelle temperatur anses for passende.

Principskitse af lavtryksanlæg



Principskitse af højtryksanlæg



Højtryks-blandehoved
(CANNON)



Maskinkrav

- Maskinen skal have det rigtige kapacitetsområde i forhold til den/de aktuelle opgave(r). Det må påregnes, at de fleste maskiner kun fungerer korrekt i en mindre del af deres kapacitetsområde, fx 20 % fratrukket maksimal og minimal kapacitet.
- Maskinen skal kunne præstere en korrekt blanding i hele det ønskede kapacitetsområde.
- Afmåling skal være korrekt inden for 2 % i hele maskinens kapacitetsområde, og afmålingen skal være reproducerbar. Efterkontrol bør være mulig.
- Der skal være mulighed for etablering af blandeluft.
- Temperaturstyringen skal kunne holde råvarerne på en bestemt temperatur af hensyn til viskositet og reaktivitet.
- Varmeveksler skal derfor foretrækkes frem for varme-/kølekappe.
- Den skal have tilstrækkelig tankkapacitet.
- Den skal være let at vedligeholde.
- Den skal være betjeningsvenlig.
- Der skal eventuelt være en dansk manual.



Højtryks-maskine (KraussMaffei)

Højtryksmaskiner

I højtryksmaskinen blandes komponenterne ved at blive doseret gennem dyser ind i skudhovedets blandedekammer under højt tryk, hvorved komponenterne atomiseres og blandes.

Højtryksmaskiner opererer med tryk på 100-200 bar.

Maskinen udmærker sig ved en effektiv blanding, og ved at blandehovedet renses mekanisk efter hvert skud.

Fordele og ulemper ved højtryksmaskiner

Fordele

- Stempelpumper giver nøjagtig dosering med små variationer
- Lineær pumpekarakteristik, hvilket giver simpel indjustering
- Lille blandedekammervolumen giver lille materialespild
- Let rensning af blandedekammer - der anvendes ingen organiske opløsningsmidler
- Stort kapacitetsområde
- Ultrahurtige skumssystemer kan anvendes
- Let håndterbart blandehoved
- Egnet til fast montering på værktøj
- Giver fin og ensartet cellestruktur

Ulemper

- Kan vanskeligt forarbejde væsker med viskositet højere end ca. 1.500 mPa·s
- Relativt sårbar mekanisk
- Høj pris
- Har normalt køle-/varmekappe på tanke i stedet for varmeveksler i kredsløb
- Væskerne befinder sig ofte kort tid i blandedekammeret, hvilket kan give mangelfuld blanding
- Kræver ofte efterblanding i indløbssystem
- Producerer under recirkulation så store varmemængder i dyserne, at temperaturen på råvarerne hæves

Lavtryks-anlæg med mikserblende-hoved (Nortech-Cannon A/S)



Lavtryksmaskiner

I lavtryksmaskiner blandes komponenterne i skudhovedets blandedekammer ved en mekanisk tvangsmiksning/sammenpiskning. Blandingen i denne type maskine foregår ved hjælp af en mekanisk, roterende mikser, eventuelt tilsat blandeluft (ca. 100 ml/min.) under et såkaldt lavtryk på 0-30 bar. I modsætning til højtryksmaskinen er lavtryksmaskinen ikke selvrensende, idet hele blandedekammeret efter hvert skud skal renses med en rensévæske eller vand.

Normalt anvendes tandhjulspumper på lavtryksmaskiner. Visse maskiner er forsynet med aksialstempelpumper.



Fordele og ulemper ved lavtryksmaskiner

Fordele

- Robust og enkel konstruktion
- Blanding med roterende mikser
- Anbefalelsesværdig til fyldning af åbne forme
- Kan arbejde i væsker med relativt høj viskositet
- Stor spændvidde i kapacitetsområde
- Kan køre uden rensning efter hvert skud, hvis taktiden er lille i forhold til cremetiden
- God væsketemperering gennem varmeveksler i recirkulationskredsløb
- Den reagerende væske opholder sig længe i blandedekammer (lav strømningshastighed)
- Relativt billig

Ulemper

- Relativt unøjagtig dosering, hvis der anvendes tandhjulspumper
- Meget følsom over for trykvariationer i de to væskedrejsløb
- Forbrug af rensévæske, hvis der skal renses efter hvert skud.
- Materialespild, hvis der renses efter hvert skud
- Det er ikke muligt at arbejde med ultrahurtige skumsystemer
- Friktionsvarmen i mikseren kan være så stor, at cremetiden forkortes væsentligt i løbet af skudtiden
- Blandehovedet er tungt og svært at håndtere
- Fast montering på værktøj er ikke umiddelbart mulig
- Eventuelt benyttes organiske opløsningsmidler ved rensning

Præørproduktion (Løgstør Rør A/S)



Produktionsmetoder

Alt afhængigt af maskinkravene anvendes der både høj- og lavtryksmaskiner til de forskellige produktionsmetoder til materialetyperne:

- Massive typer
- Stift eller fleksibelt integralskum
- Stift eller isolerings- og komfortskum

Der skelnes mellem følgende produktionsmetoder:

- Enkeltstyks-emnestøbning
- Emnestøbning med karrusel

Produktionsanlæg til enkeltstyks-emnestøbning (Bayer A/S)



Enkeltstyks-emnestøbning

Enkeltstyks-emnestøbning anvendes generelt ved mindre serier. Oftest kræves der en pneumatisk eller hydraulisk formholder, der kan åbnes/luk-kes ved skud. Derefter positioneres formen i den rigtige position ved udluftning og hærkning for til sidst at åbnes ved afformningstid. Fjernvarmerør og fittingsdele fremstilles typisk efter denne metode.

Maskinen kan betjene flere forme, afhængigt af materialer, skudkapacitet og aktionsradius.

På mange maskiner er det også muligt at få monteret flere skudhoveder, ligesom der er mulighed for fastmonteret skudhoved direkte på formværktøjet.

Emnestøbning i karrusel

Ved større serier med ens råvarer med en skudmængde, der ligger inden for maskinens kapacitetsområde, og hvor krav til formopbygning muliggør en standardformopbygning, anvendes ofte en såkaldt karrusel.

Karusellen med de monterede formværktøjer cirkulerer forbi skudhovedet, hvor der fyldes med den aktuelle skudmængde, herefter lukkes formen og kan roteres i den rigtige position af hensyn til udluftning og formfyldning.

Efterfølgende, når formen når en bestemt position på karusellen, åbnes formparterne, og det færdige emne kan udtages. Med trykluft rengøres formen for eventuelle PUR-rester, der påsprøjtes slipmiddel, og formen køres frem klar til næste skud.

Herefter er det færdige emne klart til eventuel efterbearbejdning.

Karuselsystem til produktion af bildele (Krauss Maffei/Polyfa Trading)

Blokstøbning (Bayer A/S)



Produktionsmetoderne blokstøbning og slabstock

Til materialetyperne let, stift PUR og let, fleksibelt PUR skelnes der mellem:

- Blokstøbning
- Slabstock

Blokstøbning

Ved blokstøbning anvendes oftest stift skum. Hvor der er behov for individuelle tilpasninger af det færdige PUR-skum, såsom plader af forskellige dimensioner til sandwichkonstruktioner, eller andre emner af forskellig art, kan der med fordel anvendes blokstøbning.

Det foregår, ved at der støbes en blok i en kvadratisk form. Formsiderne er oplukkelige. Efter udhærkning udtages PUR-blokken, og den efterhærdner, bearbejdes og skæres ud til det færdige emne.

Slabstock

Slabstock-processen adskiller sig væsentligt fra de førnævnte processer.

PUR-skummet fremstilles i endeløse blokke med tværmål på op til 1,5 × 2,5 meter og skæres op i længder på op til 65 meter.

Under opskumningen føres råvarerne fra råvaretankene gennem rørsystemer til et blandehoved. Råvaren doseres til blandehovedet under både højtryk og lavtryk alt afhængigt af anlægstypen.

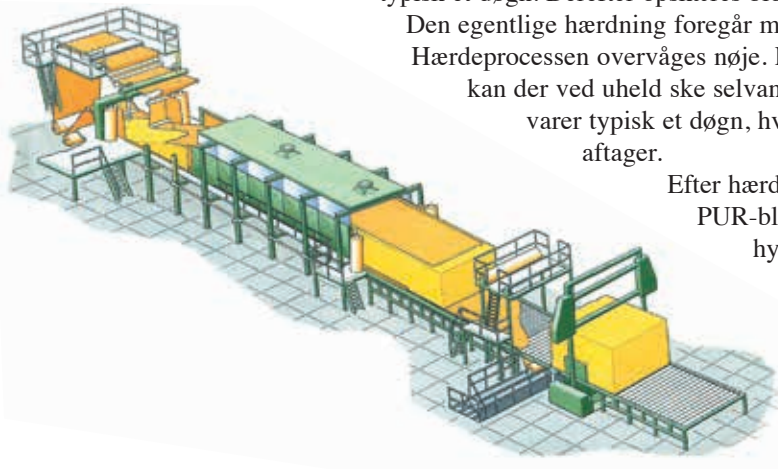
Blokkene opskummes i en lang tunnel, som har blokkens dimensioner og som er foret med papir. Bunden af tunnelen/slisken er udformet som et transportbånd. Under opskumningen doseres råvaren ud på papiret i tunnelens ene ende, mens transportbåndet langsomt trækker papir og opskummet PUR-blok væk fra mikserhovedet. Undervejs i denne transporttunnel reagerer PUR-råvaren, og hærningen og dermed celledannelsen begynder. Når den ønskede bloklængde er opnået, afskæres længden og blokken fragtes til mellemlager for færdig udhærdning. Det tager typisk et døgn. Derefter opskæres blokken i de ønskede dimensioner.

Den egentlige hærkning foregår med kerntemperatur på 150-170 °C.

Hærdeprocessen overvåges nøje. På grund af de høje temperaturer kan der ved uheld ske selvantændelse i en blok. Udhærdningen varer typisk et døgn, hvorunder temperaturen konstant aftager.

Efter hærningen opskæres den lette, fleksible PUR-blok til færdige emner fx madrasser, hynder og møbelpolstring. Til denne type materiale anvendes typisk TDI som di-isocyanat-komponent.

Slabstockanlæg (Bayer A/S)



Vedligehold af procesudstyr

Almindeligt, forebyggende vedligehold

For at sikre at en skummaskine er driftssikker og velfungerende, bør en række ting jævnligt kontrolleres/udføres.

Almindelig rengøring

Der bør foretages daglig rengøring/renholdelse af procesudstyr. Det er meget lettere at opdage og lokalisere eventuelle lækager på en i øvrigt ren maskine.

Specielt hvis der anvendes slipmiddel, der sprøjtes på, kan blæser og køleribber på motorerne blive stærkt tilsmudset. Det er vigtigt at fjerne sådan tilsmudsning, da motorerne ellers kan blive overophedet og brænde af.

Eventuelle køleluftfiltre på el-skab skal jævnligt renses. For høj temperatur i el-skabet vil medføre kortere levetid og risiko for fejlfunktion af elektroniske dele.

Rensning af filtre

Materialefiltrene, der skal beskytte pumper og dyser, renses mindst én gang pr. dag eller skift.

Rensningen foregår enten ved at dreje håndhjulet på toppen af filtret 8-10 omgange og efter behov tømme urenheder ud af filtrets bundventil, eller på visse maskintyper ved via filterhusets ventil at tømme filterbeholderen for diverse opsamlede urenheder. Det gøres bedst uden fødetryk på tank og med lukket ventil mellem tank og filter.

Kontrol af driftsparametre

For at sikre god og ensartet produktion er det nødvendigt at sikre, at nogle helt basale forhold er på plads og i orden. De vigtigste parametre er:

- Blandeforhold
- Tryk
- Temperatur

Visse maskintyper er selvovervågende, og visse maskintyper er ligeledes selvjusterende, men det er en god ide at kontrollere:

- At set-værdier og tolerancer, der er lagt ind, er korrekte
- At maskinen også overholder disse

Start derfor altid dagen eller skiftet med at kontrollere først temperatur, dernæst tryk og blandeforhold, og lav til sidst et prøveskud samt kontrollér blanding og vægt.

Kontrol af niveauanlæg

De forskellige maskintyper kan være forsynet med forskellige typer af niveauanlæg, baseret enten på:

- Flydere
- Kapacitive sonder

For begge typer af anlæg gælder det, at man med jævne mellemrum bør kontrollere, at niveauerne ikke har flyttet sig. Den enkleste måde er at lave streger på niveaurøret, der viser "minimum", "start fyldning", "stop fyldning" og "maksimum". Flyderanlæg kan fx ændre sig på grund af belægning på flyderne eller træg bevægelse i hængslerne, det gælder især på di-isocyanat-siden. Flydere bør efterses mindst to gange årligt, hvor de renses og smøres i hængslerne med hvid vaseline.

Kapacitive anlæg kan fx ændre sig, hvis viskositeten af det målte medie ændres. Hvis niveauerne ændrer sig, kan det være nødvendigt at kalibrere anlægget.

Kontrol af højtryksslanger

Maskinen er forsynet med højtryksslanger for såvel materialer som hydraulik. Slanger bør betragtes som sliddele, idet de udsættes for mekanisk bevægelse, hver gang trykket ændres. Endvidere kan slangerne være udsat for udefra kommende mekaniske påvirkninger.

Kontrol af slanger bør foretages jævnlige. En god kontrol er ganske enkelt at se på slangerne under normal drift og da lægge mærke til, om der er bobler, buler eller anden beskadigelse af slangernes overflade. Vær især opmærksom på, om slangen buler ud lige bag ved forskruringen, eller om slangen har fået et knæk. Slanger, der er beskadiget eller reagerer mærkeligt på tryk, skal umiddelbart udskiftes.

Husk, at det er høje tryk, der arbejdes med, og at der - ud over svine-riet - kan opstå farlige situationer, hvis en slange sprænges. Slanger, der anvendes til udskiftning, skal have samme specifikationer (tryk- og kemikalieresistens) som de originale slanger.

Kontrol af forseglinger

På nyere maskiner er tætninger og pakninger på maskinens di-isocyanat-side forsynet med en oliebarriere samt en beholder til olien. Formålet med denne barriere er at undgå utætheder direkte mellem di-isocyanat og luft. Samtidigt opnås den fordel, at en eventuel nyopstået lækage opsamlers i olien i stedet for at komme direkte ud i omgivelserne.

Oliebeholdernes væskestand og indhold bør kontrolleres jævnligt. Stiger væskestanden, er det tegn på nyopstået lækage, og en snarlig udskiftning af pakningen må påregnes. Indtil pakningen er udskiftet, er det vigtigt, at blandingen af di-isocyanat og olie udskiftes med ren olie dagligt.

Generelle punkter

- Vandudskiller på trykluftsystem efterses dagligt og tømmes efter behov
- Tågesmøreapparat efterses dagligt og fyldes efter behov
- Hydraulikolie for blandehoved udskiftes mindst én gang årligt
- Fortryk på hydraulikakkumulator kontrolleres jævnligt. Den enkleste måde at kontrollere fortrykket på er at følge trykstigningen, når pumpen arbejder trykket op. Stigningen fra 0 til ca. 100 bar skal ske relativt hurtigt, derefter stiger trykket langsomt op til maksimum - ca. 200 bar
- Før eventuelt logbog

I øvrigt er det en god ide at lære maskinens arbejdscyklus og lyde at kende. Det kan være værdifuldt både for egen og andres fejlfinding at kunne påpege et bestemt sted i maskinens cyklus, hvor noget ”lyder anderledes”.

Maskinopsætning

For at en maskine skal kunne håndtere de forskellige råmaterialer korrekt, så der kan produceres et ensartet produkt, må maskinens styring nødvendigvis vide lidt om, hvad den har med at gøre, og hvad operatøren/brugeren gerne vil have den til at gøre.

Afhængigt af maskintypen er der mere eller mindre, der skal sættes op. På de helt simple maskiner består opsætningen først og fremmest i at kalibrere maskinens blandingsforhold ved hjælp af materialeprøver. Det gøres, ved at der gennem en særlig kalibreringsventil udtages materialer, der efterfølgende afvejes og danner grundlag for beregning af det aktuelle blandeforhold.

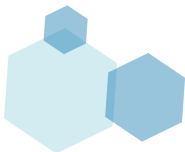
Maksimum- og minimumtryk indstilles ved hjælp af kontakter i højtryksmanometrene.

Højtryksrecirkulationstid og skudtid indstilles på kontrolure.

På de nyere og mere avancerede maskiner er der mulighed for alene ved hjælp af opsætningen at bede om et bestemt output og blandeforhold samt en skudstørrelse angivet i vægt.

Der skal på de mere avancerede maskiner lægges følgende informationer ind:

- Skudprogrammer, der indeholder oplysninger om output, blandeforhold, skudstørrelse og eventuelt pumpehastighed
- Generel maskinopsætning med oplysninger om materialernes specifikke vægt (vægtfylde, densitet) temperaturer, tryk, fylde og alarmniveauer i tankene
- Hovedopsætninger med oplysninger om ekstra slag med rensesempel, doseringstryk, minimum og maksimum højtryksrecirkulationstid, ventetid for nyt skud, ind- og udkobling af hovedet osv
- Diverse opsætninger for alarmer og advarsler for driftsparametre samt vedligeholdelseskemaer





Det vil føre for vidt her at gennemgå alle muligheder og kombinationer. De er bedre og mere præcist beskrevet i den manual, der hører til den enkelte maskine.

Noget af det vigtigste er:

- Flowtransducernes konstanter
- Materialernes specifikke vægt

Det er ganske enkelt grundlaget for al beregning af blandeforhold og skudvægt.

Konstanterne skal der normalt ikke justere på, de er i de fleste tilfælde beskyttet af adgangskode. Det kan dog være nødvendigt at ændre konstanterne, hvis der monteres flowtransducere af en anden type, eller efter eventuelt "reset" af styringen.

De specifikke vægte skal indstilles på den værdi, råvareleverandøren opgiver.

Vær opmærksom på, at oplysningerne om polyolens vægt kan være opgivet uden blæsemiddel.

Det forekommer, især hvor man selv lokalt blander blæsemiddel i. Er der tvivl, så spørg råvareleverandøren.

Fejlfinding

Før reparation eller udbedring kan finde sted, må årsagen til fejlen findes. Der eksisterer groft sagt to typer af fejl:

- Helt åbenlyse og synlige, mekaniske fejl
- Fejl, der bevirker, at produktet ikke får de egenskaber, det normalt har

De åbenlyse og synlige fejl er fx hoved eller ventiler, der ikke åbnes eller lukkes, samt lækager. Sådanne fejl kan umiddelbart udbedres af enhver med den fornødne håndværksmæssige kunnen.

Fejl, der bevirker, at produktet ikke er i orden, kan det være mere kompliceret at finde frem til. De kan også deles i to hovedgrupper:

- Maskinfejl
- Fejl i råvarer eller deres håndtering

Maskinfejl

Maskinfejl kan typisk være:

- Forkert opsætning eller indstilling af blandeforhold
- Forkert opsætning eller indstilling af temperatur
- Forkert opsætning eller indstilling af tryk
- Træg åbne/lukke-bevægelse på skudhoved
- Slidte eller forkerte dyser
- Interne lækager i ventiler og/eller i skudhoved
- Forkerte temperaturer

Kontrollér først opsætning af kalibrering, tryk og temperatur. Husk i denne forbindelse, at de oplysninger, der fremkommer på monitor og instrumenter, kan være forkerte - følere og/eller instrumenter kan være defekte.

Træg åbne/lukkebevægelse kan afsløres ved at trække et skud ud på en plade eller et stykke plastfolie. Derefter ses det tydeligt, hvorvidt fejlen ligger i starten, i slutningen eller gennem hele skuddet.

Slidte eller forkerte dyser vil gøre det svært at justere og holde korrekt tryk.

Interne lækager er nok de sværeste at afsløre. Hvis maskinen er udrustet med flowmålere, skal der naturligvis være nogenlunde overensstemmelse mellem det, der vises som skudvægt på monitoren, og det, der kommer ud af hovedet ved prøveskud.

Råvarefejl

Råvarefejl kan typisk være:

- Blandefejl (receptfejl) hos leverandøren
- Separering
- Forkert lagring eller transport
- Forkert forblanding (lokalt)
- Forurening (olie, rødgodslegeringer osv.)

Det er altid vigtigt at holde hovedet koldt og at gå systematisk til værks ved fejlfinding.

Kontakt eventuelt leverandøren af råvaren for assistance.

Blandefejl fra leverandøren er sjældne. Kontakt leverandøren og få noget nyt materiale leveret.

En god metode til at påvise eller udelukke materialefejl er, hvis det er muligt, at fylde nyt materiale med et andet batch-nummer på maskinen.

Separering kan forekomme efter lang lagringstid, og det betyder, at materialet har delt sig og ligger i lag efter vægtfylde i tromlen. Er der mistanke om separering, kan der forsøges med grundig omrøring. Ellers må der tages en ny, hel tromle, der omrøres grundigt, før den fyldes på maskinen.

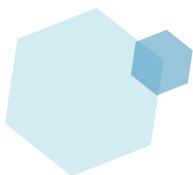
Forkert lagring eller transport og kontaminering kan ødelægge visse bestanddele af materialerne. Specielt i vinterhalvåret er det en nærliggende mulighed, idet frost kan skade fx stabilisatoren.

Ved mistanke om materialefejl er det altid en god ide at lave håndblandinger som kontrol. Hvis det er muligt, tages der prøver ud til håndblanding flere steder undervejs i materialernes vej gennem systemet. Udtag fx prøver fra maskintanke, dagtanke, forblandeanlæg, tromler osv. Materialerne kan af forskellige årsager blive ødelagt eller forurenede på deres vej frem.

Forberedelser til reparation

Når fejlfindingen er overstået, kan reparation/udbedring foretages. Der er dog visse ting, der bør være på plads og i orden, inden reparationen foretages:

- Maskinen skal være slukket eller som minimum være bragt i en tilstand, der sikrer, at den ikke utilsigtet kan gå i gang. Vær især opmærksom på dette, hvis maskinen indgår i en større automatiseret sammenhæng
- Kontroller, at alle tilgange er lukket: El, trykluft, automatisk påfyldning, kølevand osv.
- Kontrollér, at alle tryk er aflastet på materialetanke og hydraulik-akkumulator
- Sørg for at have det personlige sikkerhedsudstyr i orden: Beskyttelsesbriller, handsker, åndedrætsværn osv.
- Sørg for spande eller bakker til udsivende materialer, klude til aftørring og nødvendigt værktøj
- Sørg for materialer til opsamling af eventuelt spild
- Hav de nødvendige reservedele parat



Generelt

En reparation er ikke afsluttet, før det reparerede er prøvekørt!

Vær især opmærksom på, at indgreb i fx pumper vil nødvendiggøre kalibrering af blandeforholdet, samt at visse elektriske og elektroniske komponenter ud over den fysiske udskiftning også efterfølgende skal kalibreres.

Enhver reparation vil altid medføre:

- Opstart af maskine
- Prøveskud

Alle dele, især pakninger, der kommer i direkte kontakt med materialerne, smøres med hvid, syre- og vandfri vaseline. Vaselinen kan ikke reagere med materialerne, den beskytter og gør det nemmere at skille tingene ad en anden gang.

Formgivningsudstyr

Formene skal fremstilles, således at den tilsigtede kvalitet kan opnås med hensyn til overflade, dimensioner og styrke. Bestemmende for disse forhold er:

- Formværktøjsmaterialet
- Fyldemetode
- Formtemperatur
- Udluftning
- Orientering
- Slipmiddel
- Placering af indløb og indløbstype

Formværktøjsmaterialet

Generelt kan det siges, at jo større serier, jo bedre, og desto dyrere formværktøjsmateriale bør vælges.

Til støbning af PUR-emner kan anvendes forme af:

- Stål
- Aluminium
- Polyester
- Epoxy
- Massiv polyurethan
- Silikone

Fyldemetode

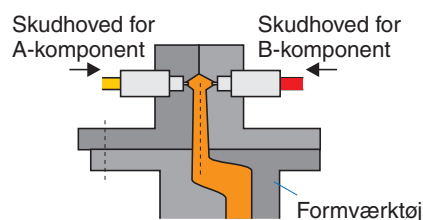
Generelt skelnes mellem fyldning/støbning i åbne og i lukkede forme.

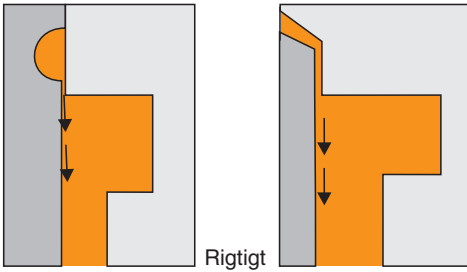
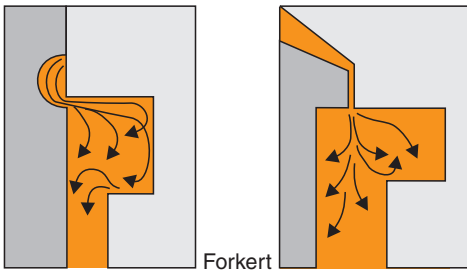
I åbne forme er der ingen krav til indløb. Derimod skal der være et hurtigt lukkesystem, som sikrer, at formen kan lukkes hurtigt, inden blandingen reagerer og dermed ekspanderer.

Lukningen kan foregå manuelt, eller ved at formparterne er opspændte i en formholder, der kan være pneumatisk eller hydraulisk. Som oftest har disse formholdere af hensyn til udluftningen både en kip- og tiltfunktion.

I lukkede formværktøjer, hvor skudhovedet kan være fastmonteret, kræves et specielt indløb. Der findes forskellige typer af indløbskonstruktioner afhængigt af emnekonstruktion og råmaterialer.

Skudhoved fastmonteret direkte på formværktøj





Indløbsforhold i lukkede forme

Ved højtryksanlæg kan skudhovedet være fastmonteret på værktøjet og udgøre en del af indløbet på formen.

Fastmontering af skudhoved er ikke muligt ved lavtryksanlæg på grund af rensning efter skud.

For at sikre korrekt emnekvalitet skal fyldningen foretages således, at PUR-blandingen løber ind i formværktøjet uden at danne turbulente strømninger (hvirvler) fra indløbszonen og videre ind i formen.

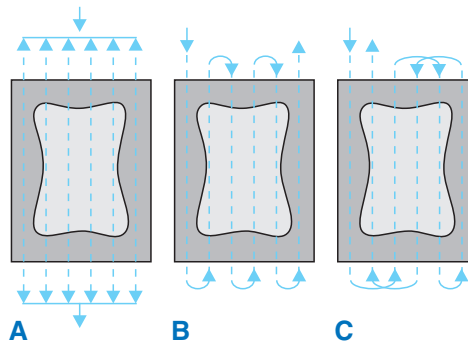
Udformningen af indløbet er af stor betydning for fuld-støbning af det færdige emne. Det kræver forudgående viden at konstruere det rigtige indløb i forhold til råmaterialer og emnekonstruktion.

Formtemperatur

Det er vigtigt, at formtemperaturen kan kontrolleres inden for fastsatte grænser. Det lader sig bedst gøre ved anvendelse af temperaturstyrede metalforme. Benyttes støbte forme, er det muligt at indlægge varme-/kølestrengte i formrammen før støbningen.

I indkøringsfasen er det nødvendigt at opvarme formene for at få dem op på den rette temperatur. Senere vil PUR-reaktionens varmeudvikling være så stor, at opvarmning vil være unødvendig. Køling kan i visse tilfælde blive nødvendig.

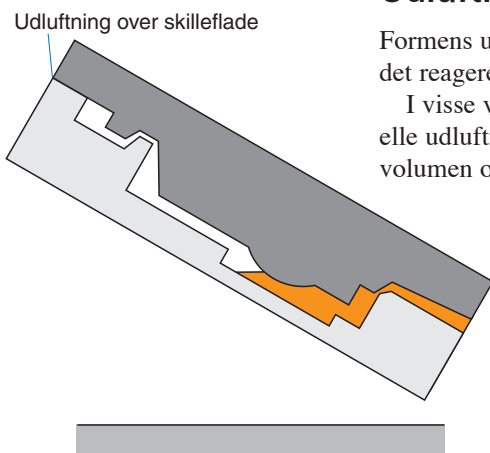
Ligeledes er det nødvendigt med en vis indkøringstid, således at form- og emnetemperatur kan stabiliseres.



Varme-/kølekanaler i PUR-værktøj

- A. Parallelkøling
- B. Seriekøling
- C. Forbedret seriekøling

Eksempel på placering af udluftning i formværktøj



Udluftning

Formens udluftninger skal fortrinsvis anbringes i toppen af formen, hvor det reagerede skum senest udfylder formhulrummet.

I visse vanskelige hjørner kan det være nødvendigt at anbringe specielle udluftninger. Størrelsen af udluftningerne skal afpasses efter form, volumen og tryk.

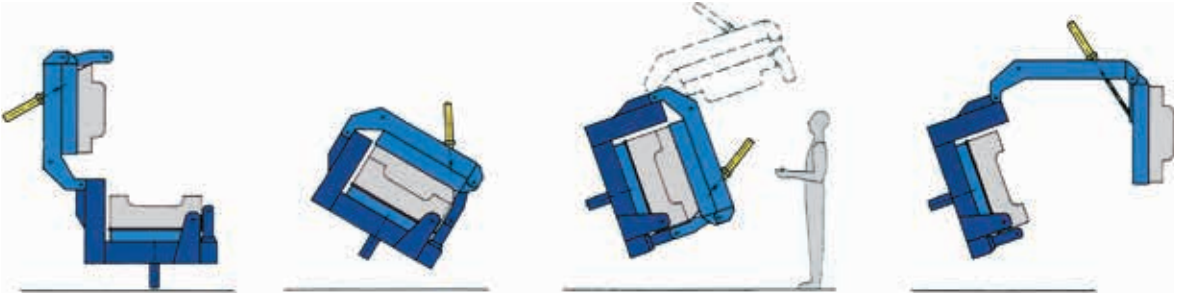
Orientering

Formen bør designes således, at materialerne under opskumningen har kortest mulig flydevej. Samtidigt skal det sikres, at den valgte orientering giver luften gode muligheder for at slippe ud af formen. Ofte er det nødvendigt at vælge passende formhældning for at opnå optimal emnekvantitet.

Endvidere skal orienteringen være således, at luftlommer under opskumningen undgås eller forsøges placeret, hvor de bedst kan tolereres og gør mindst skade.

For at sikre korrekte flydeveje og udluftninger vil det kræve, at formen kan drejes/hældes i forhold til emne- og formkonstruktion.

Formholder
(Krauss Maffei/Polyfa Trading)



Formfyldning, åben form
(Nortech-Cannon A/S)



PH-formholder
(Nortech-Cannon A/S)

Kontrol- og prøvningsmetoder

Kvalitetskontrol af PUR kan deles op i:

- Modtagekontrol af råvarer
- Driftskontrol under fremstillingsforløbet
- Maskinkontrol
- Kontrol af det færdige produkt

Modtagekontrol af råvarer

Modtagekontrollen omfatter kontrol og registrering af mærkning - at varen er i overensstemmelse med det bestilte. Mærkningen skal følge retningslinjerne i Arbejdstilsynets vejledning om PUR-produkter. Råvarerne opbevares på et dertil indrettet lager eller i lagertank ved den korrekte temperatur.

Hvis prøver udtages til test af opskumning, blandes de ved 20 °C og i det rette blandingsforhold. Reaktionstiderne registreres og sammenholdes med leverandørens specifikationer/værdier. Eventuelle afvigelser fra specifikationer påtales straks.

Den korrekte lagertemperatur er 15-20 °C. Råvarerne må under ingen omstændigheder udsættes for frost. Temperaturen i polyolblandinger indeholdende blæsemiddel må heller ikke blive for høj, da det kan bevirke utiladeligt store trykstigninger i polyoltromlerne.

Det reagerede materiales vægtfylde bestemmes, og resultatet sammenlignes med leverandørens specifikationer. Eventuelle afvigelser fra specifikationer noteres og/eller påtales.

Benyttes lagertanke, må prøver af råvarerne tages fra tankvognen og kontrolleres, før de fyldes på lagertanken.

Driftskontrol under fremstillingsforløbet

Den løbende kontrol under fremstillingsforløbet er vigtig for at sikre ensartet kvalitet. Omfanget af kontrollen skal ses i relation til de krav, der stilles til produkterne, men typisk kontrolleres reaktivitet og frit opskummet densitet af PUR-skum. Til det formål er det vigtigt i produktionen at anvende driftskort.

Luftens temperatur og fugtindhold påvirker den kemiske reaktion. Det kan derfor være vigtigt at opstille specifikationer for disse parametre, samt at råvaretemperaturen holdes konstant.

Maskinkontrol

Maskinens mekaniske funktioner skal kontrolleres med fastsatte og jævne mellemrum.

Der bør foretages forebyggende vedligeholdelse, som sikrer mod funktionssvigt. Sådanne rutiner skal udarbejdes i nært samarbejde med maskinleverandøren.

Kontrol af det færdige produkt

Ikke-destruktiv kontrol

Ved ikke-destruktiv kontrol omfatter den umiddelbare kontrol visuel kontrol og dimensions-/vægtkontrol under/efter emnefremstillingsfasen. Fx undersøges der for misfarvning, skæve emner, fugt, flydelinjer, skummets konsistens m.m.

I dimensionskontrol kontrolleres, at emnets tolerancer og eventuelt vægt overholdes.

På grund af de store vanskeligheder bl.a. ved fremstilling af formstøbte emner i PUR vil 100 % kontrol af visse egenskaber kombineret med stikprøvekontrol af andre ofte være at foretrække.

En sådan kontrol bør omfatte:

- Visuel bedømmelse af indfarvning og om der er blandedejl
- Kontrol af overfladekvaliteten:
 - Ingen lunger
 - Ensartet hårdhed
 - Ingen afslåede skår
 - Glansen god
 - Ingen blærer
- Kontrol af vægtfylden og om materialet eventuelt utilsigtet er blevet opskummet (ved massive recepter)
- Kontrol af, om vægten er korrekt
- Kontrol af, om dimensioner er korrekte
- Kontrol af, om dimensioner ændres under lagring
- Kontrol af, om vedhæftning mellem PUR- og skalmateriale er i orden

Derudover kan der suppleres med prøvning af en eller flere mekaniske egenskaber.

Ultralyds- og røntgenanalyse tilhører de nyere ikke-destruktive prøvningsmetoder.

Ved prøvningen kontrolleres, om materialet fx er uden lunger, om eventuel fiberforstærkning er korrekt fordelt i plasten, og om isoleringsegenskaberne er i orden.

Destruktiv kontrol

Ved destruktiv kontrol forstås standardiseret kontrol af emner, som udskæres til et antal prøveemner. Disse prøveemner kontrolleres med den i standarden beskrevne prøvemethode.

Mange lande har deres egne standarder. I Danmark anvendes ud over Dansk Standard følgende prøvningssystemer for plastprøvning:

- DIN Tysk norm (standard)
- ISO International norm
- DS/ISO Dansk norm bygget op efter ISO-normen
- ASTM Norm fra USA
- BS Britisk norm
- EN 253 Europæisk norm for fjernvarmerør

I dag tilstræbes det at følge de internationale ISO-normer.

En stor del af faglitteraturen henviser stadig til værdier bestemt efter de tyske DIN-normer.

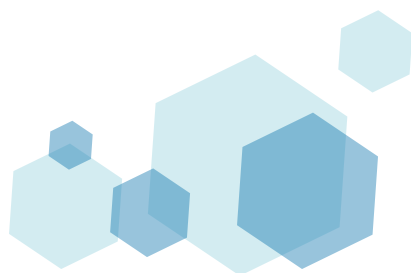
Destruktiv prøvning udføres på prøvelegemer, som er konditioneret i 16 timer ved 23 °C og ved 50 % relativ luftfugtighed. Prøvningerne skal derfor udføres i et laboratorium, som har lufttemperatur 23 °C og 50 % relativ luftfugtighed.

Materialeprøvninger deles i følgende hovedområder:

- Mekaniske egenskaber
- Termiske egenskaber
- Brandegenskaber
- Kemiske egenskaber (kemikaliebestandighed)

I tabellen herunder beskrives eksempler på diverse driftsfejl og deres mulige årsager.

Oversigt over driftsfejl og deres årsager	
Symptom	Mulig årsag
Blød celleplast, senere efter udhærdning sprød - sprænges let	- Isocyanatoverskud
Blød celleplast - krymper - er dimensions-ustabil	- Polyoloverskud
Striber i celleplasten	- Blandingsfejl - Mangelfuld blanding - Sprøjt under ifyldning (turbulent strømning eller for stor hastighed) - Forkert udformet indløb
Lunker i celleplasten mod yderlagene	- For megen blandeluft - Forkert udformet indløb - Mangelfuld udluftning - Cremetid for kort i forhold til fyldetid - Fibertid for kort i forhold til volumen
Lagdelt skum	- Blandingsfejl - For varm eller for kold form - Forkert fyldemetode eller orientering - Skummet løber langs den ene formvæg og giver aldersforskellen i skum
Blærer og lunger i hjørner og langs kanter	- Dårlig udluftning - Forkert orientering
Misfarvninger	- Dårlig blanding, tryk eller temperatur - For stor indløbshastighed - Ikke-laminar strømning i indløb
Forskellig rumvægt i emnets forskellige tværsnit	- Cremetid for kort i forhold til fyldetid - Orientering forkert (for lange flydeveje) - Temperaturforskelle i værktøjet
Cremetid for kort	- Forkert polyol - Temperatur for høj - Doseringsfejl
Fibre i grænselag mellem kerne og yderlag	- Fibertid for kort i forhold til transporttid - Skumdensitet for lav



Sikkerhed og miljø

Sikkerhed

Ved PUR-produktion er der af Arbejdstilsynet opstillet krav til de sikkerheds- og sundhedsmæssige forhold, jf. bekendtgørelse nr. 292 af 26. april 2001, kapitel 3 bl.a.:

- Særlige krav til indretning af produktionslokalet:
 - Øjenskyller, håndvask, afmærkning m.m.
- Særlige krav til sanitære installationer:
 - Omklædnings- og badefaciliteter
- Krav til medarbejder:
 - Personlig hygiejne, sundhedstilstand
 - Ingen luftvejs-, hudlidelser eller allergier
 - Brug af personlige værnemidler
- Sikkerhedsdatablade:
 - Udarbejdes internt
- Krav om obligatorisk sikkerhedsuddannelse
 - Personlig sikkerhed ved arbejde med isocyanater og epoxyharpikser

Når der arbejdes med di-isocyanater, skal der altid udvises omtanke og forsigtighed.

MDI er sundhedsskadelig, TDI er giftig.

For at måtte arbejde med PUR er det et krav at have gennemført den obligatoriske sikkerhedsuddannelse: ”Personlig sikkerhed ved arbejde med isocyanater og epoxyharpikser”.

Af alle PUR-produkternes råmaterialer/komponenter udgør di-isocyanaten den største sundhedsfare. Dog må den sundhedsmæssige risiko ved polyolblandingen ikke undervurderes. Her er det specielt indholdet af aminkatalysatorer og eventuelt brandhæmmere og glykoler i polyolblandingen, der udgør en sundhedsrisiko.

Di-isocyanater i form af dampe, aerosoler, ureagerede væsker og røggasser er sundhedsskadelige både ved indånding og hudkontakt. Vær opmærksom på, at damptrykket af de forskellige typer af di-isocyanater er forskelligt. Dermed giver de forskellige typer også forskellige sundhedsskadelige påvirkninger.

Di-isocyanater virker irriterende på hud og åndedrætsorganer, selv i små mængder. Derfor skal der altid anvendes egnede handsker og beskyttelsesforanstaltninger i forbindelse med arbejdet, når der er risiko for hudkontakt.

PUR-materialet bør ikke berøres, før reaktionen er tilendebragt, dvs. materialet er udhærdet. Kommer man alligevel i kontakt med råvarer- eller ikke udhærdet materiale, vaskes grundigt med varmt vand og sæbe. Under alle omstændigheder vaskes med vand og sæbe inden toiletbesøg, spisepauser m.m.

Ligeledes skal der ved arbejdet altid udvises størst mulig sikkerhed for øjnene. Ved håndtering eller støbning anvendes der obligatorisk sikkerhedsbriller eller visir. Øjenskylleflaske skal forefindes.

Der er risiko for at udvikle overfølsomhed, astma og eksem ved gentagne kontakt med di-isocyanater.

Affaldshåndtering

Der skal i forbindelse med anvendelse af råvarerne være et affaldssystem, der tilgodeser såvel kemikalieaffald som almindeligt affald (dagrenovation).

Der henvises i øvrigt til Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 292 om epoxyharpikser og isocyanater.

Brandfarer under produktion

Brand- og eksplosionsfaren under produktion er reel og skal tages alvorligt.

Den nedre eksplosionsgrænse er kun 1,4 vol. % for cyclopentan.

Dampene fra pentan kan være både lettere og tungere end luft afhængigt af rumtemperaturen. Produktionsfaciliteter for produktion med pentanblæst PUR-skum omfatter:

- Indkapsling af opskuningssteder
- Rigtigt udformet ventilation, der er styret af:
 - Effektivt gas-detekteringsanlæg med sensorer på alle strategiske eller kritiske punkter.
- Overvågning af ventilation og pentankoncentration med alarmfunktion
- Eksplosionssikring eller anden lignende sikkerhed på alle opskuningssteder
- Indkapsling og sikring af skummaskinen og pentanblanderen
- Korrekt udformning af alle rør- og slangeforbindelser
- Elektrisk potentialeudligning (jordforbindelse)

Brandsikring ved brug af cyclopentan

Ved produktioner, hvori der indgår cyclopentan, udgør dette stof ligeledes en brandrisiko. Ved blandinger med luft kan der opstå eksplosive blandinger. Ved arbejde med cyclopentan stilles der følgende generelle krav og forbud:

- Tobaksrygning forbudt
- Brug af åben ild samt svejsning og slibning forbudt
- Kraftig ventilation
- Gas-detekteringsudstyr
- Ved dannelse af statisk elektricitet skal produktionsudstyr være jordforbundet.
- Uddannelse af operatører

Miljø

Visse typer drivmidler/blæsemidler er det allerede forbudt at anvende ved PUR-produktion, andre typer er på vej ud. Baggrunden beskrives herunder.

ODP

ODP er en forkortelse for Ozone Depletion Potential - en kemisk forbindelses potentiale eller mulighed for at medvirke til at nedbryde af ozon i den øverste atmosfære.

Undersøgelser har klarlagt to faktorer, som har indflydelse på evnen til at nedbryde ozonlaget:

- Indholdet af chlor i stoffet
- Stabiliteten af stoffet i atmosfæren

GWP

GWP er en forkortelse for Global Warming Potential - en kemisk forbindelses potentiale eller mulighed for at medføre øget opvarmning af atmosfæren. Det er den såkaldte "drivhuseffekt". Det er bestemt af stoffets evne til at absorbere infrarødt lys og af dets levetid i den øverste atmosfære.

Bekendtgørelser

Ifølge "Montreal-protokollen" skal HCFC udfases til endelig afskaffelse pr. 1.1.2030.

I EU-forordning, artikel 5, fastsættes trinvis aftrapning af anvendelsen af HCFC indtil 1.1.2015.

I Danmark gælder endvidere Miljø- og Energiministeriets Bekendtgørelse nr. 974 af 13. december 1995 om forbud mod anvendelse af visse ozonlagnedbrydende stoffer.

Definitioner

- CFC = chlorfluorcarboner, som indeholder både chlor og fluor og er meget stabile i atmosfæren
- HCFC = hydrochlorfluorcarboner, som indeholder både chlor og fluor, er ikke særligt stabile i atmosfæren og når derfor sjældent op til ozonlaget
- FC = fluorcarboner, som ikke indeholder chlor, men er meget stabile i atmosfæren
- HFC = hydrofluorcarboner, som ikke indeholder chlor, men er forholdsvis stabile i atmosfæren
- HC = hydrocarboner, som ikke indeholder chlor og er ustabile i atmosfæren

Gældende regulering i Danmark

Alle CFC'er er forbudt at anvende som opskumnings-/drivmiddel.

HCFC'er måtte anvendes indtil 1.1.2002 til stift plast-isolationsskum. Til fjernvarmerørsisolering blev det forbudt tidligere.

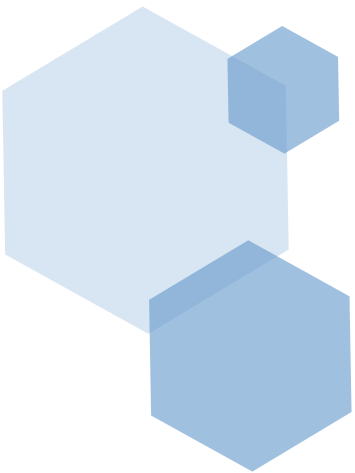
Der er ikke vedtaget nogen love om begrænsninger eller afskaffelse af HFC eller FC'er, men Miljøministeriet har givet til kende, at disse stoffer skal være udfaset over en 10-årig periode, dvs. omkring 1.1.2007.

Der findes allerede en del implementerede, alternative løsninger til både HCFC og HFC/FC.

Som alternativ bruges fx pentan-isomerer som middel til opskumning af PUR i fjernvarmebranchen og køle- og frysebranchen. Derudover bruges 100 % "vandblæst" CO₂-PUR til fremstilling af bl.a. portpaneler og fleksibelt skum.

I nedenstående skema findes en oversigt med eksempler på diverse tilladte opskumningsmidler med gældende og foreslåede udfasningsbestemmelser i Danmark samt potentielle fremtidige opskumningsmidler.

Opskumnings-/drivmiddel					
Stofgruppe	Udfasning	Navn	Struktur	ODP	GWP
CFC	Forbudt	11	CFCl ₃	1	3.400
HCFC	Forbudt	141b	C ₂ H ₃ FCl ₂	0,11	580
	Forbudt	142b	C ₂ H ₃ F ₂ Cl	0,065	1.800
		22	CHF ₂ Cl	0,055 J	1.600
HFC	Ingen (1.1.2007)	134a	C ₂ H ₂ F ₄	0	1.200
		152a	C ₂ H ₄ F ₂	0	150
		365mfc	C ₄ H ₅ F ₅	0	800
		245fa	C ₃ H ₃ F ₅	0	950
FC	Ingen (1.1.2007)	Perfluorbutan	C ₄ F ₁₀	0	7.000
		Perfluorpentan	C ₅ F ₁₂	0	7.500
		Perfluorhexan	C ₆ F ₁₄	0	7.400
HC	Ingen	Cyclo-pentan	C ₅ H ₁₀	0	11
		Iso-pentan	C ₅ H ₁₂	0	11
		n-pentan	C ₅ H ₁₂	0	11
CO ₂	Ingen	Kuldioxid	(CO ₂)	(0)	(1)



PRESSE- STØBNING



Afgratning af støbeskaller (Pressalit A/S)

Pressestøbning er en fællesbetegnelse for fremstilling af hærdeplastemner i hydrauliske eller elektriske presser.

I Danmark er pressestøbning ikke særligt udbredt, da en stor del af de emner, som tidligere blev fremstillet ved denne metode, i dag sprøjtestøbes.

Materialer

Til pressestøbning anvendes forskellige plast. Den mest kendte er en af de ældste hærdeplast: phenolplast. Phenolplast, også kendt under blandt andet handelsnavnet Bakelit®, stammer fra starten af 1900-tallet. Denne plast blev i mange år brugt til fremstilling af bl.a. telefoner og elektriske artikler såsom kontakter, lampefatninger og lignende.

I dag anvendes forbedrede phenolplasttyper til mange elektriske artikler. Desuden anvendes forskellige varianter af aminoplast, hovedsageligt carbamidplast (urea) og melaminplast. De anvendes især til forskellige husholdningsartikler såsom grydeskeer, skåle, håndtag, badeværelsesudstyr og som laminater inden for møbelindustrien.

Fordelen ved disse plast er, at de har stor isolationsevne (krybestrømsikkerhed), høj varmebestandighed og høj mekanisk styrke.

Til mange industrielle emner anvendes også en glasfiberforstærket støbekompound med en polyesterbaseret matrix. Det kan være enten *BMC* eller *SMC*. Matrix er den flydende komponent, som komponenten er fremstillet af.

BMC (Bulk Moulding Compound)

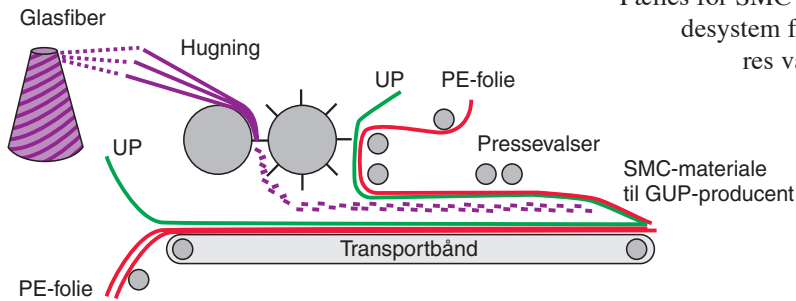
BMC er en komponent med en dejagtig konsistens og fås med forskellige egenskaber, som afhænger af, hvilken polyestertype der anvendes som matrixmateriale. Bulk (engelsk) kan oversættes til ”i løs vægt”.

**BMC benævnes også DMC
(Dough Moulding Compound)**

SMC (Sheet Moulding Compound)

SMC leveres i afmålt tykkelse, er pakket mellem to tynde folier og leveres på store ruller.

Fremstilling af SMC



Eksplosionssikkert lysarmatur af pressestøbt SMC (DKI Plast A/S)

Fælles for SMC og BMC er, at de er tilsat et hærdesystem fra leverandøren og kun skal tilføres varme for at kunne hærdes.

SMC og BMC anvendes i stor udstrækning til komponenter inden for bilindustrien. Bildele som kofangere og spoilere, men også karrosseridele som motorhjelme til biler som Ci-tröen BX er fremstillet i dette materiale.

Andre anvendelsesområder er badekar, tagrender og elektriske eller tekniske artikler, hvortil der stilles krav om stor mekanisk styrke og god kemikalie-, varme- og vejrbestandighed.

Processen

Pressestøbning eller formpresning er den ældste metode til forarbejdning af formgods. For at kunne fremstille mere komplicerede emner udvikledes formpresnings-teknikken til det, der i dag kendes som sprøjtepresning. Ved at anvende effektiv forvarmning af materialerne, har sprøjtepresning vist sig som en metode til at reducere cykeltid og produktionsomkostninger.

Denne udvikling har muliggjort fremstilling af hærdeplastemner ved sprøjtestøbe-teknik, samme princip som ved termoplast.

Pressestøbningens processen adskiller sig væsentligt fra sprøjtestøbeprocessen. Ved støbning af hærdeplastemner fyldes der koldt eller forvarmet materiale i en opvarmet form.

Ved fremstilling af emner i aminoplast med stor godstykkelse anvendes hovedsageligt forvarmet materiale. SMC og BMC anvendes uden forvarmning. De materialer, der anvendes, har meget lille varmeledningsevne. Derfor er det ofte nødvendigt med effektiv forvarmning.

Der anvendes forskellige teknikker til forvarmning af materialet. En af dem er højfrekvensopvarmning (mikrobølger), hvorved temperaturen hæves tilstrækkeligt hurtigt og højt, hvilket nedbringer den del af pressetiden, som er nødvendig til varmedistributionen.

Til forvarmning af mindre mængder materiale anvendes ofte infrarød opvarmning, da den metode er både effektiv og skånsom ved små mængder.

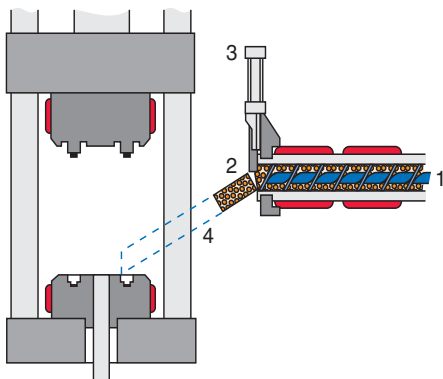
Den mest effektive metode til materialeforvarmning har vist sig at være skruplastificering, hvorved man klarer både dosering og forvarmning. En anden fordel er, at varmen fordeles jævnt i materialet.

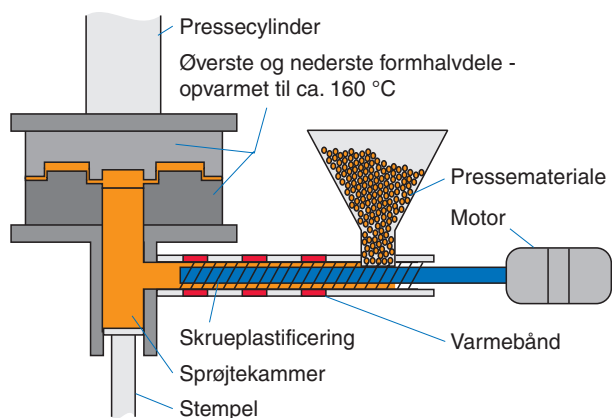
Ved at anvende effektiv forvarmning nedbringes pressetiderne, og der opnås bedre gennemhærdning af detaljer i emnerne. Forvarmning medfører også, at pressetrykket kan

Formpresning med skruplastificering

Materialet bearbejdes i cylinderen (1) til en varm og plastisk masse (2) og skubbes ud gennem cylinderåbningen, hvor den afskæres til ønsket størrelse (3).

Herefter overføres massen til formpressen enten med håndkraft eller specielt udstyr (4).





Automatisk sprøjtepresning

Pulvermateriale opvarmes og plastificeres i cylinderen (skruplastificering). Når plastificeringen er slut, overføres en afmålt mængde materiale til sprøjtekammeret, og med stemplet presses materialet ind i formen.

reduceres væsentligt, hvorved belastningen på maskiner og forme reduceres.

Forvarmning medfører også nedsat hærdetid. Ved større godstykkelser kan hærdetiden reduceres med 50-75 %.

Afhængigt af emnestørrelse og materiale arbejdes der med presstryk fra hundred til flere tusind tons og en cyklostid fra få sekunder til adskillige minutter.

De nødvendige krav til tryk og cyklostid fastsættes ud fra emnets kompleksitet og råvareleverandørens anvisninger for det aktuelle materiale.

Presstrykket har til formål at fordele materialet i formen. Ved formpresning uden forvarmning startes processen med lavt presstryk, for at materialet kan opvarmes ved kontakt med de varme formdele. Friktionsvarmen fra presstrykket er her med til at sikre ensartet varmefordeling. Derefter åbnes formen hurtigt nogle millimeter, så vanddamp og eventuelle andre gasser kan slippe ud, inden den lukkes igen med højt presstryk.

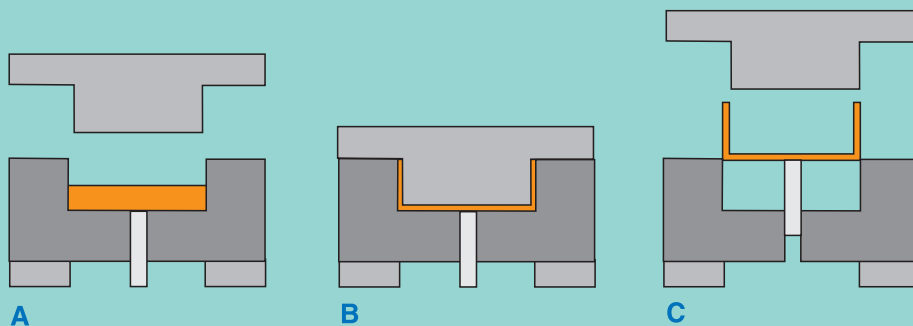
Presstrykket har stor betydning for produktionsomkostningerne, da større tryk ofte kræver større maskiner. Derfor bør der allerede ved formkonstruktionen tages hensyn til dette ved at undgå lange flydeveje og meget tynde steder. Desuden bør der under formkonstruktionen tages højde for nødvendigheden af opvarmede forme.

Direkte metode

Denne metode kaldes også formpresning.

Princip

1. Beregnet mængde støbemasse anbringes i den åbne form **A**.
2. Pressen lukkes på lavt tryk, formen lukkes ikke helt. Støbmassen komprimeres delvist **B**.
3. Der skiftes til højt tryk, eventuelt med forsinkelse afhængigt af emnets kompleksitet.
4. Presstrykket aflastes kort, for at emnet kan afgasse.
5. Ved endt hærdetid åbnes pressen, og emnet løsnes med udstødere eller lignende **C**.
6. Emnet tages ud og videreforarbejdes.

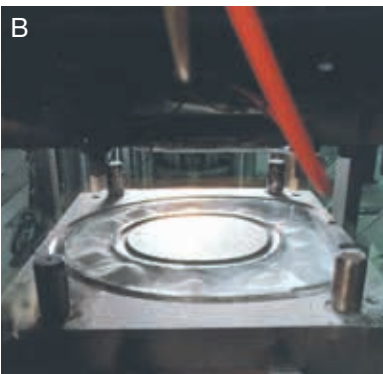
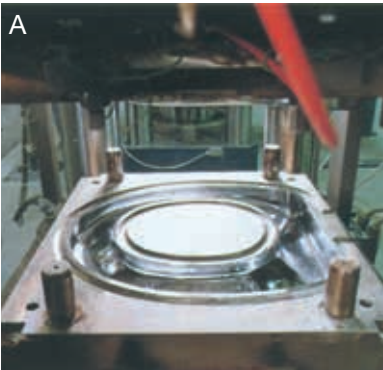
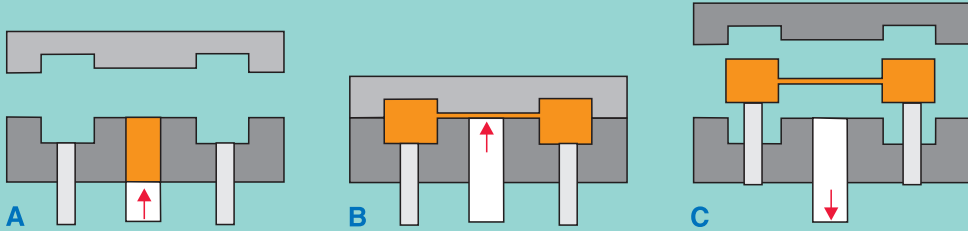


Transfermetoden

Denne metode kaldes også sprøjtepresning.

Princip

1. Pressemassen anbringes i en cylinder, som har forbindelse til formen, enten før eller efter lukning **A**.
2. Når formen er lukket, og pressemassen har den rigtige temperatur, presser et stempel massen ind i formen **B**.
3. Efter endt hærdeperiode åbnes formen.
4. Emnet udstødes manuelt eller med udstødere **C**.
5. Emnet tages ud af formen.



A. Form til toiletsæde
B. Form til toiletsæde efter
ilægning af materiale
(Pressalit A/S)

Ved at erstatte nogle af de manuelle dele af processen fx ilægning af pressemasse med maskiner eller robotter nærmer processen sig den automatiske proces.

Hvis automatiseringen fortsættes, nærmer processen sig sprøjtestøbeprocessen.

På billederne til venstre vises et eksempel på transfermetoden, hvor ilægning af pressemassen foregår automatisk.

Formpresse

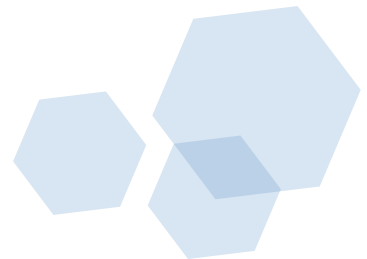
En formpresse er en hydraulisk eller elektrisk presse, som har et fast og et bevægeligt opspændingsplan. Planerne kan være elektrisk opvarmet for at kunne levere varme til formværktøjerne.

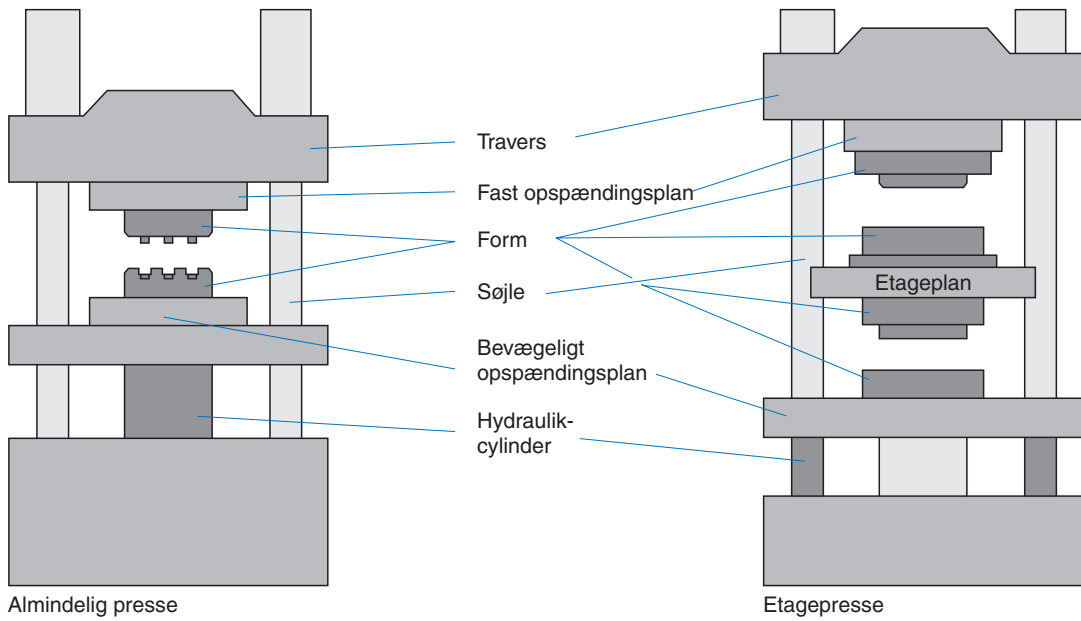
Formen

Formen er af stål med hårdtforkromet eller poleret overflade og er konstrueret til opspænding mellem pressens to planer. Oftest er formen opvarmet elektrisk.

Formens kompleksitet afgøres af emnets udformning og detaljeringsgrad.

Efter endt produktion er det vigtigt, at formen rengøres, og at forme uden forkromning konserveres med et rustbeskyttelsesmiddel.





Formpresse

Ved store emner anvendes ofte etagepresser.

Formpresse (Pressalit A/S)





GUMMI- FORARBEJDNING



Gummiplantage

Gummimaterialets historie

Under en rejse til Amerika iagttog Christopher Columbus i slutningen af det femtende århundrede, at de indfødte på Haiti spillede et spil med en mørk, elastisk bold. Det mærkværdige ved denne bold var, at den kunne springe meget højere end de bolde, der dengang fandtes i Europa. Man har i dag adskillige beviser på, at befolkningen på De Vestindiske Øer, i Centralamerika og i Amazones kendte til og anvendte gummi til et utal af formål, flere århundreder inden europæerne fik kendskab til det særprægede materiale.

Mayaindianerne i Guatemala har meget tidligt anvendt gummi til imprægnering af klæder som regnslag og såler til sandaler og medicinsk til ”grødomslag” med en masse baseret på gummi og kakao.

Gummi har ligeledes været anvendt i ceremonielle sammenhænge, hvor man op til regntiden har antændt gummi. Den sorte røg fra det brændende gummi symboliserede de mørke regnskyer.

Den franske matematiker og opdagelsesrejsende Condamine observerede under en rejse til Ecuador i midten af 1700-tallet, at de indfødte ved en bestemt type af træer, som de benævnte ”Hhevé”, lavede et snit i barken, og ud flød en hvid, mælkeagtig væske. Efter nogen tid i luften blev denne substans hårdere og mørkere, men smidig.

Condamine hjembragte små mængder af væsken og fremviste den for akademiet i Paris. Materialet vakte stor opsigt og begejstring, og man gav det navnet ”caoutchouc” efter indianernes betegnelse for væsken ”ca-hu-chu”, som betyder *det grædende træ*. Herfra stammer det tyskinspirerede ord for det ubehandlede gummimateriale ”kautsjuk” (på tysk ”Kautschuk”).

Når træet skal tappes, skæres der med en speciel kniv et ca. 6 mm dybt snit i barken. Snittet er så dybt, at det går gennem cellevæggene og ind i træets latexførende lag.

Snittet løber spiralformet skråt nedad i en vinklen på ca. 30°. Væsken fra træet vil på grund af træets indre osmotiske tryk drives ud gennem snittet i barken. Den følger de skrå snit, og fra et rør løber væsken ned i en skål, som er ophængt på træet.

Væsken fra Heveatræet kaldes latex og indeholder 25-40 % gummi, resten af latexen er hovedsageligt vand.

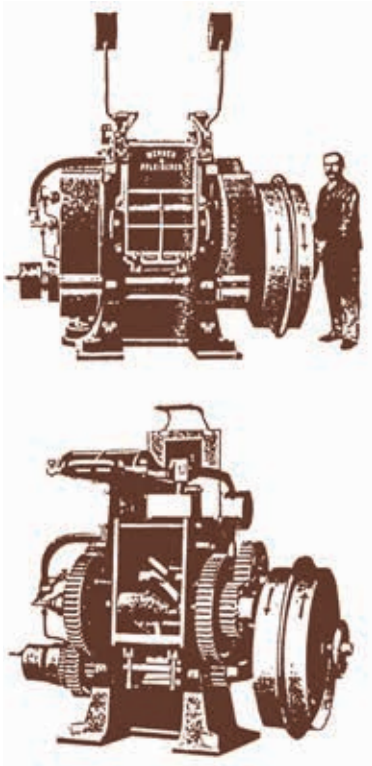
Aftapning af rågummi





Geografiske områder, hvor der produceres naturgummi

Den første gummimikser
(Rubber Products Manufacturing Technology)



Heveatræerne er plantet i såkaldte gummiplantager, og man regner med, at hvert træ giver mellem 5 og 10 kg gummi pr. år.

Omkring et døgn efter tapningen klumper gummipartiklerne sig sammen (koagulerer), og hovedparten af vandet kan separeres fra. Denne proces forbedres ved tilsætning af myre- eller eddikesyre.

Man har nu en gullig

masse, som ved videre forarbejdning bliver til forskellige former for naturgummi.

I slutningen af 1800-tallet var prisen på gummi gået ganske kraftigt i vejret på grund af det øgede forbrug og behov for rågummi. Samtidigt havde Brasilien monopol på produktion af rågummi, hvilket resulterede i skyhøje priser.

Englænderen Henry Wickman udsmyglede ca. 70.000 spæde planter af Heveatræet. Disse kom til at danne grundlag for den senere østasiatiske produktion af naturgummi.

Den totale produktion af naturgummi ligger på verdensplan på ca. 6 millioner tons pr. år.

I starten af 1800-tallet udførte englænderen Thomas Hancock en række eksperimenter med rågummi for at gøre materialet blødere og muligt at bearbejde maskinelt. Hancock skar gummiet i smalle strimler, og pressede det siden til en blok.

Han byggede en maskine, hvor han i centrum placerede opvarmede valser med en række udstående spir. Hancock lagde en klump gummi i maskinen og drev med håndkraft de store valser rundt for at sønderrive gummiet. Han forventede, da han åbnede maskinen, at finde materialet i tynde strimler. I stedet lå gummiet i en stor, blød, homogen klump. Materialet var blevet plastificeret.

Dette forsøg lagde hjørnesteinene til de forarbejdningsprocesser for gummi, som man kender til i dag.

Hancocks maskiner blev videreudviklet, og i 1879 startede tyskerne Werner og Pflleiderer produktionen af ”dobbelt-rotor-intern-mikser”.

I den samme periode blev den første maskine til fremstilling af ”gummibatch”, som anvendes til den videre forarbejdning af gummiprodukter, solgt. Maskinen blev kaldt ”GK” for det tyske ord Gummiknetter (gummimikser).

Sammen med naturgummiet mikses en række andre materialer i blandingen, alt afhængigt af hvad det skal anvendes til. Den færdige blanding benævnes komponent. De forskellige ingredienser har forskellige funktioner i komponenten, og mængderne af dem varierer meget, afhængigt af hvad det færdige produkt skal anvendes til.

Den herunder angivne sammensætning er ikke specifik for naturgummi.

En typisk komponent kan se således ud:

- Naturgummi 30-60 %
- Fyldstoffer 20-50 %
- Plastificeringsmidler 0-10 %
- Vulkaniseringsmidler 2-5 %
- Stabiliseringsmidler 0-5 %
- Smøremidler 0-2 %

Fyldstofferne anvendes for at forstærke den færdige komponent eller for at få prisen pr. volumenenhed på den færdige blanding ned.

Nogle fyldstoffer fx kridt forbedrer procesegenskaberne, mens kønrøg, som er det vigtigste fyldstof, virker som forstærkningsmiddel. Kønrøg fremstilles af forbrændingsrester fra olie eller gas og forstærker det færdige gummiprodukt ved at øge slidstyrken, give større stivhed og mindre elasticitet i materialet. Disse fysiske egenskaber er meget væsentlige, ikke mindst ved fremstilling af bildæk.

Desuden kan træmel og kork tilsættes som rent fyld.

Plastificeringsmidler er med til at blødgøre materialet og derved lette den videre forarbejdning. Ligeledes vil plastificeringsmidlet i det færdige produkt forbedre emnets bestandighed over for kulde.

Vulkaniseringsmidler er de væsentligste ingredienser i blandingen. De skal senere sikre krydsbindingen af elastomermolekylerne i emnet. Gummi-materialet vil ved vulkaniseringen under indvirkning af varme og kemikalier omdannes til den blivende elastiske tilstand.

Svovl anvendes som den mest benyttede bestanddel i vulkaniseringsprocessen. Desuden anvendes zinkoxid og stearinsyre samt en accelerator for at sætte hele processen i gang, når temperaturen kommer op på ca. 140 °C.

Stabiliseringsmidler tilsættes for at beskytte det færdige gummiemne mod former for nedbrydning, som emnet bliver udsat for under brug.

Smøremidler tilsættes for at gummiblandingen kan flyde ud i formen under produktionen, og for at emnet slipper formen igen ved afformning.

Ud over de nævnte ingredienser kan der tilsættes farve og parfume til gummiblandingen.

En gummiblandings sammensætning tager udgangspunkt i de ønskede egenskaber ved det færdige produkt. Blandingen sammensættes ud fra de enkelte ingrediensers kemiske egenskaber og ud fra erfaringer, man har draget fra tidligere sammensætninger.

Det at finde den helt rigtige komponent og få den ensartet fra gang til gang, kan være vanskeligt.

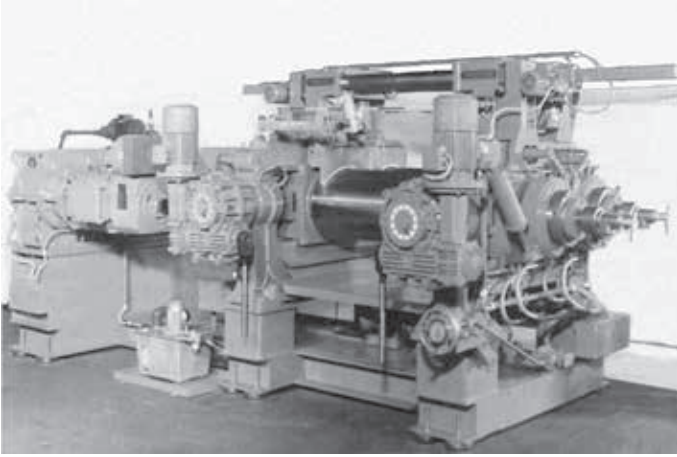
Kvaliteten af rågummi varierer, afhængigt af hvorfra den kommer. Endvidere kan afvejningen af de enkelte ingredienser let variere, og det kan være vanskeligt at mikse komponenten på helt samme måde hver gang.

Miksningen eller blandingen af alle ingredienserne til gummiblandingen kan enten foregå i et åbent valseværk eller i en kammerblander, som er en lukket maskine og en videreudvikling af den tyske GK-gummimikser, som tidligere er omtalt.

De lukkede maskiner kaldes på engelsk "Internal Mixer", og det er oftest også den betegnelse, vi anvender i Danmark.

Internal Mixer (Farrel)





Åbent valseværk
(Rubber Technology Handbook, Hanser Publishers)



Valseværk, hvori gummi blandes mellem to valser (Farrel)

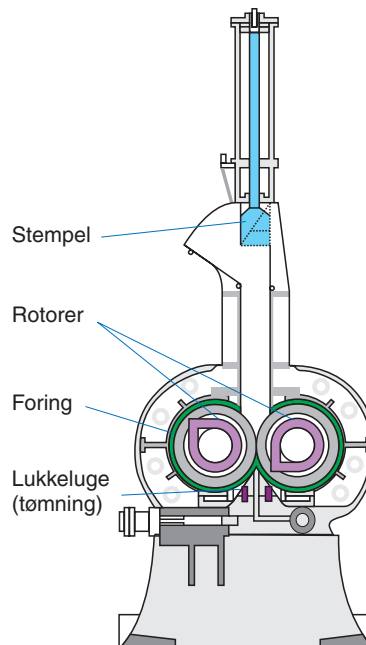
I det åbne valseværk er der to vandretliggende stålvalser, hvor åbningen mellem dem er justérbar. Alle de ingredienser, som skal være i den færdige gummiblanding, lægges op på valserne og bliver mikset. De to valser kører med forskellige hastigheder, hvilket giver en god blandings-effekt i materialet. Der dannes en form for "gummibånd" på den forreste valse, hvor maskinen betjenes. Under miksningsen må båndet ikke skæres over. Først når alle ingredienser er indarbejdet i den endelige compound, må båndet skæres, hvorefter det æltes igennem valserne adskillige gange for at blive tilstrækkeligt homogeniseret.

Når miksningsen er fuldført, bliver den færdige compound kølet ned i vandbade og er klar til videre forarbejdning.

**Banbury-mikser/
tangential-mikser (Farrel)**



**Skitse af gennemskåret
Banbury-mikser/tangential-mikser**



Under valsningen opstår stor friktionsvarme i materialet. For at holde temperaturen nede, så vulkaniseringen i gummimaterialet ikke begynder, er der vandkøling i valserne.

Det åbne valseværk var gennem mange år det mest almindeligt anvendte i gummiindustrien. Men det er en meget langsommelig proces, hvor hver portion gummi, der skal blandes, tager mellem 15 og 30 minutter. Derfor anvendes valseværk i dag primært, hvor man ikke skal bruge en større mængde gummiblanding.

Internal Mixer'en har som det åbne valseværk to vandretliggende ro-torer. En meget anvendt model er den engelske Banbury-mikser (også kaldet tangential-mikser)

I Banbury-mikseren kører de to rotorer med forskellige hastigheder, hvilket gør, at homogeniseringen af ingredienserne primært foregår ved friktion mellem rotor og foring.

Rågummi og ingredienser lægges i fødetragten øverst på maskinen. Stemplet i toppen, som oftest er pneumatisk og justerbart, sørger for at presse alle ingredienserne ned i blandekammeret. For at lette miksnin-gen ved opstart opvarmes maskinen. Der er ligeledes mulighed for at køle, for at undgå at vulkaniseringen af gummiet begynder.

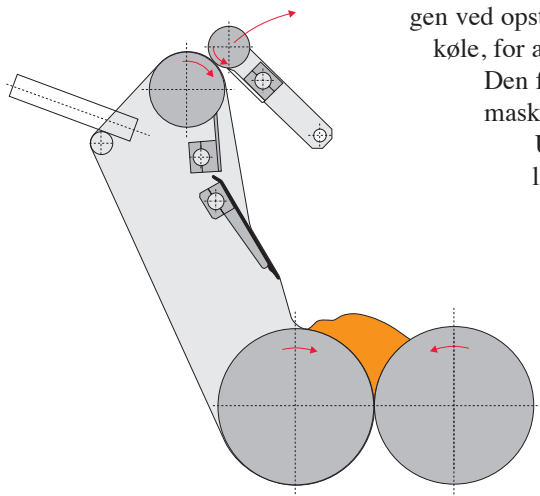
Den færdige komponent tømmes ud ad en luge i bunden af maskinen.

Ud over Banbury-mikseren findes en anden type, nemlig Interlock-mikseren, hvis rotorer har samme omdrej-ningstal.

Internal Mixer'en anvendes primært, fordi den er hurtigere og har større kapacitet end det åbne valseværk. Der vil dog ofte være en del luft i den kom-pound, som blandes i Internal Mixer'en. Derfor af-sluttes processen ofte med, at komponenten kom-mer i en såkaldt Stockblender, som er en valsetype, hvori gummiblandingen bliver færdigmikset og sam-tidig bliver hurtigt nedkølet. Ligeledes bliver den sidste luft presset ud af blandingen.

Stockblender

Den sidste luft bliver presset ud af komponenten

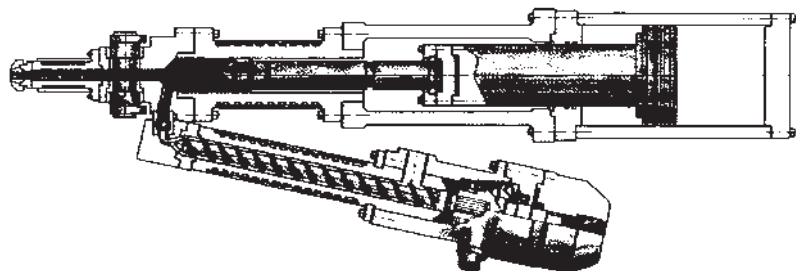


Formgivning af gummi

Injektionsstøbning

Denne forarbejdningsmetode minder på mange måder om sprøjtstøbning af termoplast. Gummimaterialet tilføres maskinen i form af granulat, som fyldes i tragt, eller som en lang gummistrimmel, der føres ned gennem en tragt og ned til en snekke, som man kender det fra traditionelle sprøjte-støbmaskiner.

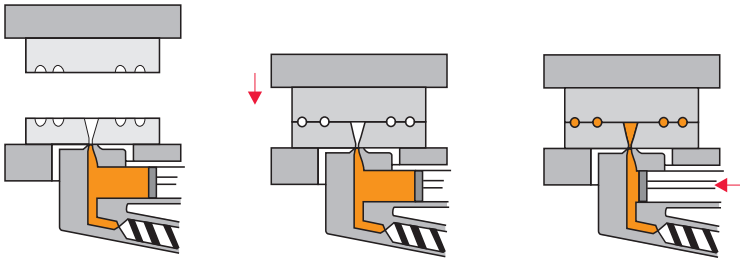
Injektionsmaskine med snekke og stempel



En udbredt type injektions-maskine er den, hvor der fin-des både snekke og stempel i samme maskine.

Snekken er opvarmet via var-mebånd og bevæger sig ikke frem og tilbage.

Gummimassen føres frem af snekken til et stempelkammer eller et indsprøjtningkammer.



Fyldning af form ved injektionsstøbning

Bag ved dette kammer ligger et hydraulisk stempel, som presser den opvarmede gummimasse ind i formen, når kammeret er fyldt.

Opbygningen af formene er, som vi kender dem fra sprøjtestøbning. Der er indløb, og der kan herfra være fordelkanaler til flere formhulrum, således at der kan støbes flere emner i samme "skud".

Formpresning

Formpresning foregår i en hydraulisk presse med en fast og en bevægelig part.

I pressen er der opspændt en form, som er opvarmet til en bestemt temperatur, afhængigt af hvilken gummitype der skal forarbejdes.

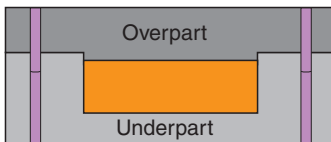
Formen er sædvanligvis fremstillet af stål og består af to halvpartar. I formen er gnistet eller udfræset aftryk af den udformning og med de detaljer, som man ønsker, det færdige gummitemne skal have.

Afhængigt af detaljerne og emnets størrelse kan en form bestå af fra en og helt op til flere hundrede kaviteter.

Der findes to former for formpresning:

- Kompressionsformning
- Transferformning

Eksempel på kompressionsformning



Kompressionsformning

Kompressionsformning foregår, ved at en afvejet mængde gummi, det kan være en udstanset blok, lægges i formen. Styretappe i den ene formhalvpart og modsvarende huller i den anden sikrer, at formparterne ligger lige over for hinanden, når formen lukkes.

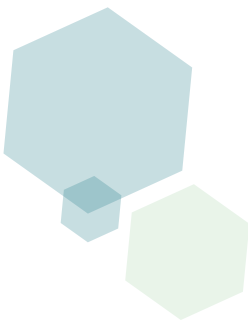
Det opvarmede materiale vil under indvirkning af trykket og varmen fordele sig i formen og flyde ud i formhulrummene og vil nu begynde at vulkaniseres.

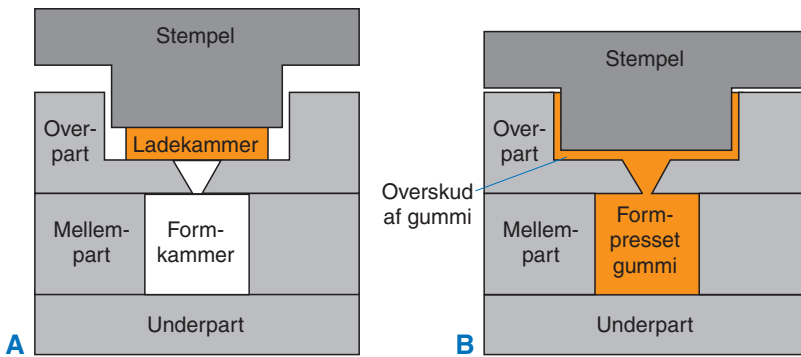
For at kunne opnå tilstrækkeligt højt tryk under formningen må det uvulkaniserede gummi (det som lægges i formen) have større volumen end det totale volumen i formhulrummene. Der vil herved være overskud af gummimasse, der presses ud i specielle riller i formen som en slags "skæg". Dette bliver fjernet ved en nødvendig efterbehandling af emnerne.

Transferformning

Ved transferformning opvarmes uvulkaniseret gummi i en form for trykkammer/ladekammer. Når den har en tilpas temperatur, presser et stempel gummimassen ned i selve formhulrummet, hvor emnet formes.

Som ved kompressionsformning skal der være et overskud af gummi for at kunne opretholde et tilpas tryk under formningen og vulkaniseringen.





Eksempel på transferformning

- A. Åben transferform
B. Lukket transferform

Sammenligning mellem injektionsstøbning og kompressions- og transferformning

	Injektionsstøbning	Kompressionsformning	Transferformning
Fordele	<ul style="list-style-type: none"> - Kort formtid - Mindre efterbearbejdning - Mindre spild - Velegnet til store serier - Egnede til automatisering 	<ul style="list-style-type: none"> - Egnede til små serier - Billige forme - Billige maskiner 	<ul style="list-style-type: none"> - Velegnet til emner med stor godstykkelser - Stor nøjagtighed - Kort formtid - Mindre efterbearbejdning
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"> - Dyre forme - Dyre maskiner - Uegnet til mindre serier 	<ul style="list-style-type: none"> - Meget efterbearbejdning - Vanskelig at automatisere - Kræver afvejning af råmateriale 	<ul style="list-style-type: none"> - Meget dyre forme - Vanskelig at automatisere - Kræver afvejning af råmateriale

Gummityper

I starten af dette århundrede blev de første forsøg gjort for at finde et alternativ til naturgummi. Men det var først i 1930'erne, at der virkelig skete noget, og den oliebaseerede gummi kom på markedet. Denne type materiale går samlet under betegnelsen *syntetisk gummi*.

Syntetisk gummi dækker i dag 2/3 af det samlede gummiforbrug på verdensplan.

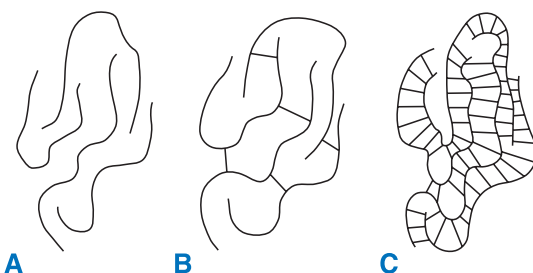
Naturgummi og syntetisk gummi kaldes også for *elastomerer*, og fælles for dem er, at molekyllæderne ved vulkaniseringen tværbindes, som man kender det fra hærdeplast.

Denne tværbinding er blivende og kan ikke brydes igen. Gummi kan derfor ikke regenereres til nyt materiale.

Efterfølgende vil de mest almindeligt anvendte gummityper kort blive beskrevet med angivelse af fordele, begrænsninger og anvendelse.

Tværbindinger i gummimolekyler

- A. Inden vulkanisering - ingen tværbindinger
B. Efter vulkanisering. Blød elastomer - få tværbindinger
C. Efter vulkanisering. Hård elastomer - tæt tværbundet netværksstruktur



Naturgummi (NR)

Fordele

Meget god elasticitet, høj brudstyrke (maks. 30 MPa), stor modstandsdygtighed mod revnedannelse og slid. Stor fleksibilitet (bøjelighed) ved lave temperaturer, god binding til tekstiler (især bomuld) og metaller. Fleksibelt ned til $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Velegnet som elektrisk isolator.

Begrænsninger

Mindre god modstandsdygtighed over for varme, ozon og sollys.
Ringe modstandsdygtighed over for olier, benzin og lignende.

Anvendelser

Naturgummi har gode fysiske egenskaber og er velegnet til alle anvendelser, der kræver god modstandsdygtighed mod slid og skærende genstande. Det er sejt og har en anvendelsestemperatur fra $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Naturgummi kræver ikke aktive fyldstoffer til forstærkning. Det vil sige, at den vulkaniserede blanding opnår de maksimale fysiske egenskaber uden tilsætning af fyldstoffer.

Nitrilgummi (NBR)

Fordele

God modstandsdygtighed mod påvirkninger fra benzin og olier.

Har meget lav luftgennemtrængelighed.

Begrænsninger

Ringe modstandsevne over for varme, ozon og sollys.

Dårlig modstandsevne over for alkoholer, acetone, methyl-ethylketon (MEK) og lignende opløsningsmidler.

Anvendelser

NBR er det almindeligt anvendte gummi til produkter, der skal være modstandsdygtige over for benzin, olier og gas.

Egenskaberne af gummiprodukter afhænger meget af nitrilindholdet i NBR. Det fremstilles med nitrilindhold fra ca. 17 % til 50 %.

Gummiprodukter baseret på NBR fremstilles hovedsageligt i sorte farver, da indblanding af kønrøg giver de bedste fysiske egenskaber, men det kan fremstilles i alle farver.

Kan anvendes i temperaturområdet fra $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Toppakning fremstillet i nitrilgummi (AVK GUMMI A/S)



Butadiengummi (BR)

Fordele

Fleksibelt ved lave temperaturer. Stor slidstyrke, stor elasticitet.

Dynamiske egenskaber såsom varmeopbygning formindskes, revnedannelse reduceres, og ældning forbedres ved blandinger med andre elastomerer.

Begrænsninger

Skal blandes med andre elastomerer for at kunne indgå i forarbejdningsprocesser.



Anvendelser

Mere end 90 % af BR anvendes til dæk for forøgelse af slidfasthed. I vinterdæk sikrer BR et bedre vejgreb på isglatte veje.

Desuden kan BR anvendes til skosåler, valsebelægninger, chokabsorbere og transportbånd, men altid i blandinger med andre materialer.

Kan anvendes ved temperaturer fra $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Isoprengummi (IR)

Fordele

IR kan erstatte naturgummi i de fleste gummiblandinger, hvorfor IR ofte betegnes som syntetisk naturgummi.

Vulkaniseret IR har meget høj elasticitet, stor kuldebestandighed og fin elektrisk isolationsevne, som er fuldt på højde med NR's.

Stor modstandsdygtighed mod revnedannelse ved højere temperaturer.

IR betragtes som et renere materiale end NR.

Begrænsninger

Ring modstandsdygtighed over for olier, benzin og lignende.

Mindre modstandsdygtighed over for varme, ozon og stærkt sollys.

Slidstyrke og brudstyrke er lidt mindre end ved NR.

Anvendelser

Anvendes til alle formål i stedet for NR bl.a. til farmaceutisk brug, hvor de stoffer, som er naturligt forekommende i NR, ikke er ønsket.

IR anvendes, hvor der kræves høj brudstyrke, elasticitet og stor kærstyrke over for skarpe kanter ved højere temperaturer.

Temperaturanvendelsesområdet er fra $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Silikonegummi (Q)

Fordele

Enestående modstandsevne mod høje temperaturer. Fremragende fleksibilitet ved lave temperaturer. Udmærket modstandsdygtighed over for ozon, sollys og vejrlig. Stor isolationsevne. Fremragende farvestabilitet.

Begrænsninger

Ring modstandsevne over for mineralolier og benzin samt syrer og baser. Lav modstandsevne over for slid og skærende genstande. Ring brudstyrke. Gasdampe trænger meget let igennem silikonegummi. Forholdsvis dyrt materiale.

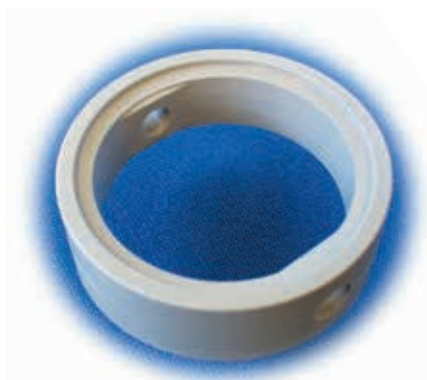
Anvendelser

Silikonegummis vigtigste anvendelsesområde er i forbindelse med medicinalindustrien. Desuden anvendes silikonegummi til narresutter.

De fysiske egenskaber ved de færdige produkter er meget stabile inden for et stort temperaturområde.

Anvendelsestemperaturområde fra $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Spjældventilpakning fremstillet af silikonegummi (AVK GUMMI A/S)



Indsugningsrør til motorsav fremstillet i fluorgummi (AVK GUMMI A/S)



Ventilskyder til vandforsyning fremstillet af metallerne påvulkaniseret EPDM (AVK GUMMI A/S)



Fluorgummi (FKM/FPM)

Fordele

Fremragende modstandsevne mod høje temperaturer og mod mineralolier og benzin. God modstandsevne over for ozon, sollys og vejrlig.

Begrænsninger

Mindre modstandsevne over for slid og skærende genstande. Ikke bestandigt over for alkoholer, acetone, metylethylketon og lignende opløsningsmidler samt ammoniak og overophedet vanddamp. Meget høj kilopris.

Anvendelsesområde

Fluorgummi anvendes bl.a. til pakninger og slanger, der skal anvendes ved op til 200 °C, og som eventuelt kommer i berøring med aggressive kemikalier eksempelvis ved O-ringspakninger. Desuden anvendes FKM til emner, der kommer i kontakt med olie og benzin.

Temperaturanvendelsesområde fra -30 °C til +200 °C.

Ethylen-propylen-dien-monomer (EPDM)

Fordele

Udmærket modstandsevne over for varme, ozon, sollys og vejrlig.

Meget fleksibel ved lave temperaturer. Fremragende modstandsevne over for vand og damp. God modstandsevne over for syrer, alkoholer, acetone og metylethylketon. Fremragende farvestabilitet.

Begrænsninger

Modstandsevnen over for olie og benzin samt stærkt fedtholdige medier er ringe.

Anvendelser

EPDM kan anvendes til alle områder, hvor der ikke kræves modstandsdygtighed over for mineralolier og benzin. Det er fremragende til uendørs brug for eksempel tagbelægninger og til farvede gummiprodukter. EPDM kan ligeledes anvendes i forbindelse med drikkevand og levnedsmidler.

Temperaturanvendelsesområde -50 °C til +130 °C.

Chloroprengummi (CR)

Fordele

Moderat modstandsevne over for slid, olier og benzin. Udmærket modstandsevne over for ozon, sollys og vejrliget. God modstandsdygtighed over for syrer og baser.

Begrænsninger

CR har ringe modstandsdygtighed over for estere og ketoner. Ved bestråling med sollys kan der indtræde mørkfarvning. CR anvendes kun lidt til lystfarvede produkter.

Anvendelser

CR har udmærkede fysiske egenskaber. Findes i flere varianter og anvendes ofte til kileremme og ventilatorremme.

Kan anvendes i temperaturområdet fra -30 °C til +110 °C.

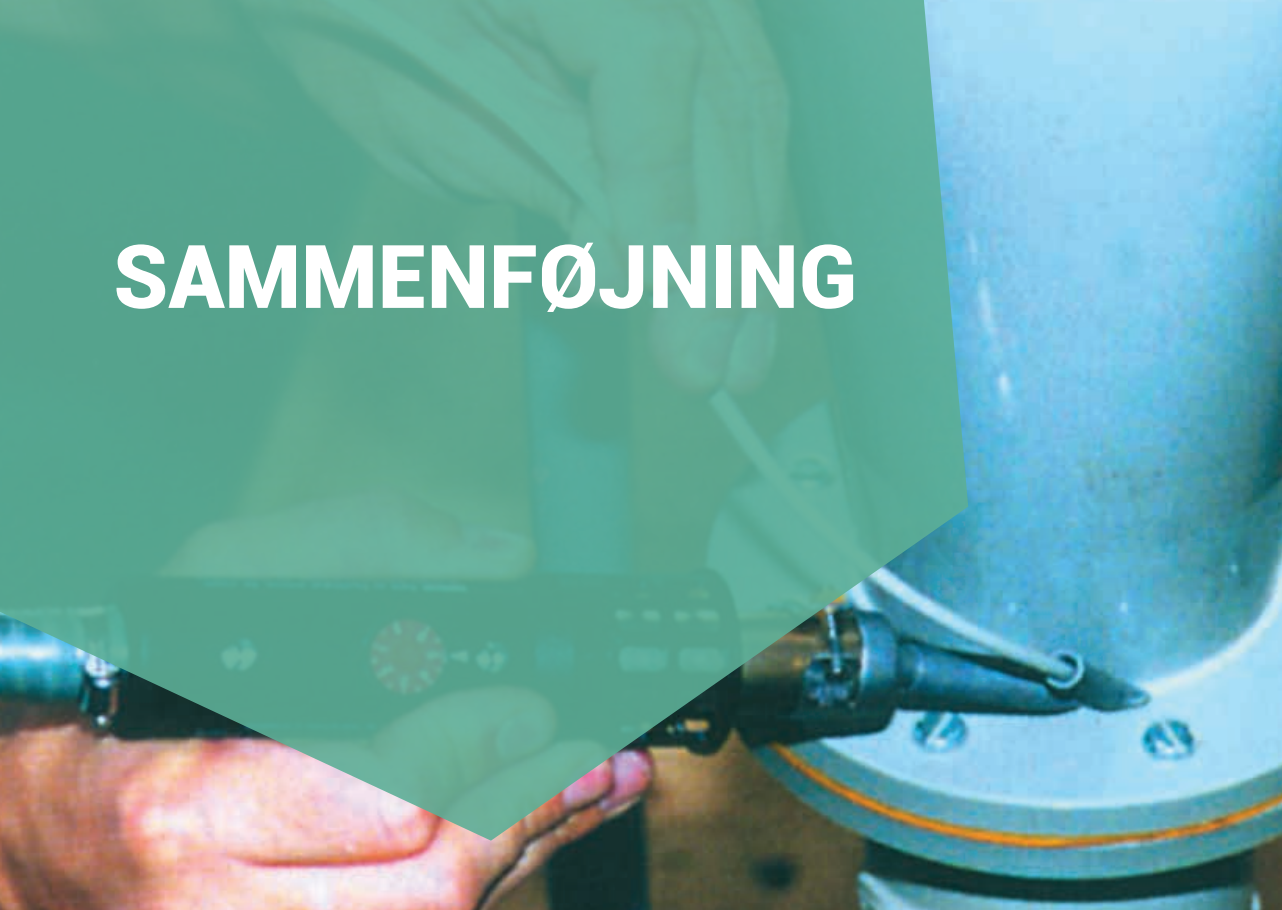
Gummityper og deres egenskaber

- 1 = Udmærket
2 = God
3 = Begrænset
4 = Dårlig

Gummitype	Færdig kompond kg/dm ³	Ren polymer kg/dm ³	Maks. styrke ved 20 °C MPa	Slidstyrke	Elastiske egenskaber	Benzin- og mineralbestandighed	Ozon- og vejrbestandighed	Lufttæthed	Temp. anv. område	Kemikalbestandighed	Syrer	Typisk anvendelse
Naturgummi (NR)	1,2	0,93	30	1	1	4	3	3	-50 +80	2	3	Lastvognsdæk, transportbånd
Styren-butadien-gummi (SBR)	1,2	0,94	25	1	2	4	3	3	-40 +100	2	3	Personvognsdæk, transportbånd
Butadien-gummi (BR)	1,1	0,93	20	1	1	4	3	3	-50 +100	2	3	Forarbejdning sammen med andre typer gummi
Butyl-gummi (IIR)	1,1	0,92	17,5	3	4	4	2	1	-50 +130	2	2	Lufttætte membraner, bislanger
Chloropren-gummi (CR)	1,3	1,23	25	2	2	3	2	2	-30 +100	2	1	Kileremme
Nitrilgummi (NBR)	1,2	0,92-1,01	25	2	3	1	3	2	-40 +100	2	1	Benzinslanger
Nitril/PVC (NBR/PVC:70/30)	1,2	1,08-1,15	22	2	3	1-2	1	2	-20 +110	1	1	Oliefaste og vejrbestandige produkter
Carboxyleret nitrilgummi (XNBR)	1,3	0,98	25	1	2	1	1	2	-20 +110	1	1	Slidfast materiale
Hydreret nitrilgummi (HNBR)	1,3	0,95	27	1	2	1	1	2	-60 +150	1	1	Slidfast, kemisk/termisk modstandsdygtighed
Ethylenpropylengummi (EPDM)	1,1	0,86	22,5	2	3	4	1	3	-55 +130	1	1	Tagbelægning, radiator-slanger, tætningselementer
Chlorsulfoneret polyethylen-gummi (CSM)	1,2	1,08-1,28	24	1	3	2	1	2	-55 +125	1	1	Tagbelægning
Polynorbonen-gummi (PNR)	1,1	0,96	25	2	2	3	3	2	-40 +80	2	3	Meget bløde produkter
Silikonogummi (Q)	1,3	0,98	10	4	3	3	1	4	-80 +200	3	4	Medicinalgummi
Fluorgummi (FKM/FPFM)	1,9	1,96	20	3	2	1	1	2	-30 +200	1	2	O-ringspakninger
Urethangummi (AU og EU)	1,2	1,03-1,23	50	1	2	2	1	2	-20 +80	2	2	Fugemasse
Polysulfid-gummi (T)	1,3	1,28-1,34	10	3	3	1-2	1	1	-45 +80	2	2	O-ringspakninger



SAMMENFØJNING



Varmluft svejsning
(Leister/Bergstrøm Plastteknik ApS)



Svejsning

Sammenføjning af to emner kan udføres ved forskellige svejsemetoder eller ved limning.

Ved svejsning opvarmes plastmaterialet lokalt, og sammenføjningen udføres med eller uden tilførsel af tilsatsmateriale, afhængigt af metoden.

Ved alle svejseprocesser sker sammenføjningen, efter at plastmaterialet er opvarmet til blødgjort tilstand, ved påføring af et givet tryk. Under opvarmningen af plastmaterialet gøres molekylerne igen bevægelige, som da materialet blev formgivet. Ved at presse to emner sammen, hvor molekylerne er i en bevægelig tilstand, og derefter lade materialet afkøle, vil man få en fast forbindelse, hvor molekylerne har bundet sig sammen.

Det er muligt at svejse næsten alle typer af termoplast.

Hærdeplast og elastomerer lader sig ikke svejse, idet der ved formgivning af disse materialer er sket en kemisk proces, som gør, at molekylerne ikke kan blødgøres igen til en fri tilstand.

Der skelnes ved svejsning mellem tyk- og tyndvæggede emner.

Tykvægssvejsning foretages ved emnetykkelser fra ca. 1 mm og opefter.

Tyndvægssvejsning anvendes primært ved folier med godstykkelser fra under 0,1 mm og op til ca. 5 mm.



Ekstrudersvejsning
(Munsch/Bergstrøm Plastteknik ApS)

Tykvægssvejsning

Varmluftssvejsning

Princippet ved varmluftssvejsning er, at en opvarmet luftstrøm koncentreret og rettes mod det plastemne, som ønskes svejset. Ved varmluftssvejsning tilføres altid et tilsatsmateriale - en såkaldt svejsetråd.

Plastemne og svejsetråd blødgøres af den opvarmede luft, hvorefter de to materialer trykkes mod hinanden og derved sammensvejses.

Til opvarmning af luften, som oftest er atmosfærisk luft, anvendes en svejsepistol. En blæser sikrer, at den rette luftmængde blæses ind i svejsepistolen. Luften opvarmes af elvarmelegemer inden i svejsepistolen efter samme princip, som man kender fra en hårtørrer. For enden af svejsepistolen retningsbestemmes den opvarmede luft, inden den blæses ud af dysen mod plastemnet.

Ved varmluftssvejsning skelnes mellem svejsning med og uden hjælpedyse (føringsdyse). Fælles for begge typer af varmluftssvejsning er, at luftstrømmen skal have en temperatur på ca. 300 °C. Temperaturen registreres med en termoføler ca. 5 mm foran dysespidsen. Er temperaturen ikke korrekt, reguleres termostaten på svejsepistolen.

Det tryk, som med hånden påføres svejsetråden, skal ved en 3 mm svejsetråd være ca. 2 kg. Ved tykkere tråde forøges trykket.

Er det to plader, som skal sammensvejses, saves, files eller skræbes disse forinden svejsningen således, at der er en svejsefuge, hvor svejsetråden kan ligge. Denne svejsefuge skal have en åbningsvinkel på ca. 70°.

Pladerne spændes fast (fikseres) til et bord eller en svejseplade, således at de ikke kan flytte sig under svejsningen. Afstanden mellem pladerne (spalteåbningen) skal være 0,5-1 mm afhængigt af pladetykkelsen. Jo tykkere plade, des større spalteåbning.

Inden svejsningen rengøres svejsetråden og svejsefladerne grundigt med sprit.

Vedrørende kontrol af de færdige svejsninger henvises til "Kontrol af svejste plastkonstruktioner" udgivet af Dansk Teknologisk Institut.

Varmluftssvejsning med hjælpedyse anvendes oftest ved sammenføring af bløde materialer som PE og blødgjort PVC. Andre plasttyper kan dog også varmluftssvejses ved brug af hjælpedyse.

Ved svejsning med hjælpedyse føres svejsetråden gennem et rør i dysen, som monteres yderst på svejsepistolen. Svejsetråden trykkes gennem røret vinkelret ned mod grundmaterialet. Den opvarmede luft blæses i en vinkel på ca. 45° ned mod plastpladerne. Ved opvarmningen dannes der et smeltebad fra svejsetråd og pladerne.

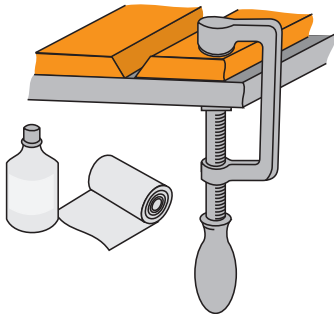
Ved svejsning med hjælpedyse kan det være vanskeligt at se smeltebadet, men på begge sider langs svejsetråden dannes ligeledes en vulst. Hvis vulsterne ikke fremkommer, er temperaturen ikke korrekt indstillet, eller også er der ikke tryk nok på tråden.

Varmluftssvejsning uden hjælpedyse anvendes ved hårde plasttyper som stiv PVC, PS, ABS osv.

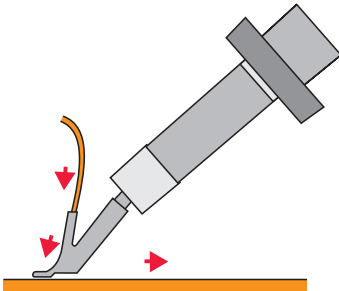
Svejsetråden styres udelukkende med hånden og presses vinkelret ned mod svejsefugen. Svejsepistolen holdes i en vinkel på ca. 45° pegende ned foran svejsetråden. Svejsepistolen bevæges frem og tilbage lige foran tråden for at forvarme grundmaterialet.

Er temperaturen og trykket korrekt, vil der opstå et smeltebad foran tråden. Ligeledes ses vulster på begge sider langs svejsetråden.

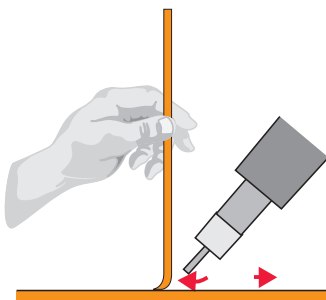
Fastspænding af plastplader inden varmluftssvejsning



Varmluftssvejsning med hjælpedyse



Varmluftssvejsning uden hjælpedyse



Ekstrudersvejsning

Der findes to principper inden for plastsvejsning med ekstruder bestemt af, hvilken ekstrudertype der er tale om:

- Snekke-ekstruder
- Stempel-ekstruder

Forskellen på de to principper er den måde, hvorpå svejsetråden plastificeres i ekstruderen.

Snekke-ekstruderen, som er den mest udbredte type, anvendes ved svejsning af polyolefiner (PE og PP) og PVC.

Tilsatsmaterialet kan være enten i form af granulat, som man kender det fra almindelig ekstrudering, eller som tråd på ruller, der er det mest almindelige.

Ekstruderen består af en elektrisk motor, som driver en snekke rundt. Snekken opvarmes af et varmebånd eller varmelegeme. Til forvarmning af grundmaterialet har man, som det kendes fra varmluftsvejsning, en blæser og varmediode, hvor luften opvarmes.

Inden ekstruderen startes, måles temperaturen uden på snekken. Den skal være mellem 150 og 170 °C.

Tilsatsmaterialet tilføres herefter bag snekken, og motoren startes.

Plasten plastificeres gennem snekken og transporteres ved rotation af snekken frem til spidsen af ekstruderen.

Forrest på ekstruderen sidder en svejsesko, som den smeltede plast passerer igennem. Svejseskoen er af teflon og har til formål at forme det ekstruderede materiale sammen med grundmaterialet. Udformningen af svejseskoen skal svare til grundmaterialets fugeform.

Det grundmateriale, der ønskes sammensvejst, skal forinden saves, files eller skrubes, således at der er en svejsesuge, hvori det ekstruderede materiale kan ligge. Vinklen på svejsesugen skal være ca. 90°.

Som ved varmluftsvejsning er det vigtigt at fiksere grundmaterialet, så det ikke forskydes under svejsningen.

En ekstrudersvejsning kan i princippet være uendeligt lang.

Kontrol af svejsning kan ske efter "Kriterier til visuel bedømmelse af svejste plastkonstruktioner", som er udgivet af Dansk Teknologisk Institut.

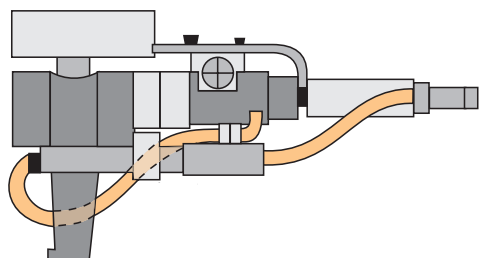
Stempel-ekstruderen anvendes udelukkende til polyolefiner i trådform og oftest, hvor der er behov for større mængder ekstruderet materiale.

Stemplet opvarmes med elektriske varmebånd til en temperatur på 240-250 °C.

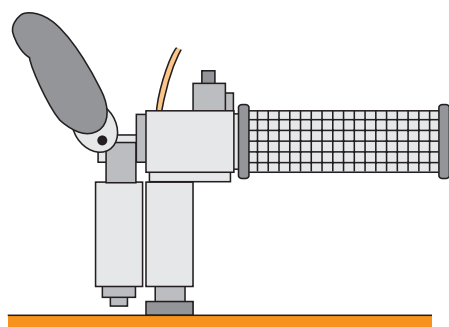
Der er som ved snekke-ekstruderen ligeledes en varmluft-forvarmning af grundmaterialet.

Transporten af det plastificerede materiale gennem ekstruderen foregår, ved at svejsetråden trykkes ind i ekstruderen ved hjælp af et par trykruller, som sidder placeret, hvor svejsetråden føres ind i ekstruderen. Det kolde materiale kommer herved til at virke som et stempel, der presser det smeltede materiale inde i ekstruderen frem til svejseskoen, som er placeret og udformet som beskrevet under snekke-ekstruderen.

Snekke-ekstruder

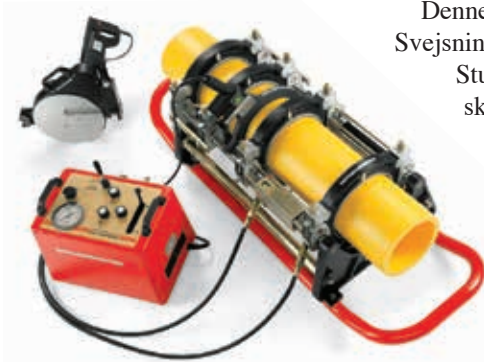


Stempel-ekstruder



Varmespejl

En termostatstyret varmeplade, der anvendes til opvarmning af rørenderne. Plasten er normalt coatet med teflon, for at den ikke skal klæbe til varmespejlet.



Mobil stuksvejsmaskine til svejsning af rør (Rothenberger)

Stuksvejsning

Stuksvejsning foregår, ved at to plastemner opvarmes ved berøring med et varmespejl. Når plasten er blevet passende blød, fjernes varmespejlet, og de to plastemner presses mod hinanden med et forudbestemt tryk. Dette tryk holdes under afkølingen.

Stuksvejsning kan kun anvendes på termoplast og anvendes oftest kun til polyolefiner (PE og PP).

Denne svejsemetode er den mest udbredte ved samling af PE-rør. Svejsning af rørledninger foretages i marken med mobilt udstyr.

Stuksvejsmaskinen består af et stativ, hvorpå der monteres fire udskiftelige rørholdere eller bakker, der skal passe til den rørdiameter, der skal svejses. Der bruges to bakker til hver rørende.

Der fås stuksvejsmaskiner til svejsning af rør med diameter fra ca. 20 mm til ca. 2.000 mm.

Til en stuksvejsmaskine hører en elektrisk høvl til afretning af rørene inden svejsningen. Det er vigtigt, at rørenderne er helt plane og parallelle.

Til opvarmning af rørene bruges et elektrisk, termostatstyret varmespejl, som er teflonbelagt, så plasten ikke hænger fast i spejlet.

Til at bevæge rørene i maskinen efter fastspænding i bakkerne anvendes en hydraulikboks med manometervisning.

Stuksvejsforløb

De to rør, som ønskes sammensvejt, lægges op i maskinen. Rørenderne skal stikke 25-50 mm frem i de midterste bakker. Herefter spændes de bagerste bakker til. Det er i princippet dem, som skal kunne holde rørene under svejsningen. De midterste bakker bruges primært til at justere rørene, således at de er centreret lige over for hinanden. Der accepteres en forskydning af rørene på op til 10 % af godstykkelsen.

Når rørene er spændt fast og justeret i forhold til hinanden, monteres høvlen mellem rørene. Motoren på høvlen startes, og maskinen lukkes med et let tryk. Høvlingen er nu påbegyndt, og der vil på begge sider kunne ses afhøvlede spåner fra rørene. Høvlingen fortsættes, til der bliver taget en hel ubrudt spån på begge sider af høvlen. Når dette sker, nulstilles trykket, således at høvlen kører fri, inden maskinen åbnes. Høvlen fjernes, og maskinen lukkes for at kontrollere, om rørenderne er centreret lige over for hinanden.

Er rørenderne ikke centreret inden for 10 % af godstykkelsen, efterjusteres de midterste bakker, og høvlingen gentages.

Temperaturen på varmespejlet kontrolleres med en varmeføler. Ved stuksvejsning af PE-rør skal den være ca. 215 °C. Den optimale temperatur anbefales af rørleverandøren.

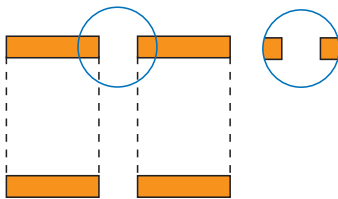
Forvarmekraften og svejsekraften beregnes af følgende formel:

$$F = (D - G) \times G \times \pi \times n$$

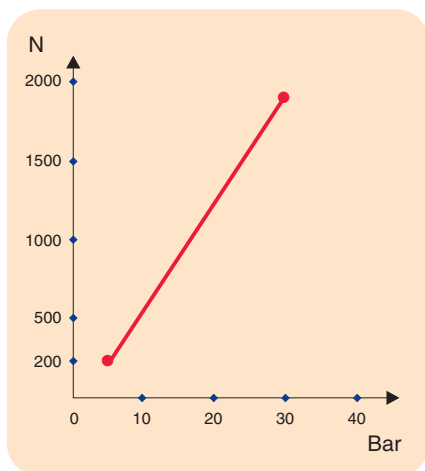
hvor F = forvarme- og svejsekraft i N,
D = rørets udvendige diameter i mm,
G = rørets godstykkelse i mm, og n
= en svejseparameter, som bestemmes

af rørleverandøren (for PEMD er n typisk = 0,15 MPa, og for PEHD er n typisk = 0,18 MPa).

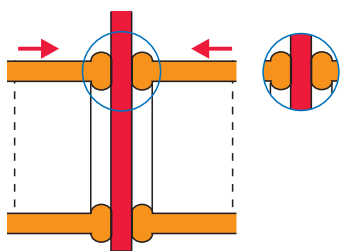
Efter udregningen af forvarme- og svejsekraften omsættes denne værdi til en størrelse udtrykt i bar. Dette gøres ved hjælp af en trykarakteristik, som viser forholdet mellem den beregnede forvarme- og svejsekraft i N og maskinens manometervisning i bar (efterfølgende kaldt svejsetryk).



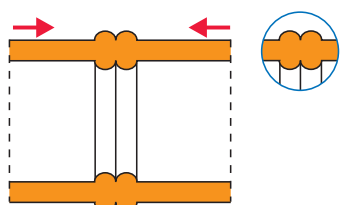
Centrering af rørender efter høvling



Eksempel på trykarakteristik



Opvarmning til 2 mm vulst



Rørene svejses efter endt opvarmningstid

Trykarakteristikken laves individuelt til hver enkelt stuksvejsmaskine og skal forefindes.

Når svejsetrykket er fundet i trykarakteristikken, indstilles dette på maskinen ved at lukke maskinen sammen og efterfølgende skrue op, til manometeret viser det angivne tryk.

Opvarmnings- og køletid findes i rørleverandørens brugervejledning.

Opvarmningstiden kaldes i nogle brugervejledninger for svejsetid eller varmesivetid, idet varmen fra svejsspejlet langsomt siver ind i røret.

Inden svejsningen sikres det, at alle spåner er fjernet fra svejseområdet, og samtidigt aftørres rørenderne med en rensesvæske (evt. sprit) og papir. Varmespejlet placeres mellem rørene, og maskinen lukkes sammen. Der vil efter nogen tid fremkomme en vulst fra rørene på begge sider af spejlet.

Når vulsterne har en størrelse på ca. 2 mm (afhængigt af rørenes godstykkelse), aflastes trykket på maskinen. Samtidigt med at maskinens tryk aflastes, startes et stopur, og opvarmningstiden er begyndt.

Efter endt opvarmningstid åbnes maskinen, varmespejlet fjernes, og maskinen lukkes igen med svejsetryk.

Den tid, der går, fra det øjeblik rørene fjernes fra varmespejlet, og til rørenderne har kontakt med hinanden, kaldes for omstillingstid.

Omstillingstiden må typisk være 3-6 sekunder.

Den nødvendige omstillingstid findes i rørleverandørens brugervejledning. Men generelt må siges, at jo kortere omstillingstiden er, des bedre bliver svejsningen. Er omstillingstiden for lang, risikeres det, at rørene "koldsvejses". Man får derved en svejsning, som ikke kan holde, idet molekyleenderne bliver afkølet, inden de når at indfiltre sig i hinanden.

Rørene må dog heller ikke klaskes hurtigt sammen, så materialet i svejsezonen derved pladrer ud til siderne.

Stopuret startes igen, og køletiden begynder. Under hele køletiden skal der være konstant svejsetryk på maskinen. Efter endt køletid trykaflastes maskinen, og rør-bakkerne løsnes.

Kontrol af svejsningen kan foregå efter "Kriterier for visuel bedømmelse af svejste plastrør" udgivet af Dansk Teknologisk Institut.

Ud over stuksvejsning med en traditionel svejsemaskine findes der i dag stuksvejsmaskiner, hvor det normale varmespejl er udskiftet med et infrarødt spejl. Opvarmningen foregår her, ved at infrarøde stråler sendes mod rørenderne. Denne berøringsfrie svejsning er en fordel ved svejsning af bl.a. PVDF, idet dette materiale har tendens til at klæbe til det normale varmespejl.

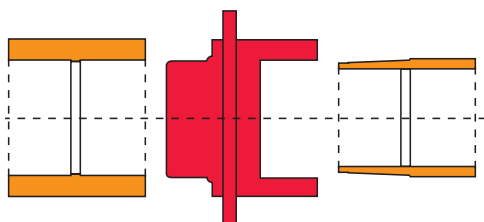
Muffesvejsning

I tilfælde, hvor det ikke er muligt at stuksvejs rør sammen, fx ved reparation af rørledninger, eller hvor rørene på anden vis sidder fast monteret, kan de sammenføjnes ved muffesvejsning.

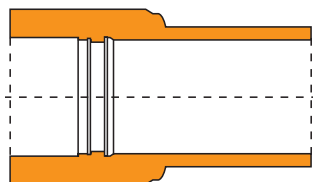
Mufferne er sprøjttestøbt i PE, PP eller PVDF og fås i dimensioner fra $\phi 16$ mm og op til ϕ ca. 125 mm.

Mens det ved stuksvejsning er rørenderne, der opvarmes, er det ved muffesvejsning rørets yderside og muffens inderside, der opvarmes.

Som varmekilde anvendes en elektrisk varmeplade, hvorpå der skrues en varmedorn og en varmebøsning, hvis dimension skal passe til de emner, der skal svejses.



Rør og muffe føres ind i varmegærktøjet



Udført muffesvejsning

Varmedorn og -bøsning er teflonbelagt, så plasten ikke hænger fast under opvarmningen.

Inden svejsningen skrælles ydersiden af røret med et specielt kalibreringsværktøj for at fjerne rørets oxidhinde, hvor røret skal svejses, og for at røret får en nøjagtig dimension, som passer til varmebøsningen.

Temperaturen på varmedornen kontrolleres med en varmeføler. Den skal være mellem 260 og 288 °C.

Opvarmnings- og køletiden findes i muffeleverandørens brugervejledning og er afhængig af plastmaterialet og dimensionen på muffen.

Plastdelene rengøres med sprit inden svejsningen.

Rør og muffe føres med et jævnt tryk ind i opvarmningsværktøjet.

I det øjeblik rør og muffe er i bund i værktøjet, startes et stopur, og opvarmningstiden begynder. Når opvarmningstiden udløber, trækkes rør og muffe ud og føres sammen med et roligt og jævnt tryk. Trykket holdes, til køletiden er udløbet.

Kontrol af svejsningen kan ske efter "Kriterier for visuel bedømmelse af svejste plastrør", som udgives af Dansk Teknologisk Institut.

Ved dimensioner op til $\varnothing 63$ mm foretages muffesvejsningen som hånd-svejsning. Fra $\varnothing 63$ mm og opefter findes der maskiner, som anvendes til svejsningen.

Elektromuffesvejsning

Som ved svejsning med smeltemuffer anvendes elektro-muffer, hvor stuksvejsning er vanskelig eller ikke mulig.

En elektrisk modstandstråd bliver indstøbt i muffen i et sprøjtstøbeværktøj.

Plastmaterialet i den færdige muffe opvarmes og smeltes sammen med røret ved hjælp af en elektro-svejsmaskine. El-svejsmaskinen er en strømkilde/omformer, som gennem et kabel forbindes til el-muffen. Det er vigtigt, at el-muffe og el-svejsmaskine passer sammen.

Der findes i dag alsidige el-svejsmaskiner, som kan anvendes til stort set alle typer af el-muffer.

Inden svejsningen skal det sikres, at den pågældende maskine må anvendes til el-muffen.

Svejsetiden kan indkodes manuelt eller automatisk afhængigt af maskintype.

De fleste el-muffer har i dag en strekcode, som gør det let med en strekcode-læser på maskinen at læse nøjagtigt, hvilken type muffe der skal svejses.

For enden af kablerne sidder klemmer eller kabelsko, som forbindes til el-muffen.

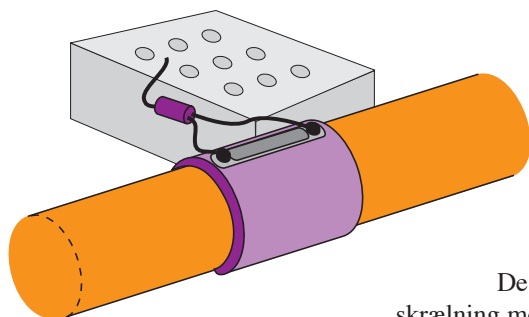
De rør, som skal svejses, klargøres ved en skrabning eller skrælning med specialværktøj for at fjerne oxidhinden uden på røret.

Rørene skubbes i bund i el-muffen. Det kan være nødvendigt at spænde rørene fast i rørholdere, for at de ikke skal glide ud under svejsningen. Svejsseffekten overføres fra el-svejsmaskinen ved at aktivere en kontakt på maskinen.

Modstandstråden i el-muffen varmes op, og varmen overføres til fladen mellem røret og el-muffen, hvorved materialet herimellem smelter, og rør og muffe sammensvejses.

Kontrollen af svejsningen kan foregå efter "Kriterier for visuel bedømmelse af svejste plastrør".

Svejsning med elektromuffe



El-muffesvejsning har i dag næsten helt overtaget markedet inden for svejsning af muffer.

El-mufferne kan fremstilles til en konkurrencedygtig pris sammenlignet med smeltemuffer, og samtidigt er der megen tid at spare ved svejsning med el-muffer.

Er man omhyggelig med klargøring inden svejsning, er styrken af sammenføjningen lige så stor som ved svejsning med smeltemuffer.

Kantbuksvejsning

Skal en plade bukkes i en bestemt vinkel, kan kantbuksvejsning være en velegnet metode.

Det er en svejseform, som primært er egnet til PE- og PP-plader.

Pladen fastspændes i en kantbuksvejsmaskine, så pladen ikke kan flytte sig under svejsningen.

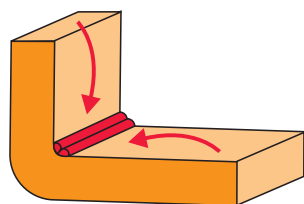
Der, hvor buknings/svejsningen ønskes, slibes overfladen med smergel-lærrød for at fjerne oxidhinden fra svejsefladen.

Et teflonbelagt varmesværd med en spidsningsvinkel på 60-70° presses let ned i pladen. Varmesværdet er opvarmet til 160-250 °C og skal trænge 2/3-3/4 af pladetykkelsen ned i plastpladen. Når sværdet er nede i den forudbestemte dybde, ventes ca. 3 minutter, mens varmen siver ud i pladen. Herved undgås, at plastpladen får hvide koldbukningslinjer på bagsiden, når den bukkes.

Efter endt opvarmning fjernes varmesværdet, og pladen bukkes i maskinen til en vinkel, som er 5-10° mindre end den ønskede. Under afkølingen vil plastpladen trække sig ved svejsestedet, hvorved den ønskede vinkel opnås.

Det er tilrådeligt at lave en prøvesvejsning forinden.

De vulster, som fremkommer ved svejsningen, kan efterfølgende fjernes med en skraber eller fræser, hvis nødvendigt.



Kantbuksvejt plastplade

Tyndvægssvejsning

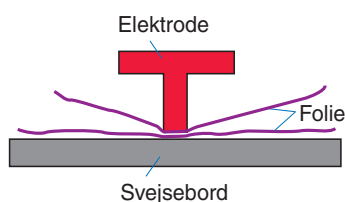
Højfrekvenssvejsning (HF-svejsning)

Denne metode anvendes primært til sammenføjning af PVC-folier.

HF-svejsmaskinen består forenklet af en elektrode og et svejsebord af messing. Mellem elektrode og svejsebord lægges de to stykker folie, som skal svejses sammen.

Gennem elektroden sendes en frekvens/svingning svarende til den, som anvendes ved radiobølger.

Disse svingninger ligger typisk på 27,12 megahertz (27.120.000 svingninger pr. sekund). Molekylerne i plastmaterialet sættes derved i bevægelse, og der udvikles varme i materialet mellem elektroden og svejsebordet. Det tryk, som samtidigt påføres folien, resulterer i sammensvejsning af folien.



HF-svejsning af folie

Varmetrådsvejsning

Ved svejsning af poser og folier af polyolefiner (PE og PP) anvendes en varmetråd.

Den elektrisk opvarmede tråd er oftest påført teflon, så plasten ikke hænger fast. Folien lægges på en varmebestandig gummitype, og varmetråden trykkes ned på folien. Efter en forudindstillet tid løftes tråden fra materialet, og svejsningen er foretaget.

Ved at forøge svejsetrykket kan tråden overskære folien, hvorved der sker en deling af materialet, samtidig med at folien svejses sammen.

På lignende måde kan en faconsvejsning udføres.

Ønsker man en svejsning på langs af folieretningen, kan man i stedet for en varmetråd anvende en opvarmet rulle eller et hjul, som trykkes ned i folien. Herved kan der i princippet opnås en uendeligt lang svejsning.

Ultralydssvejsning

Som ved HF-svejsning er det ikke direkte varme, som tilføres ved ultralydssvejsning. Her presser et frekvensafstemt værktøj to termoplastemner sammen. Værktøjet begynder at svinge og vibrere. Svingningerne har en frekvens på ca. 20 kilohertz (20.000 svingninger pr. sekund). Disse svingningerne er så høje, at de ligger på grænsen til, hvad det menneskelige øre kan opfatte.

Vibrationerne har et udsving på 30-70 μm , hvilket kaldes amplituden.

Oftentimes vil svejsemaskinerne være afskærmet med et lydisoleret materiale, da længere tids arbejde med ultralydssvejsning kan skade hørelsen. Man bør dog, uanset om maskinen er afskærmet eller ikke, altid anvende hørevern ved arbejde med ultralyd.

Under svejseprocessen overføres vibrationerne fra øverste emnehalvdel til emnets midte, hvor de to emnehalvparter mødes.

På grund af trykket opstår der meget hurtigt en kraftig friktion, hvor de to emnehalvdele støder mod hinanden. I løbet af en brøkdel af et sekund smelter plastemnerne sammen.

Lydbølger dæmpes meget hurtigt i plastmaterialer. Derfor skal svingningerne koncentreres meget tæt på svejsestedet. For at sikre denne koncentration påskrues der et såkaldt svejsehorn på maskinen. Svejsehornet, som specialfremstilles til opgaven, virker som en stemmegaffel ved at overføre vibrationerne fra maskinen til plastemnet.

Ved små amplituder kan svejsehornet være af aluminium, hvorimod der kræves specialstål eller titan ved opgaver med stor amplitude.

Ultralydssvejsning kan kun udføres ved termoplastiske materialer.

Amorfe plastmaterialer som PS, PVC (stiv), PC, SAN osv. besidder overordentligt gode akustiske egenskaber og er derfor meget velegnet til svejsning med ultralyd. Disse materialer er i stand til at overføre ultralydsenergien over en afstand på op til 100 mm fra svejsehornets trædeflade til emnets delelinje. Ved SAN kan afstanden endog være op til 300 mm.

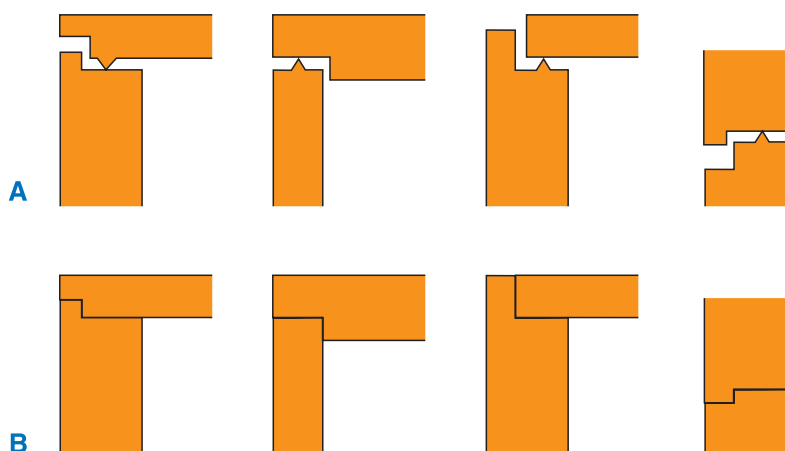
Delkrystallinske materialer som PA, POM og PE kræver mere energi, større amplitude og større tryk fra svejsehornet for at kunne ultralydsvejses. Samtidigt kræves det, at afstanden fra hornet til delelinjen ikke er større end 2-3 mm. Bliver den større, vil tydelige mærker fra svejsehornet kunne ses.

De bedste resultater med ultralydssvejsning opnås, når de emner, der skal sammensvejses, fremstilles med en såkaldt svejseleder. Det er en spids, som er udformet som en tagryg med en højde på 0,3-0,5 mm. Under svejsningen vil svejsecyklussen starte på et lille areal på svejselederens spids, hvorefter plastificeringen lynhurtigt vil brede sig til svejselederens rod og videre.

Ultralydssvejsning anvendes ligeledes til punktsvejsning, hvor man ønsker to tynde plastplader svejst sammen.

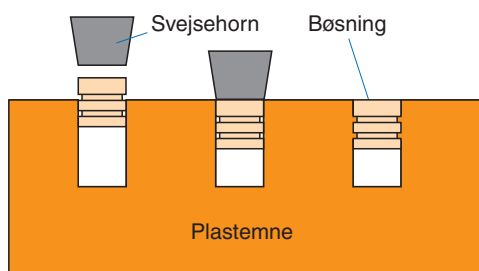
En anden udbredt anvendelse af ultralydssvejsning i forbindelse med plast er ved svejsning af metalnitter eller gevindbøsninger i plastemner.





Typen af svejseledere ved ultralydssvejsning

- A. Før svejsning.
B. Efter svejsning.



Svejsehornet overfører her vibrationerne til bøsningerne, som ofte er fremstillet af messing. Bøsningen presses ned, og vibrationerne får plasten omkring den til at smelte. Riller eller recesser på den udvendige side af bøsningen fyldes herved med smeltet plast, hvorved den efter afkøling sætter sig fast.

Isætning af messingbøsning i plastemne

Limning

Limning af plast benyttes til sammenføjning af emner, hvor der ønskes en fast forbindelse på samme måde som ved svejsning.

Der er flere fordele ved at benytte limning. Her skal nævnes nogle af de væsentlige:

- Giver mulighed for simple konstruktioner
- Giver mulighed for at sammenføje forskellige materialer fx plast og metal
- Limfugen kan gøres luft- og væsketæt
- Limfugen har lav vægt
- Limfugen kan udføres med pæn finish og er praktisk talt usynlig
- Det er forholdsvis enkelt at lære at lime
- Der kræves generelt ingen dyre værktøjer
- Spændingerne i sammenføjningen fordeles over hele limfladen

Af ulemper ved limning kan nævnes:

- Der kræves en meget nøjagtig tilpasning af limfladerne
- Der kræves omhyggelig rengøring af limfladerne
- Limning kræver relativt lang tid, førend sammenføjningen er stærk
- De fleste lime indeholder opløsningsmidler, hvilket kræver speciel indretning af arbejdspladsen

Generelt kræves det, at limen skal være flydende, i det øjeblik den anvendes, for at kunne væde limfladerne. Der kan ikke dannes bindinger mellem limen og de emner, som ønskes limet, hvis ikke overfladen vædes.

En limfuge, som ikke er totalvædet, fx hvis overfladen er for ru, vil give en svagere samling end en limfuge, som er totalvædet. Årsagen hertil er, at der vil være luftlommer, som ikke bliver fyldt op med lim.

Er overfladen meget ru, eller har limen høj viskositet (tyktflydende), kan en temperaturforøgelse fremskynde udbredelsen af vædningen. Ligeledes vil et tryk på limsamlingen under limens hærkning have en gunstig effekt, da limen derved vil presses ned i eventuelle luftlommer.

Forenklet findes der to forskellige grupper af limtyper:

- Kemisk størknende limtyper
- Limtyper med opløsningsmiddel

Ved limning med kemisk størknende limtyper sker hærkningen ved en kemisk reaktion. Denne limtype kaldes ofte for hærdelim og inddeles i 1-komponent, 2-komponent samt kold- og varmhærdende lime. Af kendte limtyper af denne art kan nævnes polyurethanlim og epoxybaseret lim. Disse typer af lim kan anvendes, hvor det ikke er muligt at opløse overfladen af plastemnerne med opløsningsmiddel, eller hvor der ønskes en elastisk limsamling.

Ved limtyper med opløsningsmiddel angriber limen plastoverfladen rent fysisk. Limbindingen ved denne type ligger som en polymer, opløst i et opløsningsmiddel. Når opløsningsmidlet fordamper, overgår limen til fast form.

Hvilken limtype der bør anvendes, afhænger af materialekombinationen samt den ønskede styrke og elasticitet.

Opløsningsmiddel-lim giver den stærkeste samling, hvorfor denne limtype foretrækkes. Det gælder specielt ved limning af amorfe termoplast fx PVC, PC, PS og PMMA.

Generelt gælder, at plastmaterialer, som kan opløses, kan sammenføjes ved limning.

Det er vigtigt, at en vis mængde af plasten opløses for at limfugen ikke kun dannes af et delvist opløst overfladelag, men at der også tilføres limfugen lidt materiale.

Når opløsningsmidlet er fordampet, er limfugen lige så stabil som det homogene materiale. Man skal dog være opmærksom på, at der kan opstå spændingsrevner.

For plastmaterialer, som er modstandsdygtige over for opløsningsmidler, fx PE, PP og PB, sker limsamlingen med en af de øvrige limtyper. Disse limsamlinger medfører ingen molekylær sammenbinding mellem fladerne. Det anbefales derfor at benytte forstærkende elementer som fx ribber, underskæringer og knopper i forbindelse med limfugen.

Ved udformningen af limfugerne bør det tilstræbes, at belastningen på samlingen kun giver anledning til forskydningspænding i samlingsretningen.

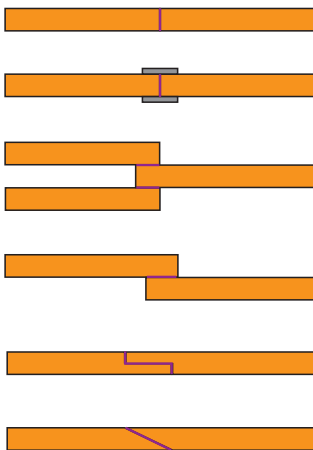
Påvirkninger vinkelret på limfugen kan resultere i, at samlingen flækker.

Al limning kræver god ventilation og/eller beskyttelse med åndedrætsværn, da indånding af limdampe kan være sundhedsskadeligt.

Limning med epoxybaseret lim kræver ligeledes, at man har gennemført et særligt epoxykursus.

I tabellen herunder ses affedtningsmiddel, forbehandling samt limtyper for en række af de mest anvendte plastmaterialer.

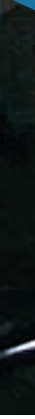
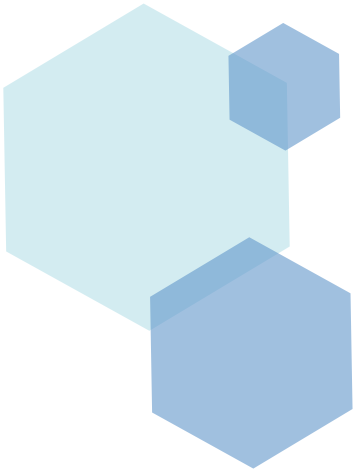
Er man i tvivl om en lims anvendelighed til en given opgave, bør man kontakte limproducenten.



Eksempler på udformning af limsamlinger

Valg af limtype m.m.

Materiale	Affedtningsmiddel	Forbehandling	Limtype
PE	Acetone eller methylethylketon	Flamme eller corona	Epoxy, polyurethan, kontaktklæber (ingen opløsningsmiddel)
PP	Acetone eller	Flamme eller corona methylethylketon	Epoxy, polyurethan, kontaktklæber (ingen opløsningsmiddel)
PA	Acetone eller methylethylketon	Slibning eller primning med recorcinol/ formaldehyd-lim	Polyurethan, epoxy Myresyre, phenol, resorcin
POM	Acetone eller methylethylketon	Chromsyre (ingen opløsningsmiddel)	Epoxy, cyanoacrylat
PVC, stiv	Methylethylketon	Slibning eller primning med nitril-phenol-lim	Cyanoacrylat, polyurethan Cyclohexanon, tetrahydrofuran
PVC, blød	Methylethylketon	Slibning eller primning med nitril-phenol-lim	Cyanoacrylat, polyurethan Tetrahydrofuran
PS	Methanol eller isopropanol	Slibning	Cyanoacrylat, nitrilgummi Benzen, butylacetat, methylenchlorid
ABS	Acetone	Slibning eller ætsning med chromsyre	Polyurethan, epoxy Methylethylketon, methylisobutylketon
PMMA	Acetone, methanol	Slibning	Polyvinylacetat, cyanoacrylat Ethylenchlorid, methylethylketon



SPÅNTAGNING



Drejning af plastemne

Spåntagende bearbejdning er en formgivende proces, hvor der fjernes materiale fra et emne. Det kan ske manuelt eller maskinelt.

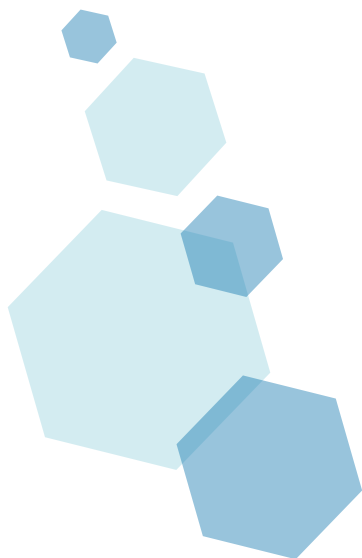
Spåntagning har i mange år været en velkendt bearbejdningsmetode inden for metalindustrien. Det er stort set de samme typer af maskiner, der anvendes til bearbejdning af stål, som også bruges til spåntagning af plast. Oftest vil man dog udskifte den skærende del af værktøjet, når der skiftes materiale fra stål til plast.

De spåntagende bearbejdningsteknikker kan være drejning, fræsning, boring eller savning.

Næsten alle plastmaterialer er mulige at bearbejde spåntagende - enten manuelt med almindelige håndværktøjer eller maskinelt med almindelige værktøjsmaskiner. Men plast er forholdsvis blødt og meget temperatur- og kærvelsomt.

Mange har fejlagtigt den opfattelse, at plast kan bearbejdes med alle typer skærende værktøjer; ”der skal bare rykkes nogle spåner af og allerhelst på fulde omdrejninger”. Resultaterne bliver oftest derefter. Det kan være temmeligt vanskeligt at overholde fine tolerancer, og overfladen bliver ikke som ønsket.

En forkert konstruktion med skarpe hjørner eller recesser på emnet giver ligeledes negative resultater. Dette har gjort, at mange gennem tiden har nedgjort plastmaterialers spåntagende egenskaber.



Vil man bearbejde plast ved en spåntagende proces, bør det gøres med nøjagtigt lige så stor omhu ved valg af stål/fræser, skæredata, kølemiddel og tolerancer som ved bearbejdning af stål.

Sammenlignet med stål kan det være svært at bearbejde plast, hvor der kræves snævre tolerancer. Det skyldes bl.a., at der ved bearbejdning af plast optræder forholdsvis store elastiske spændinger.

Plastmaterialer har ligeledes meget stor varmeudvidelseskoefficient, hvilket gør, at målene ændres selv ved små temperatursvingninger.

Det kan være vanskeligt at foretage præcise opmålinger af emner i bløde plastmaterialer. Måleværktøjet kan medføre små deformationer eller sammentrykning af plasten, hvilket vil give fejlagtige måleresultater.

Fugtoptagelse i materialet kan ligeledes være et problem for visse plasttyper. Fænomenet med fugtoptagelse er mest kendt ved PA (nylon), hvor målene på emnet ændres væsentligt fra tør til fugtig tilstand.

Ovenstående forhold gør, at man generelt ved fastlæggelse af mål inden for plastforarbejdning bør undgå finere tolerancer end $\pm 0,05$ mm.

Efterfølgende tabel viser retningsgivende skærehastigheder og tilspændinger ved drejning, fræsning, boring og savning i de mest anvendte plasttyper.

Retningsgivende skærehastigheder (V) og tilspændinger (S) for spåntagende bearbejdning

	Drejning		Fræsning		Boring		Savning	
	V (m/min.)	S (mm/omdr.)	V (m/min.)	S (mm/tand pr. omdr.)	V (m/min.)	S (mm/omdr.)	V (m/min.) Rundsav	V (m/min.) Båndsav
ABS	200-500	0,2 -0,5	300-500	< 0,5	50-200	0,2-0,3	1.000	300
PVC	200-500	0,1 -0,3	1.000	< 0,5	30- 80	0,1-0,5	2.000-4.000	500-1.500
PEHD	250-500	0,1 -0,5	250-500	< 2,0	50-150	0,1-0,3	2.000	500
PP	250-500	0,1 -0,5	250-500	< 2,0	50-150	0,1-0,3	2.000	500
PA	250-500	0,1 -0,5	250-800	< 0,5	50-150	0,1-0,5	1.000-2.000	500
POM	300-600	0,1 -0,4	250-500	< 0,5	50-200	0,1-0,5	1.000-2.000	500-800
PET	300-400	0,1 -0,3	200-500	< 0,5	50-100	0,2-0,3	1.000-2.000	800
PTFE	300-500	0,05-0,25	300-500	< 0,5	300-500	0,2-0,4	1.000	300
PEEK	300-600	0,1 -0,4	250-500	< 0,5	50-200	0,1-0,3	1.000-3.000	500-800

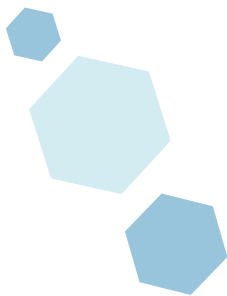
Drejning

Alle typer af drejebænke kan anvendes ved drejning af emner i plast. Både de traditionelle drejebænke og CNC-drejebænke (CNC står for Computerized Numerical Control). Det kræves dog af drejebænken, at det skal være muligt at sætte omdrejningstallet højt.

Maskinen skal være stabil og have minimalt slør. Ligeledes skal man være opmærksom på, at der ved opspænding i centrerpatronen er risiko for at deformere plasten. Centrerpatronen er den del af maskinen, som holder emnet fastspændt under bearbejdningen. Spændkraften skal ikke være så stor som ved opspænding af metal. Spændes et emne hårdt i centrerpatronen, og der bores et cylindrisk hul i emnet, vil der være stor risiko for, at hullet bliver trekantet, når emnet tages ud af maskinen.

Den sikreste og mest ensartede opspænding i drejebænken opnås ved at bruge hydraulisk eller pneumatisk centrerpatron.

Det er ligeledes en fordel at benytte ”bløde klør”, som er drejet, så diameteren på klørerne passer nøjagtigt til emnets udvendige diameter. Her ved fordeles spændetrykket over et langt større areal.





CNC-drejebænk

(A/S Kurt Rasmussen
Værktøjsmaskiner)

CNC-drejebænke er meget anvendt til spåntagning af plast.

Det kan ved drejning af plast ofte være nødvendigt at støtte den frie del af emnet under bearbejdningen. Hertil anvendes en pinoldok og en rullepinol, som støtter centrum af emnet. Ved drejning af emner, hvor der er behov for at bruge pinolstøtte, skal man sikre, at pinoltrykket ikke bliver for stort. I modsat fald risikerer man, at diameteren midt på emnet og i enderne bliver forskellige, da emnet vil bøje af.

De virksomheder, der har CNC-maskiner i deres maskinpark, vil til langt de fleste opgaver foretrække disse.

Programmeringen af et emne til en CNC-drejebænk er forholdsvis enkel.

Der er trinløs regulering af omdrejningstallet, således at der arbejdes med konstant skærehastighed, hvilket giver optimal hastighed og god overflade på emnet.

Der er automatisk værktøjsskift, hvor der skiftes til et andet stål i løbet af ganske få sekunder.

Køling af emnet programmeres til at tændes og slukkes, således at der altid er optimal køling.

Der er som regel hydraulisk centerpatron og pinol, som kan justeres, således at der bliver spændt med den nødvendige kraft, og at det gøres ens hver gang.

Traditionel drejebænk

(A/S Kurt Rasmussen
Værktøjsmaskiner)



CNC-drejebænkene har ligeledes en udformning, som sikrer stor stivhed og stabilitet ved høje hastigheder.

De traditionelle drejebænke er dog fortsat de mest udbredte på de fleste fabrikker og værksteder. De er væsentligt billigere i indkøb end CNC-drejebænkene, og er det mindre serier, der skal produceres, eller emner med en enkel udformning, vælger mange at fremstille dem på en traditionel drejebænk.

Bliver drejebænken anvendt korrekt, kan der laves kvalitets- og præcisionsarbejde, som er fuldt på højde med det, som kan fremstilles på en CNC-drejebænk.

Der kan på drejebænken eventuelt påmonteres digitalt måleudstyr, som på 1/100 mm

viser, hvor stor spån der tages af emnet.

Tidligere var det nødvendigt selv at slibe drejestålet i high-speed-stål (HS-stål), hvis man skulle dreje i de bløde plasttyper, idet stålet skal være meget skarpt.

Det kræver nogen erfaring og er forholdsvis tidskrævende at fremstille sit eget drejestål. I dag kan der købes færdigfremstillede drejeplatter til næsten alle typer af plastmaterialer og i en lang række forskellige udformninger. De fremstilles i hårdmetal eller keramik og har meget høj kvalitet. Ligeledes har de stor slidstyrke, hvilket er nødvendigt ved drejning i fiberforstærkede plast.

De fleste virksomheder, som ved drejning producerer emner i plast, vælger derfor nu at købe platter frem for selv at slibe drejestålet. Er det meget specielle opgaver eller geometrier, kan det dog stadig være nødvendigt at slibe et HS-drejestål.

Hårdmetalplatter

(Sandvik Coromant)



Eksempel på udregning af omdrejningstal

Et emne med en diameter på 50 mm ønskes drejet. Emnet skal fremstilles i POM. Skærehastigheden aflæses i tabellen "Retningsgivende skærehastigheder og tilspændinger for spåntagende bearbejdning" til 300-600 m/min. (vi vælger 450 m/min.).

$$n = \frac{450 \times 1.000}{\pi \times 50} = 2.865$$

Skærehastighedsberegninger ved drejning

Følgende formel kan bruges til beregning af skærehastighed og omdrejningstal ved drejning:

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1.000}$$

$$n = \frac{V \times 1.000}{\pi \times d}$$

V = skærehastighed i m/min.
d = emnets diameter i mm
n = omdr./min.

Skærehastigheden findes ud fra det valgte plastmateriale i tabellen "Retningsgivende skærehastigheder og tilspændinger for spåntagende bearbejdning" tidligere i dette kapitel.

Fræsning

De typer af fræsemaskiner, som kendes fra bearbejdning af metal, kan ligeledes anvendes ved fræsning af plast. Et krav er dog, at maskinen kan køre hurtigt - dels i omdrejninger på fræsere og dels i tilspænding på planet. Kravene gælder både for traditionelle fræsere og CNC-styrede bearbejdningscentre.

Før et CNC-styret bearbejdningscenter vælges til en given produktion, bør serien af emner, der skal fremstilles, dog ofte have en vis størrelse, idet det er forholdsmæssigt tidskrævende at programmere på et bearbejdningscenter.

På en del virksomheder er der mulighed for gennem et CAD/CAM-anlæg at overføre computerfremstillede tegningsfiler direkte fra konstruktørens tegnebord til maskinen. Undervejs bliver tegningen ændret til et program med bearbejdningsdata, som maskinen kan læse.

Operatøren af bearbejdningscentret skal efterfølgende blot foretage enkelte korrektioner samt opspænde de skærende værktøjer og emnet, inden produktionen sættes i gang.

Bearbejdningscentrene indeholder automatiske værktøjsvekslere, således at der kan opspændes alle de værktøjer/fræsere i maskinen, som er nødvendige for at fremstille det pågældende emne. Ved en bestemt kode i programmet skifter maskinen automatisk til et andet værktøj, som er ønsket.

Ved denne produktionsform kan der let laves emner med udformninger eller geometrier, som det vil være uhyre tidskrævende eller direkte umuligt at fremstille på traditionelle fræsemaskiner.

Moderne bearbejdningscenter til fræsning (A/S Kurt Rasmussen Værktøjsmaskiner)



Maskinen kan programmeres til at arbejde i tre dimensioner (X-, Y- og Z-akserne).

Til opspænding på en fræsemaskine anvendes maskinskruestik, eller emnet kan opspændes direkte på fræserplanet.

En speciel emneudformning kan ligeledes kræve, at der specialfremstilles en fikstur, hvori emnet holdes fastspændt under bearbejdningen.

Det skal tilstræbes at opspænde emnet så tæt som muligt på de områder, som skal bearbejdes.

Tynde emner vil kunne "give sig" under fræsningen, hvorved der fjernes materiale, som ikke var tiltænkt fjernet.

Det kan ved tynde emner være en fordel at spænde disse op i et vakuumplan, hvor emnet suges ned og holdes fast på hele bundfladen.

Som ved drejebænkene har de traditionelle fræsemaskiner stadig stor udbredelse.

Programmering af et bearbejdningscenter kan være ret omfattende, og er det enkelte styk eller mindre serier, der fremstilles, vælger de fleste fortsat den langt billigere traditionelle fræsemaskine. Ønsker man her større præcision, kan der som ved drejebænken påmonteres digitalt måleudstyr, som kan måle i de tre akser X (på langs), Y (på tværs) og Z (op og ned).



Traditionel fræsemaskine

(A/S Kurt Rasmussen
Værktøjsmaskiner)

Traditionelle fræsemaskiner er udbredt til fremstilling af enkle plastemner.

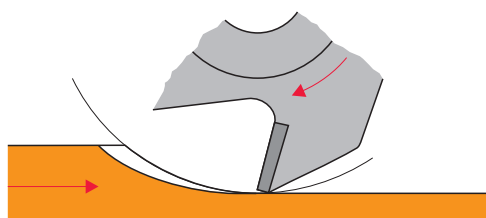
Til fræsning i plast kan bl.a. anvendes:

- Hårdmetalfræsere
- Endeplansfræsere
- Savfræsere
- Knivhoved
- Rodehoved
- Skivefræsere
- Profilfræsere

De skærende værktøjer, som anvendes til fræsningen i plastmaterialer, er oftest af samme type, som der benyttes til fræsning i metal.

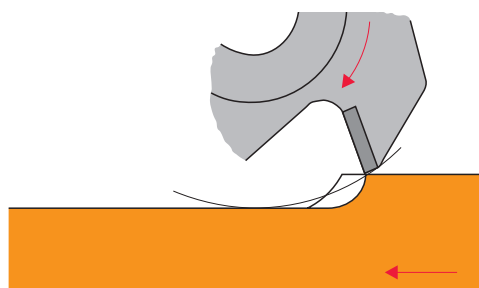
Det kræves, at værktøjerne er 100 % skarpe, hvis man vil have et godt resultat og få en pæn overflade, men også for at kunne overholde givne tolerancer.

Ved alle former for fræsning skelnes der mellem med- eller modfræsning, afhængigt af emnets bevægelse gennem fræseren. Figurerne herunder viser forskellen på de to former.



Modfræsning

Emnet bevæges mod fræserens rotationsretning



Medfræsning

Emnet bevæges med fræserens rotationsretning

Eksempel på udregning af omdrejningstal

Et PP-emne ønskes bearbejdet ved fræsning. Der skal planes, hvortil der er valgt et knivhoved med en diameter på 100 mm. Knivhovedet er monteret med otte hårdmetalplatter.

Skærehastigheden aflæses i tabellen "Retningsgivende skærehastigheder og tilspændinger for spåntagende bearbejdning" til 250-500 m/min. (vi vælger 250 m/min.).

Maskinen indstilles på den værdi, som ligger nærmest det udregnede.

$$n = \frac{250 \times 1.000}{\pi \times 100} = 796$$

Eksempel på udregning af tilspænding

I tabellen "Retningsgivende skærehastigheder og tilspændinger for spåntagende bearbejdning" aflæses tilspænding pr. tand pr. omdrejning til < 2,0 (vi vælger 0,5 mm/tand pr. omdr.)

Modfræsning slider mere på værktøjet end medfræsning. Endvidere kan man ved modfræsning opleve, at emnet løftes fra planet.

Men medfræsning stiller væsentligt større krav til maskinen og opspændingen, idet man kan risikere, at emnet rykkes gennem fræseren.

Er der slør i maskinen, vil man kunne se det som hakker i emneoverfladen efter fræsningen.

Det er ikke muligt at anbefale en bestemt form for fræsning, idet det afhænger af maskine, værktøj, materiale og opspænding.

Skærehastighedsberegning ved fræsning

Skærehastigheden angiver den periferihastighed, hvormed emnet og værktøjet bevæger sig i forhold til hinanden. Skærehastighed (og omdrejningstal) udregnes med samme formler som ved drejning:

$$V = \frac{\pi \times d \times n}{1.000}$$

$$n = \frac{V \times 1.000}{\pi \times d}$$

V = skærehastighed i m/min.
d = emnets diameter i mm
n = omdr./min.

Skærehastigheden findes ud fra den aktuelle plast i tabellen "Retningsgivende skærehastigheder og tilspændinger for spåntagende bearbejdning" tidligere i dette kapitel.

Tilspændingsberegning ved fræsning

Tilspændingen angiver den hastighed, hvormed emnet bevæges gennem værktøjet. Jo større hastighed, des tykkere bliver spånen.

Tilspændingen udregnes ved hjælp af følgende formel:

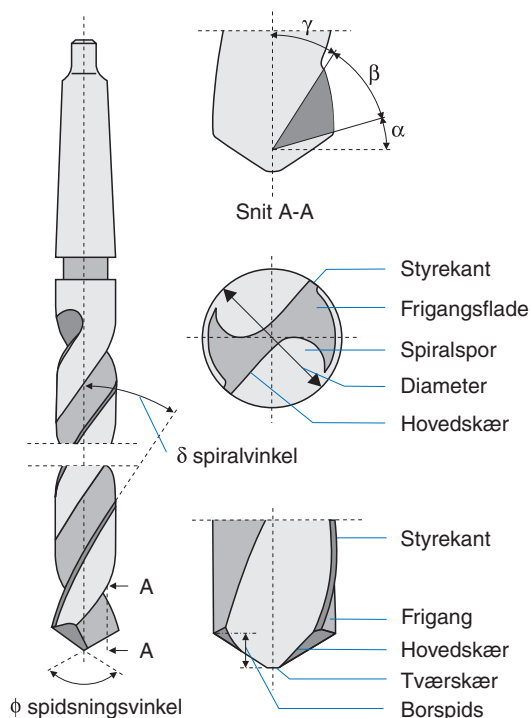
$$S' = S \times z \times n$$

S' = tilspænding i mm/min.
S = tilspænding i mm/tand pr. omdr.
z = antal tænder
n = omdr./min.

At der fra tabellen til aflæsning af skærehastighed og tilspænding er valgt de laveste værdier i forhold til den anbefalede, retningsgivende værdi, skyldes, at det er forholdsvis store hastigheder, der bliver fundet ved udregningen.

Det er ikke alle maskiner, som er i stand til med et stort knivhoved at arbejde stabilt ved høje hastigheder. Ligeledes er det ikke alle maskiner, som kan opnå en tilspænding på over 3.000 m/min. Man må da vælge den nærmeste værdi på fræsemaskinen.

$$S = 0,5 \times 8 \times 796 = 3.184 \text{ mm/min.}$$



Spiralbor med diverse vinkler og betegnelser for borets geometri

Boring

Boring i plast med spiralbor kan foregå på en søjleboremaskine, en fræsemaskine eller ved cylindriske emner på en drejbænk.

Boring er en skrubbearbejdning, hvor resultatet er meget afhængigt af borets slibning og opspændingen af emnet i den maskine, man har valgt til opgaven.

Det er vigtigt, at man under boringen sørger for, at spånen ikke pakker sig i hullet. Der vil, hvis dette sker, udvikles varme, således at plasten evt. smelter. Det vil give en dårlig overflade og kan få indflydelse på hullets færdige mål. Det er derfor vigtigt, at man under boreprocessen løfter boret fri af hullet for at tømme spåner af.

Ved boring af huller større end $\varnothing 12$ mm bør der altid bores for med et mindre bor.

Ligeledes bør der anvendes pinolbor til centrering af huller, der skal placeres præcist.



Pinolbor til centrering af hul

Spidsningsvinklen ϕ på spiralboret bør ændres, afhængigt af hvilke plasttyper der skal bores i.

I nedenstående tabel kan anbefalede spidsningsvinkler aflæses.

Anbefalede spidsningsvinkler ved spiralbor

Materiale	Spidsningsvinkel ϕ (°)
ABS	100 - 130
PVC	80 - 110
PE	ca. 130
PP	ca. 130
PA	60 - 90
POM	60 - 90
PET	110 - 130
PTFE	ca. 130
PEEK	100 - 130

Spånvinklen, som har indflydelse på borets evne til at fjerne spånen fra materialet, bør ændres, afhængigt af hvilket materiale der bearbejdes.

Langspånedede materialer som PA, PVC (blødgjort) og PE bores med bor med stor spånvinkel.

Spiralbor, som anvendes til kortspånedede materialer som PMMA, PS, PVC (stiv) og POM, bør have lille spånvinkel.



Søjleboremaskine

(A/S Kurt Rasmussen Værktøjsmaskiner)

Gevindskæring

Gevindskæring i plast foregår enten ved skæring med gevindtap/-bakke i hånden, med maskintap eller med stål på en drejebænk.

Man skal være meget opmærksom ved alle former for gevindskæring i plast, da det i princippet er en kær, man lægger i plasten for hver "rynke" i gevindet. Derfor bør tappe med afrundede skær foretrækkes.

Man bør undlade at skære gevindet helt i bund i et emne, hvor der ikke er gennemgående huller. Der vil kunne opstå spændinger i bunden, som senere vil kunne resultere i, at emnet revner.

Beregning af diameter ved gevindskæring

Eksempel

M 30 × 1,5

M = metrisk gevind
30 = gevindets udvendige diameter
1,5 = stigningen på gevindet

Ved udvendigt gevind drejes emnet til den diameter, som er gevindbakkens nominelle størrelse. I dette eksempel skal akslen derfor være ø30 mm, inden gevindet skæres.

For at finde hulstørrelsen til indvendigt gevind, trækkes stigningen fra gevindets udvendige diameter. Det vil i ovenstående eksempel sige, at hullet skal udbores til ø28,5 mm, inden gevindet skæres.

Køling

Det er vigtigt, at spånen straks kan fjernes fra emnet under processen. Hvis ikke det sker, vil en spånophobning fx ved udboring af et hul meget hurtigt brænde varm og smelte til emnet. Det vil selvsagt give en meget dårlig overflade.

Der er ligeledes fare forbundet ved arbejdet, hvis lange spåner, som kommer, når der arbejdes i fx PA, ikke umiddelbart fjernes. Spånerne vil lynhurtigt vikle sig omkring emnet eller stålet/fræseren, og der opstår risiko for, at spånbakken "tømmes" op omkring emnet.

Der er flere måder at fjerne spånerne på. Kølemiddel vil, samtidigt med at det køler emnet, have en spulende effekt, så spånerne skylles ud og væk fra emnet.

Man skal dog være opmærksom på, at visse materialer ikke kan tåle kølemiddel. Det vil kunne angribe plasten som et opløsningsmiddel og give spændingsrevner i emnet.

Trykluft vil som kølemidlet også kunne fjerne spånen og køle emnet samtidigt på en billig og enkel måde. Der opnås dog ikke samme kølende effekt med trykluft ved emner med stor godstykkelse. Ligeledes giver trykluft en høj, irriterende, susende lyd fra sig, hvilket kan være meget generende at arbejde ved.

Ved både de kort- og langspånedede materialer er der mulighed for at suge spånen væk gennem et rør, som monteres lige over emnet. Røret følger stålet ved drejning eller monteres ved fræsning i umiddelbar nærhed af fræseren. Spånen suges eller blæses ind i røret og ud i en spånbakke eller vogn, som står ved siden af maskinen. Det er en meget enkel måde at komme af med spånen på, men man skal specielt ved langspånedede materialer være meget opmærksom på, at spånafgangen ikke stoppes. Spånerne vil i det tilfælde meget hurtigt vikle sig omkring emnet eller værktøjet.



Savning

Når et plastemne skal deles, eller en stang eller plade skal overskæres, foregår det ofte ved savning.

Savklingen kan være af legeret værktøjsstål, hvor tænderne er hårde, og selve klingen er blød, eller den kan fremstilles af high-speed-stål, som er væsentligt hårdere og mere slidstærkt. Der findes allround- klinger, som er anvendelige til både metal og til plast. Men i dag fremstilles der klinger, som er specielt egnet til plast. De er meget skarpe, men også meget dyrere end de traditionelle klinger.

Ved savning i plast skal man sikre, at fortandingen ikke er for fin, da spånerne ellers meget hurtigt vil fylde mellemrummet mellem tænderne ud og derved give en dårlig bearbejdning.

Ved overskæring af rør eller profilmaterialer bør man sikre, at 2-3 tænder hele tiden er i indgreb, da klingen ellers hugger i og ødelægger emnet.

Ved savning af rette snit og i emner med en større godstykkelse er rundsavn særligt velegnede og giver en pæn snitflade.

Det kan give problemer, hvis der skal saves i tyndere emner eller emner af sprøde plastmaterialer. Her kræves der særligt god understøtning.

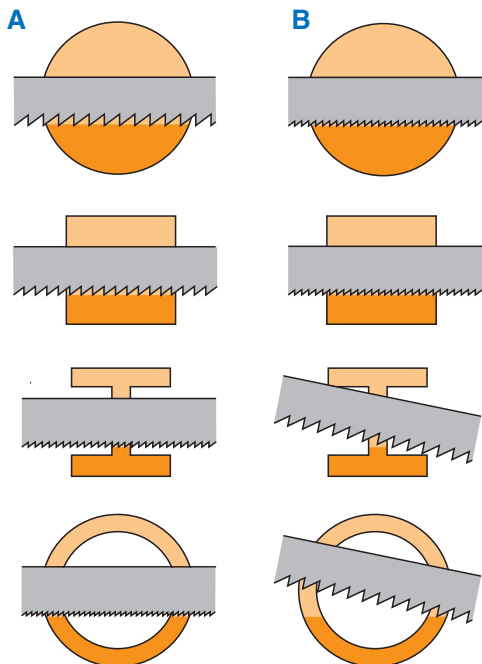
Ved tynde emner eller rør vælger man dog ofte båndsave. De tynde klinger er her ført gennem en stilbar opspændingsanordning (eventuelt kipbar plan).

Snitfladen bliver efter savning med båndsav dog ikke så jævn og pæn som efter savning med rundsav, og det kræver oftest efterbehandling.

Valg af tandantal

A. Korrekt

B. Forkert



Båndsavklinger til skæring af plast



Afkortning af plastemne

Til gennemskæring af røremner benyttes bimetal i kvalitet M 42 med variabel fortanding. Bimetal findes i bredde 13, 20, 27, 34 og 41 mm. Fortanding: 2/3, 3/4, 5/8, 6/10, 8/12 og 10/14. Hastighed på klinge: 100-500 m/min. (F. C. LARSEN SAVKLINGER A/S)



Vandret båndsav

Til skæring af støbte plastemner. Til vandret skæring benyttes N-tandform eller pyramidetandform. Fremstilles i alle dimensioner. Hastighed på klinge: 700-1.200 m/min. (F. C. LARSEN SAVKLINGER A/S)



Lodret båndsav

Oftest anbefales en meget tynd klinge. Dimension: 6 x 0,36, 10 x 0,36, 12 x 0,36 eller 15 x 0,36. Anvendes til skæring af støbte plastemner. Hastighed på klinge: 700-1.500 m/min. (F. C. LARSEN SAVKLINGER A/S)

Tabeloversigt

Plastpolymerer ordnet efter deres glas- overgangstemperatur	42	Snekkens data ved forskellige materialer	322
Kritisk tøjning og kritisk spænding hos PC ved kontakt med spændingsrevneudløsende væsker (kalibreringsvæsker)	57	Gængedybdeforholdet for snekken ved forskellige materialer	322
Systematisk inddeling af plastpolymererne efter deres molekylstruktur, oprindelse og tilstandsform	61	Fortørringstider og fortørringstemperaturer for fugtfølsomme materialer	356
Omtrentlige prisindekser for de almindeligste plast	62	Ændring af slangediameter i forhold til dysediameter	397
Massefyldeintervaller og krystallinske smeltepunkter hos polyolefinerne	64	Anbefalet formtemperatur afhængig af materiale (blæsestøbning)	404
Polyamidernes krystallinske smeltepunkter	78	Fejlfindingsskema (blæsestøbning)	409
Glasovergangstemperatur og krystallinsk smeltetemperatur af POM	80	Plasttyper til blæsestøbning	414
Kemisk sammensætning af A-, C- og E-glas	116	Sammenligning af de forskellige varmeelementtyper	431
Fiberarrangement og -mønstre	119	Varmeovergangsværdier for forskellige kølemetoder	444
Egenskaber af fibervæv med flere fibertyper	120	Sugehuller (Termoformning)	446
Halvfabrikata af fibre og matrix	123	Egenskaber ved termoformmaterialer	453
Tekstilparametre	124	Fejlsøgning ved vakuumformning	457-458
Vævemønstre og deres parametre	125	Fejlsøgning ved trykluftformning	459-460
Sammenlignelige egenskaber af carbonfibre	128	Vedhæftning, polyester	479
Typiske egenskaber af aramidfibre	128	Valg af kornstørrelse (slibning)	480
Karakteristiske fremstillingsforhold ved forskellige fibermaterialer	129	Gelcoatfejl, årsager og afhjælpning	483-486
Fiberegenskaber	130	Polyurethantyper	488
Egenskaber ved epoxyplastlaminater med 50 volumenprocent ensrettede fibre	132	Råvarer til PUR-fremstilling	492
Godtykkelsen og den tilhørende gods- tykkelsesfaktor	181	De mest almindeligt anvendte opskunnings-/drivmidler	493
Udvalgte materialers flydetalsfaktor	181	Oversigt over driftsfejl og årsager (polyurethanstøbning)	512
Maskinkort	194	Opskunnings-/drivmiddel	515
Definitioner af svind	272	Sammenligning mellem injektionsstøbning, kompressions- og transferformning	529
Temperaturindstilling ved sprøjtstøbning (afhængig af materialetype)	279-283	Gummityper og deres egenskaber	533
Generelle oplysninger om termoplast	288	Valg af limtype m.m.	545
Fremstillingsprocesser ved ekstrudering	301	Retningsgivende skærehastigheder og til- spændinger for spåntagende bearbejdning	548
Vedhæftningsevne ved coekstrudering	309	Anbefalede spidsningsvinkler ved spiralbor	553

Stikord

2K støbning 293
3K støbning 293

A

A-glas 115
Abrasion 165
ABS 71, 281, 285
ABS, anvendelse 72
ABS, egenskaber 71
ABS, forarbejdningstekniker 72
ABS, handelsnavne 72
Absorptionsgrad 429
Accelerator 100, 101
Acetalplast 79
Acrylnitril-butadien-styren-copolymer 71
Acrylnitril-styren-acrylat-copolymer 72
Acrylplast 76
Acrylplast, anvendelse 77
Acrylplast, egenskaber 76
Acrylplast, forarbejdningstekniker 77
Acrylplast, handelsnavne 77
Additionspolymerisation 19
Additiver 28, 291
Additiver, brandhæmmende 59
Additiver, PUR 494
Additiver, styrenfordampningshæmmende 103
Adiabatisk ekstruder 343
Adiabatisk ekstrudering 310
Afblandede kølekanaler 268
Affaldshåndtering, polyurethanstøbning 513
Afformning 178
Afformning, praktiske råd 435
Afformning, termoformning 433
Afformningsfunktion 261
Afformningshastighed 434
Afformningshjælp 434
Afformningstemperatur 433
Afformningstiden 100
Afgasnings-/afdampningszone 313
Afgasningszone 323
Afklip 400
Afkorter 374, 380, 382
Afriverplade 263
Afrivering 263
Afrundet, trapezformet tværsnit, fordelerskanal 258
Afskærmning 208
Afskærmning ved dyse 208
Afstryger 406
Aftapning af rågummi 523
Aftagelser fra ekspansionsreglen 277
Akkumulering i ekstruder 411

Alternative sprøjtestøbeteknikker 294
Amidbaserede TPE 95
Amider 30
Aminer 29
Aminoplast 111
Amorf 22
Amorfe polymerer 23
Amperemeter 325
Amplitude 542
AMU 15
Anisotrop 45
Anisotropi, 27, 438,
Antalsmiddelværdien 26
Antioxidanter 29, 292
Antistatika 34
Antistatmidler 33
Anvendelse, ABS 72
Anvendelse, acrylplast 77
Anvendelse, ASA 72
Anvendelse, blødgjort PVC 75
Anvendelse EP, 107
Anvendelse EPS, 70
Anvendelse, fluorplast, 87
Anvendelse, GUP 133
Anvendelse, MF 114
Anvendelse, PA 79
Anvendelse, PAS 90
Anvendelse, PBT 82
Anvendelse, PC 86
Anvendelse, PE 66
Anvendelse, PES 89
Anvendelse, PET 82
Anvendelse, PF 110
Anvendelse, plast 12
Anvendelse, PMMA 77
Anvendelse, PMP 67
Anvendelse, POM 80
Anvendelse, PP 67
Anvendelse, PPO 84
Anvendelse, PPS 91
Anvendelse, PS 70
Anvendelse, PSU 88
Anvendelse, PVC-plastisol 76
Anvendelse, stiv PVC 74
Anvendelse, TPE 95
Anvendelse, UF 112, 114,
Anvendelsestemperatur, maksimale 45
Apparat til bestemmelse af smelteindeks 65
Aramidfiber 128
Aramidfiber, egenskaber 129
ASA 72
ASA, anvendelseseksempler 72
ASA, handelsnavne 72
Atom 14
Atombinding 16, 392

Atommodel 15
Autoklavering 471
Automatisk indvejning 351
Automatisk sprøjtepresning 519

B

Bajonet-lukkeenhed 156
Balanceret væv 118
Banbury-mikser 526
Barcol-impresor 101
Barrierezone 319
Basisværktøj 350
Bearbejdningsscenter til fræsning 550
Beg-proces 127
Behandling af opkvarmet materiale 357
Benævnelser på snekke 163
Beregning af emnemålsbredning 234
Beregning af emnevægtsbredning 232
Beregning af restkøletid 179
Bikagestruktur 475
Bindingskræfter 16
Biologisk nedbrydelige polymerer 142
Bisphenol-polyester 99
Bladudstøder 261
Blandehoved 498
Blandemetoder, PUR 497
Blandetid 495
Blank overflade 348
Blokstøbning 501
Blæsedom 390, 405
Blæsedom i slangehoved 411
Blæsedom, montering af 406
Blæsedom, omvendt 406
Blæsenål 412
Blæsestøbeanlæg, opstart og stop 407
Blæsestøbemaskine 389
Blæsestøbning 298, 307, 389
Blæsestøbning i karrusel 417
Blæsestøbning, fejlfindingskema 408
Blæsestøbning, form 401
Blæsestøbning, formmateriale 401
Blæsestøbning, hjælpeudstyr 410
Blæsestøbning, hoveder 410
Blæsestøbning, indkøring, 407
Blæsestøbning, kvalitetskontrol, 412
Blæsestøbning, opstartsprocedure 407
Blæsestøbning, optimering 407
Blæsestøbning, plasttyper 414
Blæsestøbning, regenerat 414
Blæsestøbning, stopprocedure 408
Blæsestøbning, stribe 416
Blæsestøbning, symboloversigt 391
Blæsestøbning, tæthedskontrol 412
Blød elastom 529

- Blødgjort PVC 74
 Blødgjort PVC, anvendelse 75
 Blødgjort PVC, egenskaber 74
 Blødgjort PVC, forarbejdningsmetoder 75
 Blødgørere 292
 Blødgøringsmidler 35
 BMC 468, 517
 Boltafstand 176
 Boring 553
 BR 530
 Brand, forhold ved 58
 Brandfare, polyurethanstøbning 514
 Brandhæmmende additiver 59
 Brandhæmmende additiver, PUR 495
 Brandhæmmende egenskaber 102
 Brandhæmmende overfladebehandling 32
 Brandhæmmere 32, 292,
 Brandsikring, cyclopentan 514
 Brandstriber 332
 Breddyseværktøj 305
 Brudte kølekanaler 267
 Bulk Moulding Compound 468, 517
 Bundflap 391
 Bundfodt folieværktøj 361
 Bundfodt slangehoved 393
 Bundstykket, form 403
 Butadiengummi 530
 Bægre og hule emner, treatning 353
 Båndsavklinger 555
- C**
 C-glas 115
 CA 281, 286
 CAB 281
 CAP 281
 Carbamidplast 111
 Carbon 16
 Carbonfiber 127
 Carbonfiber, egenskaber 129
 Celluloid 9
 Centraludstøder 259
 Centrering 351, 396
 Centrering af ekstruder 400
 Centrering af værktøj 350
 Centrering, dom og dyse 362
 Centrepatron 548
 Centerskrue 396
 CFC 515
 Charpy-princippet 52
 Chloroprengummi 532
 Cirkulært tværsnit, fordelerkanal 258
 CNC-drejebænk 549
 Co injection 294
 Coekstrudering 299, 307, 415
 Coekstrudering af folie/plade 383
 Coekstrudering, molekylkædernes orientering 308
 Coekstrudering, vedhæftning 309
 Coekstruderingsanlæg 310
 Copolymerer 19
 Copolymerisation 19
 Coronabehandling 352
 Covalent binding 16
 CR 532
- Crementid 495
 CSM-måtter 118
 Cyclopentan, brandsikring 514
 Cyklusovervågning 204
 Cylinder zonekøling 313
 Cylinder, ekstruder 312
 Cylinder, opvarmning 328
 Cylindertemperatur 195
- D**
 Datomærkning, plastemne 269
 Definition, plast 10
 Deformation 46
 DEHP 74
 Dekompression 162, 168, 200
 Deltider, cyklusforløb 178
 Demontering af værktøj, sprøjtestøbning 192
 Destruktiv kontrol 511
 DGEBA 104
 Di-isocyanater 493, 513
 Di(2-ethylhexyl)phthalat 74
 Diagram for lukketryk 184
 Dielektricitetskonstant 55
 Dielektrisk tab 55
 Diepoxider 104
 Dimensionering af formflade 447
 Dioctylphthalat 74
 Diphenyl-methan-di-isocyanat 493
 Direkte køling 432
 Direkte metode, pressestøbning 519
 Direkte opspænding 174
 Diskontinuierlige metoder 465
 DMC 468, 517
 Dobbeltbindinger 17
 Dobbeltsnekke 320
 Dobbeltsnekkede ekstrudere 302
 DOP 74
 Dom og dyse, centrering 362
 Dornholder 370, 393, 394
 Dorn typer 393
 Dornvarme 338
 Dosering 167, 199
 Doseringsberegning 185
 Doseringsposition 162
 Doseringsprogram, specielt 206
 Doseringssnekke 327
 Doseringsveje 164
 Dough Moulding Compound 468, 517
 Drapérbarhed 117
 Drejning 548
 Driftsfejl, polyurethanstøbning 512
 Driftskontrol 510
 Drivmiddel 493, 515,
 Drosselspalte 331
 Dykket indløb 248
 Dyse 197
 Dyse, ovaliseret 399
 Dyse, profileret 399
 Dyse, åben 170
 Dyseafastning 200
 Dyseanlæg 171
 Dyseanlæg, standardiseret 171
 Dyseanlægsflader 171
 Dysecentrering 171
- Dysehul 170
 Dysekage 201
 Dyseprop 201
 Dyser, folieværktøj 367
 Dysetyper 396
- E**
 E-CR-glas 115
 E-glas 115
 E-modul 45, 48
 ECTFE 87
 Edderkop 393
 Efterfyldning 162
 Efterkalkulation, 190
 Eftersvind, 214, 272,
 Eftertryk 178, 198,
 Eftertryksserie 221
 Eftertryksserie, start 221
 Eftertrykstid 199
 Eftertryksvolumen 162, 235
 Egenskaber, ABS 71
 Egenskaber, acrylplast 76
 Egenskaber, aramidfiber 129
 Egenskaber, blødgjort PVC 74
 Egenskaber, carbonfiber 129
 Egenskaber, elektriske 54
 Egenskaber, EP 107
 Egenskaber, fysiske 55
 Egenskaber, glasfiber 129
 Egenskaber, gummityper 533
 Egenskaber, GUP 132
 Egenskaber, kemiske 55
 Egenskaber, mekaniske 45
 Egenskaber, MF 112
 Egenskaber, PA 78
 Egenskaber, PAS 90
 Egenskaber, PBT 81
 Egenskaber, PC 85
 Egenskaber, PE 64
 Egenskaber, PES 89
 Egenskaber, PET 81
 Egenskaber, PF 109
 Egenskaber, PMMA 76
 Egenskaber, PMP 67
 Egenskaber, POM 80
 Egenskaber, PP 66
 Egenskaber, PPO 84
 Egenskaber, PPS 90
 Egenskaber, PS 68
 Egenskaber, PSU 88
 Egenskaber, PTFE 86
 Egenskaber, SAN 70
 Egenskaber, SB 69
 Egenskaber, stiv PVC 73
 Egenskaber, termoform-materialer 453
 Egenskaber, TPE 94
 Egenskaber, UF 111
 Eksotermtemperatur 100
 Ekspanderbar polystyren, 68
 Ekspansionsradie 275
 Ekspansionsreglen, afvigelse 277
 Ekstruder 299
 Ekstruder monteret med rørværktøj 311

- Ekstruder til fremstilling af plader eller folier 300
 Ekstruder, adiabatisk 343
 Ekstruder, centrering 400
 Ekstruder, cylinder 312
 Ekstruder, generel start 341
 Ekstruder, generelt stop 342
 Ekstruder, klargøring 339
 Ekstruder, kontrolpanel 324
 Ekstruder, planetvalse 360
 Ekstruder, tragt 326
 Ekstrudere, dobbeltsnekede 302
 Ekstruderede produkter 297
 Ekstruderens gearkasse 311
 Ekstruderens opbygning 310
 Ekstruderhoved 304
 Ekstrudering 297
 Ekstrudering med PVC-pulver 358
 Ekstrudering, adiabatisk 310
 Ekstrudering, folie 361
 Ekstrudering, hjælpedstyr 350
 Ekstrudering, indkøring 343
 Ekstrudering, kabelisolerings- og kapperørs 387
 Ekstrudering, køling 332
 Ekstrudering, monofilament 384
 Ekstrudering, optimering 343
 Ekstrudering, plade- og planfolie, 381
 Ekstrudering, processen, 302, 326
 Ekstrudering, profil 375
 Ekstrudering, påfyldning af råmateriale 326
 Ekstrudering, rengøring af værktøj 350
 Ekstrudering, volumenbestemmelse 317
 Ekstrudering, værktøjer 350
 Ekstruderingsprocesser 361
 Ekstruderingsværktøj 332
 Ekstruders ydelse 339
 Ekstrudersvejsning 537
 Elasticitetsmodul 42, 48
 Elastisk deformation 46
 Elastisk, ideelt 40
 Elastomerer 24, 25, 529
 Elastomerer, massive 490
 Elastomerer, mikrocellulære 490
 Elektrisk ledningsevne 130
 Elektrisk modstand 33
 Elektriske egenskaber 54
 Elektriske sikkerhedskredsløb for lukkeenhed 208
 Elektriske varmeelementer 430
 Elektromuffesvejsning 540
 Elektron 15
 Elektrostatisk opladning 33
 Emneareal, projiceret 182
 Emnekonstruktion 244
 Emnemålspredning, beregning 234
 Emnemålstabilitetsserie 234
 Emnestøbning i karrusel 501
 Emnevægtspredning, beregning 232
 Emnevægtsstabilitetsserie 230
 Emulsionsbundet måtte 117
 Enkeltbinding 17
 Enkeltnekeekstruderens bestanddele 310
 Enkeltstyks-emnestøbning 501
 Ensartet opvarmning 430
 EP 104
 EP, anvendelse 107
 EP, egenskaber 107
 EP, forarbejdningsmetoder 107
 EP, handelsnavne 107
 EP, hærdning 104
 EPDM 532
 Epoxygruppens reaktivitet 105
 Epoxyharpiks 104
 Epoxyharpikser, inddeling 106
 Epoxyhærdning 105
 Epoxyplast 104
 Epoxysystemer, råvarekontrol 477
 EPS 68
 EPS, anvendelse 70
 EPS, handelsnavne 70
 Er-værdi 152, 197
 Esterbaserede TPE 95
 Estere 30
 Etagelukkeenhed 155, 156
 Etagepresser 521
 ETFE 87
 Ethylen-chlortrifluorethylen-copolymer 87
 Ethylen-propylen-dien-monomer 532
 Ethylen-tetrafluorethylen-copolymer 87
- F**
 Faldende procentvis-reguleret el-tilførsel 325
 Falsk forkammerdyse 172
 Falsk skærmindløb 249
 Farve 103
 Farvebærere 290
 Farvematchningsproblematik 291
 Farvepigmenter til masterbatch 290
 Farvepigmenter, PUR 495
 Farvestoffer 30
 Farveændring 348
 Fast tilstandsform 40
 Fastlæggelse af procesparametre 212
 Fastlæggelse af procesparametre, sprøjtetøbning 215
 FC 515
 Fedtsyrer 30
 Fejl i fødezonen 336
 Fejl på form 454
 Fejl ved emnet 451
 Fejl ved halvfabrikata 451
 Fejl ved indkøring af nye forme 455
 Fejl ved opvarmning med strålevarme 455
 Fejl ved termoforming 451
 Fejlfinding, polyurethanmaskine 505
 Fejlfinding, sprøjtetøbning 195
 Fejlfindingsskema, blæsestøbning 408
 Fejlsøgning ved trykluftforming 459
 Fejlsøgning ved vakuumforming 457
 Fem-punkts-knæledslukkeenhed 157
 FEP 87
 Fiber/matrix-binding 123
 Fiberarrangement 122
 Fiberdiameter 128
 Fiberforstærket hærdplast 465
 Fiberforstærket hærdplast, reparationsmetoder 478
 Fibergeometri 122
 Fiberprodukter, mønstre 117
 Fiberprodukter, vævede 117
 Fibertid 496
 Fibre som preform 121
 Fibre, halvfabrikata 122
 Fibre, oversigt 123
 Filmindløb 249
 Fingerkøling 267
 Finish 127
 Finnedannelse 439
 Finner, problemer med 456
 Firepunktstøjeprøvning 49
 Fiskeskællignende overflade 348
 FKM 532
 Flad indløbsbøsning 171
 Fladdyseanlæg 306
 Fladdyseværktøj 305, 381
 Fladdyseværktøj, rørfremstilling med 384
 Fladudstøder 261
 Flaskeblæsning 307
 Flasker, treating 353
 Flegmatiseringsmidler 101
 Fleksibelt integralskum 490
 Fleksible polyurethaner 490
 Fleredelte forme 405
 Flerkavitetshoved 417
 Flerkomponent-sprøjtetøbning 294
 Flerkomponent støbning 293
 Flerzone-isoterm-opvarmning 432
 Fluorgummi 532
 Fluorplast 86
 Fluorplast, anvendelse 87
 Fluorplast, handelsnavne 87
 Flydende tilstandsform 40
 Flydestøbning 205
 Flydetalsfaktor 181
 Flydevej 182
 Folder, problemer med 456
 Folie 305
 Folie, kvalitet 366
 Folie, opskæring 364
 Folie, svejsning 366
 Folie, treating 352, 364
 Folieanlæg 301, 305
 Folieanlæg, opstart 364
 Folieanlæg, stop 366
 Folieboble 362
 Folieekstrudering 361
 Foliefremstilling, de ni trin 361
 Foliehoved 362
 Folierulle 363
 Folieværktøj, bundfød 361
 Folieværktøj, dyser 367
 Folieværktøj, flerlagsfolie 366
 Folieværktøj, roterende 363
 Folieværktøj, sidefød 361
 Foracelleret polyester 102
 Forarbejdningsmetoder, ABS 72
 Forarbejdningsmetoder, acrylplast 77
 Forarbejdningsmetoder, blødgjort PVC 75
 Forarbejdningsmetoder, EP 107
 Forarbejdningsmetoder, MF 112
 Forarbejdningsmetoder, PA 79
 Forarbejdningsmetoder, PAS 90
 Forarbejdningsmetoder, PBT 82

- Forarbejdningsmetoder, PC 85
 Forarbejdningsmetoder, PE 66
 Forarbejdningsmetoder, PES 89
 Forarbejdningsmetoder, PET 82
 Forarbejdningsmetoder, PF 110
 Forarbejdningsmetoder, PMMA 77
 Forarbejdningsmetoder, PMP 67
 Forarbejdningsmetoder, POM 80
 Forarbejdningsmetoder, PP 67
 Forarbejdningsmetoder, PPO 84
 Forarbejdningsmetoder, PPS 91
 Forarbejdningsmetoder, PS 70
 Forarbejdningsmetoder, PSU 88
 Forarbejdningsmetoder, PTFE 86
 Forarbejdningsmetoder, SAN 70
 Forarbejdningsmetoder, SB 70
 Forarbejdningsmetoder, stiv PVC 74
 Forarbejdningsmetoder, TPE 95
 Forarbejdningsmetoder, UF 112
 Forarbejdningsmetoder, tekniske tilstandsændr. for termoplastiske materialer 278
 Forbrug, plast 11
 Forbrænding, gevinding 140
 Fordampningstemperatur 40
 Fordele ved rotationsstøbning 462
 Fordelerblokke 371
 Fordelerkanal, afrundet, trapezformet tværsnit 258
 Fordelerkanal, cirkulært tværsnit 258
 Fordelerkanal, halvrunder tværsnit 258
 Fordelerkanal, kvadratisk tværsnit 258
 Fordelerkanal, trapezformet tværsnit 258
 Fordelerkanaler 256
 Fordelerkanaler til fler-styksforme 257
 Forform-metoden 467
 Forhold ved brand 58
 Forkammerdyse 171
 Forkammerdyse, falsk 172
 Form lukkes 196
 Form med presseflade 402
 Form uden presseflade 402
 Form åbnes 201
 Form, blæsestøbning 401
 Form, fleredelte 405
 Form, kipbar 411
 Form, montering 405
 Form, overfladeruhed 446
 Form, pressestøbning 520
 Form, temperaturstyring 447
 Form, udluftningshuller 401
 Formbundne mål 214
 Formens indvendige overflade, 401
 Formfladen, dimensionering af 447
 Formfyldning, 98 %'s 227
 Formfyldning, teknisk 98 %'s 219
 Formfyldning, visuel 98 %'s 219
 Formgivning af gummi 527
 Formgivning, sprøjtestøbning 270
 Formgivningsudstyr, polyurethanstøbning 507
 Formgivningsværktøj 304
 Formkøling 267
 Formmateriale 454
 Formmateriale, blæsestøbning 401
 Formning 425
 Formningsforhold 425
 Formningskraft 442
 Formningstemperatur 442
 Formningstemperaturområdet 441
 Formoverflade 435, 454
 Formpresning 519
 Formpresning med skruoplastificering 518
 Formpresning, gummi 528
 Formpresse 520
 Formsikring 196, 403
 Formslip 261, 327
 Formstørrelse 445
 Formsvind 214, 438
 Formtemperatur 404, 508
 Formtemperatur, indvirkning på emnet 266
 Formtemperatur, regulering 454
 Formtemperatur, styring 454
 Formtemperatur, termoformning 443
 Formværktøjsmateriale, polyurethanstøbning 507
 Forseglingsserie 224
 Forseglingsserie, start 224
 Forseglingstid 180
 Forskydelig snekke 323
 Forstrækning 424
 Forstærkningsfibre 115
 Forstærkningsmateriale 292, 523
 Forstærkningsmateriale, råvarekontrol 477
 Fortætningspunkt 40
 Fortætningstemperatur 40
 Fortørring 327
 Fortørring, materiale 356
 Forvarmekraft 538
 Forvarmning, materiale 356
 FPM 532
 Fremstillingsprocesser ved ekstrudering 301
 Fremstillingstid 266
 Friktion mellem emne og form 435
 Friktion, termoformning 437
 Friktionsvarme 330
 Fristråleeffekt 247
 Fryselinje 362
 Frysepunkt 40
 Frysetemperatur 40
 Fræsemaskine, traditionel 551
 Fræsning 550
 Fugtoptagelse, fiber 130
 Fuldautomatisk 204
 Fuldelektrisk lukkeenhed 158
 Fuldelektrisk sprøjtestøbeenhed 159
 Fuldformethed 441
 Fuldhidraulisk lukkeenhed 153
 Fuldhidraulisk lukkeenhed med integreret transportcylinder 154
 Fuldhidraulisk sprøjtestøbeenhed med lineær glideføring 159
 Fuldhidraulisk sprøjtestøbeenhed med lineær søjleføring 160
 Fuldhidraulisk sprøjtestøbemaskine 149
 Funktion, sprøjteenhedens 161
 Funktionsprincip, sprøjteenheden 151
 Fyldemetode 507
 Fyldeskudsserie 215
 Fyldeskudsserie, start 217
 Fyldetid 495
 Fyldningsgrad 226
 Fyldstoffer 37, 103, 292
 Fyldstoffer, PUR 495
 Fysisk ældning 43
 Fysiske egenskaber 55
 Færdigvarekontrol 478
 Fødezone 163, 316, 334
 Fødezonen, fejl i 336
 Føler, magnetisk 413
- G**
- Gasinjektions-støbning 294
 Gauss-kurven 236
 Gearkasse, ekstruderens 311
 Gearpumpe 354
 Gel-tiden 100
 Gelcoat 132, 465,
 Gelcoatfejl 483
 Gelcoatskader 480
 Geléringstiden 100
 Genanvendelse 135
 Genbrug 135, 136
 Generel start af ekstruder 341
 Generelt stop af ekstruderen 342
 Gennemslagsspænding 55
 Gennemtrængelighed 58
 Genvinding 135, 136
 Genvinding til energi 140
 Genvinding, kemisk 138
 Genvinding, mekanisk 137
 Gevindhuller 175
 Gevindskæring 554
 Gevindstykket 402
 Glasfiber 115
 Glasfiber, egenskaber 129
 Glasfiber, overfladebehandling 127
 Glasfiberflock 126
 Glasfiberforstærket umættet polyester 131
 Glasfiberfremstilling 115
 Glasfiber garn 116
 Glasfiberlærred 117
 Glasfiber måtte 116
 Glasfiberroving 116, 117
 Glasklar polystyren 284
 Glasovergang 40
 Glasovergangstemperatur 41
 Glastilstand 40
 Glidedyse 173
 Glidemidler 29
 Godstykkelse 413
 Godstykkelsesfaktor 181
 Godstykkelsesmåler 351
 Godstykkelsesændring 349
 Granulat 302
 Grundstof 14
 Grundstoffer, symboler 14
 Gummi, formgivning af 527
 Gummi, syntetisk 529
 Gummiforarbejdning 523
 Gummimaterialets historie 523
 Gummimikser 524

- Gummityper 529
 Gummityper, egenskaber 533
 GUP 131
 GUP, anvendelse 133
 GUP, egenskaber 132
 GWP 514
 Gængedybdeforhold, 322
- H**
- Halsstykket 402
 Halvautomatisk 203
 Halvfabrikata, fibre 122
 Halvrundt tværsnit, fordelerkanal 258
 Handelsnavne, ABS 72
 Handelsnavne, acrylplast 77
 Handelsnavne, ASA 72
 Handelsnavne, EP 107
 Handelsnavne, EPS 70
 Handelsnavne, fluorplast 87
 Handelsnavne, MF 114
 Handelsnavne, PA 79
 Handelsnavne, PAS 90
 Handelsnavne, PBT 82
 Handelsnavne, PC 86
 Handelsnavne, PE 66
 Handelsnavne, PES, 89
 Handelsnavne, PET, 82
 Handelsnavne, PF 110
 Handelsnavne, PMMA 77
 Handelsnavne, polyestere 103
 Handelsnavne, POM 80
 Handelsnavne, PP 67
 Handelsnavne, PPO 84
 Handelsnavne, PPS 91
 Handelsnavne, PS 70
 Handelsnavne, PSU 88
 Handelsnavne, PVC 75
 Handelsnavne, SAN 70
 Handelsnavne, SB 70
 Handelsnavne, TPE 95
 Handelsnavne, UF 112
 HASCO-standard 171
 HC 515
 HCFC 515
 Helautomatisk 204
 HET-syrepolyester 99
 HF-svejemaskine 541
 HF-svejsning 541
 HFC 515
 High density-polyethylen 63
 Hjælpstoffer 28, 291
 Hjælpstoffer, hærdeplast 101
 Hjælpudstyr, blæsestøbning 410
 Hjælpudstyr, ekstrudering 350
 Hjælpudstyr, sprøjtstøbning 243
 Hjørnefolder 426
 Honeycombs 475
 Hookes lov 46
 Hovedbestanddele, sprøjtstøbeværktøjets 245
 Hoveder, blæsestøbning 410
 Hovedpunkter, de ti 195
 HS-drejestål 549
- Hulplade 330
 Hulrum, forme 446
 Hunkar 320-styring 398
 Hurtiglufventil 434
 Hurtigmikser 358
 Hybrider 128
 Hybridvæv 120
 Hydrauliktryk 168
 Hydraulisk lukkedyse 173
 Hydraulisk lukkeenhed med afstandsarm 155
 Hydraulisk lukkesikring 208
 Hydraulisk udstødersystem 260
 Hydrering 139
 Hydrolyse 139
 Hygroskopisk 55
 Hæklenål 259
 Hærdelim 544
 Hærdemidler 100, 101
 Hærdeplast 24, 25
 Hærdeplast-baserede kompositmaterialer, genanvendelse 141
 Hærdeplast, fiberforstærket 465
 Hærdeplast, genanvendelse 141
 Hærdeplast, hjælpeoffer 101
 Hærdeplast, virkemåde 97
 Hærdeproces 97, 100
 Hærdere 105
 Hærdesystem 100
 Hærdetid 100
 Hærdning 25
 Hærdning, EP 104
 Højfrekvenssvejsning 541
 Højmolekylære stoffer 18
 Højpolymerer 18
 Højreaktive 101
 Højtryksanlæg 498
 Højtryksmaskiner 499
 Håndbetjening 203
 Håndplægning 465
 Hård elastom, 529
 Hårdhed, 51
 Hårdmetalplatter, 549
- I**
- Ideelt elastisk 40
 Ikke-destruktiv kontrol 510
 Ikke-formbundne mål 214
 Ikke-krystallinsk 22
 Ikke-krystallinske stoffer 23
 In mould labeling (IML) 294
 Indbygningshøjde, form 403
 Inddeling af epoxyharpikser 106
 Indefrysning 333
 Indefrysning, viskose sjæl 273
 Indfarvning 289
 Indirekte køling 432
 Indirekte opspænding 174
 Indkøring, blæsestøbning 407
 Indkøring, ekstrudering 343
 Indkøring, sprøjtstøbning 212
 Indkøring, termoformning 423
 Indkøringsserier, de seks 213
 Indløbsbøsning, flad 171
- Indløbskanal 256
 Indløbsplacering 256
 Indløbstyper 246
 Indløbsudtrækker 259
 Indsprøjtning 178, 197
 Indsprøjtningsovervågning 204
 Indsprøjtningsvolumen 162
 Indtrængningsdybde 429
 Induktivaftasteren 400
 Indvejning, automatisk 351
 Inhibitor 100, 102
 Initiator 101
 Injektionsmetode 469
 Injektionsstøbning, gummi 527
 Insert moulding 294
 Interlock-mikser 527
 Internal Mixer 525
 Interval-sprøjtstøbning 294
 Intumescens 33
 Ionbinding 15
 Ioner 15
 IR 531
 Irisblænde 362
 Isokront spændings-tøjningsdiagram 50
 Isolering på elledninger 306
 Isoleringsskum 489
 Isometriske spændings-tidsdiagram 50
 Isophthalsyre-polyester 99
 Isoprengummi 531
 Izod-princippet 52
- K**
- K-værdi 73
 Kabelisolerings- og kapperørsanlæg, opstart 388
 Kabelisolerings- og kapperørsanlæg, stop 388
 Kabelisolerings- og kapperørsanlæg, trækbænk 388
 Kabelisolerings- og kapperørsekstrudering 387
 Kabelisolerings- og kapperørsekstrudering, værktøj 387
 Kalandrering 383
 Kalandrette 382
 Kalibrator 333
 Kalibrering 371
 Kalibrering, profillekstrudering 377
 Kalkulation 186
 Kammerblander 525
 Kantbuksvejsning 541
 Kantskæring, pladeekstrudering 384
 Kapillarvirkning 277
 Kapperør 306
 Kapperør, treatning 353
 Kast 266
 Katalysator, PUR 494
 Kautsjuk 523
 Kegleformet skærmindløb 249
 Kegleindløb 249
 Keglemodhold 259
 Kemikaliebestandighed 56
 Kemisk bestandighed, fiber 130

- Kemisk gevinding 138
 Kemisk opbygning, plast 14
 Kemisk størknende limtyper 544
 Kemiske bindinger 15
 Kemiske egenskaber 55
 Kemiske forbindelser 15
 Kernetræk 205
 Kipbar form 411
 Kiper-væv 124
 Klargøring, ekstruder 339
 Klinketræk 264
 Klæbefri overflade 103
 Klæbefritid 496
 Klæbetemperatur 357
 Klæbning, praktiske tips mod 437
 Knaldluft 365
 Knæledslukkeenhed 154
 Knæledslukkeenhed med integreret mellemlade 157
 Kogepunkt 40
 Koksklatte 348
 Koldhærdning 102
 Koldpresning 468
 Kombinationsmætter 119, 533
 Kombinationsvæv 119
 Kompositmaterialer, plastbaserede 131
 Komposterbare plastmaterialer 142
 Kompound 524
 Kompressions-/gængedybdeforhold 321
 Kompressionsafkastning 162, 200
 kompressionsforhold, snekkens 317
 Kompressionsformning, gummi 528
 Kompressionszone 316, 334
 Kondensationspolymerisation 21
 Konditionering 419
 Konisk modhold 259
 Konstruktion af forme 444
 Konstruktion af overstempler 449
 Konstruktions-phenolplast 110
 Konstruktionsplast 63
 Kontinuerlig laminering 472
 Kontinuerlig sprøjteblæseproces 420
 Kontinuerlig vikling 473
 Kontinuerlige metoder 472
 Kontinuert blanding, PUR 497
 Kontrol af driftsparametre, polyurethanmaskine 503
 Kontrol af emner, termoformning 451
 Kontrol af forseglinger, polyurethanmaskine 504
 Kontrol af højtryksslanger, polyurethanmaskine 503
 Kontrol af niveauanlæg, polyurethanmaskine 503
 Kontrol, det færdige produkt 344
 Kontrolmetoder 476
 Kontrolpanel, ekstruder 324
 Konturblander til positivforme 448
 Korrosion 165
 Korrosion, fiber 130
 Korttidsstabilitet 236
 Kostpris 186
 Krakning 138
 Krav til snekkegeometri 319
 Krav til udstøderkonstruktion 260
 Krybemodulcurve 50
 Krybning 46
 Krydshoved 307
 Krymp 437
 Krympefolie 368
 Krympeforhold 369
 Krympeprøve 355
 Krympetest 437
 Krystaller 15
 Krystallinitet 23
 Krystallitter 22
 Kuglemodhold 259
 Kuldeskørhed 44
 Kvadratisk tværsnit, fordelerkanal 258
 Kvalitet 343
 Kvalitet, folie 366
 Kvalitetskontrol, blæsestøbning 412
 Kvalitetskontrol, PUR 510
 Kvalitetsstyring 213
 Kvalitetsværktøjer 236
 Kvældende laminar strømning 270
 Kvældning 25
 Kæde 118
 Kædemolekyler 18
 Kædestråde 124
 Kærvfølsomhed 53
 Kølekanaler, afblændede 268
 Kølekanaler, brudte 268
 Kølekredse 266
 Kølemedietilslutning 268
 Kølemikser 358
 Kølering 362
 Kølesystemer 267
 Køletid 199
 Køletid og godstykkelse 179
 Køletid, termoformning 442
 Køletidsberegning 180
 Køletidsdiagram 179
 Køletidsformel 179
 Kølevalser 382
 Køling 179, 404
 Køling af forme 454
 Køling, ekstrudering 332
 Køling, spåntagning 554
 Køling, termoformning 432
 Kønrøg 525
- L**
 Labyrintkøling 267
 Lagringsvind 214, 272
 Laminar 270
 Laminater 131
 Laminatskade 481
 Laminering 383
 Langkædede hydrocarboner 50
 Latex 523
 Lavreaktive 101
 Lavtryksanlæg 498
 Lavtryksmaskiner 500
 Legeringer 14
 Let PUR-skum 489
 Let, fleksibelt PUR 490
- Levnedsmidler, plast i kontakt med 57
 Lifecycle engineering 143
 Limning, plast 543
 Limtype, valg af 545
 Limtyper med opløsningsmiddel 544
 Limtyper, kemisk størknende 544
 Linear low density-polyethylen 63
 Linio-tasten 400
 Low density-polyethylen 63
 LSE-polyestere 103
 Luft i plastsmelte 164
 Luftafblæsning 205
 Luftafgang 442
 Luftformig tilstandsform 40
 Lukkedyse, 172
 Lukkedyse, hydraulisk, 173
 Lukkeenhed 153
 Lukkehøjtryk 197
 Lukkekraft 181
 Lukkeprop 268
 Lukkesikring, hydraulisk 208
 Lukkesikring, mekanisk 211
 Lukketryk for fire-søjlede knæledsmaskiner 184
 Lukketryk i procent 183
 Lunke 273, 379
 LVDT 400
 Længdeudvidelse 440
- M**
 Maddockzone 319
 Magnetisk føler 413, 392
 Magnetrist 326
 Maksimal anvendelsestemperatur 45
 Maksimalt skudvolumen 162
 Manglende formningstryk 455
 Manuel opsnekning 195
 Maskeudstyr 407
 Maskinens udstødersystem 260
 Maskinfejl, polyurethanmaskine 505
 Maskinkontrol 510
 Maskinkort 193
 Maskinkrav, polyurethanstøbning 499
 Maskinopsætning, polyurethanmaskine 504
 Maskinstativ 153
 Massefylde 55, 185
 Massefyldekolonne 65
 Massemiddelværdien, 26
 Masseplast 63
 Massestemperatur 195
 Massestemperaturmåler 332
 Massetrykmåler 331
 Massive elastomerer 490
 Masterbatch 31, 289
 Masterbatch, indflydelse på det støbte emne 290
 Mat overflade 348
 Materiale, fortrøring 356
 Materiale, forvarmning 356
 Materialeegenskaber 284
 Materialeegenskaber, termoformning 436
 Materialefølere 352

- Materialeleære, PUR 492
 Materialeprøvning 511
 Materialer 356, 414
 Materialer til termoform-forme 444
 Materialer, pressestøbning 517
 Materialer, sprøjtestøbning 270
 Matrix 131, 517
 Matrixmængde 122
 Matte striber på emnet 348
 MDI 493
 Medfræsning 551
 Medium density-polyethylen 63
 Mekanisk genvinding 137
 Mekanisk lukkesikring 211
 Mekanisk styrke 45
 Mekaniske egenskaber 45
 Melaminplast 112
 Metalbinding 16
 Metaller 14
 Metalsalte 30
 Metameri 291
 Meteringszone 163
 Methan 16
 MF 112
 MF, anvendelse 114
 MF, egenskaber 112
 MF, forarbejdningsmetoder 112
 MF, handelsnavne 114
 MFI 27
 Middel køletid 180
 Middelreaktive 101
 Middelværdi 236
 Mikrocellulære elastomerer 490
 Mikrokontakt 151
 Miksezoner 319
 Miksning af PVC 358
 Miljø, polyurethanstøbning 514
 Misfarvning af snekke 166
 Moderne plasttyper 10
 Moderne sprøjtestøbemaskine 149
 Modfræsning 551
 Modificeret PPO 84
 Modtagekontrol af råvarer, PUR 510
 Modtryk 166, 167, 199
 Modtryksring 331, 395
 Modtrykssi 330
 Molekyler 15
 Molekylkædernes orientering, coekstrudering 308
 Molekylmasse 26
 Molekylorientering 27, 271
 Molekylstruktur 64
 Molekylvægt 26
 Monofilament 384
 Monofilamentanlæg 385
 Monofilamentanlæg, opstart 387
 Monofilamentanlæg, stop 387
 Monofilamentekstrudering 384
 Monofilamentekstrudering, opspoling 386
 Monofilamentekstrudering, værktøjet 384
 Monofilamenter 306
 Monofilanlæg 306
 Monomerer 18
 Montering af blæsedorn 406
 Montering af form 405
 Montering af overstempel 423
 Montering af værktøj, sprøjtestøbning 192
 MR/TR 369
 Muffesvejsning 539
 Mærkning af plast 143
 Mættet forbindelse 17
 Mønstre, fiberprodukter 117
 Målspredning 234, 237
- N**
- Naturgummi 530
 NBR 530
 NCO-gruppe 494
 Nedbrydning af smelte 166
 Nedhæng 440
 Nedtrækningsforhold 368
 Negativforme, overstempler til 450
 Negativformning 424
 Negativformning med mekanisk forstrækning 428
 Negativformning uden forstrækning 427
 Neutron 15
 Nitrilgummi 530
 Nokker 151
 Normalfordeling 236
 Normalfordelingskurve 236
 Notekstruder 313
 Notzone 313
 Novolak 109
 NR 530
 Nukleater 81
 Nødstop 209
 Nødvendigt lukketryk 181
 Nåleventil 253
 Nåleventildyse 172
- O**
- Octabiner 303
 ODP 514
 Olefinbaserede TPE 94
 Olefiner 63
 Omdannelse, 2. ordens 41
 Omdannelser, 1. ordens 40
 Omdrejningstal 550, 552
 Omkobling til eftertryk 198
 Omkoblingsposition 162
 Omstillingstid 539
 Omsætningsfaktor 168
 Omvendt blæsedorn 406
 On/off el-tilførsel 325
 One off-metode 473
 Opblæsningsforhold 364, 368
 Opbygning, ekstruderens, 310
 Opbygning, sprøjtestøbeværktøjets 245
 Opbygning, termoformmaskine 422
 Opholder 434
 Opkvarmet materiale, behandling af 357
 Opløselige farvestoffer 31
 Opmærkning af vandstutse 176
 Oprindelse, plastmaterialer 11
 Opskumning 496
 Opskumningsmiddel 36, 291, 493
 Opskæring, folie 364
 Opsnekning 199
 Opspoling 388
 Opspoling, monofilamentekstrudering 386
 Opspændingsbolte 175
 Opspændingsmetoder 174
 Opstart af folieanlæg 364
 Opstart af kabelisolerings- og kapperørsanlæg 388
 Opstart af monofilamentanlæg 387
 Opstart af plade- og planfolieanlæg 384
 Opstart af profilanlæg 379
 Opstart af roranlæg 374
 Opstart og stop af blæsestøbeanlæg 407
 Opstartsprocedure, blæsestøbning 407
 Opstilling, termoformning 422
 Opstillingsprogram 203
 Optagelse af fugt 436
 Optimering, blæsestøbning 407
 Optimering, ekstruderens 343
 Opvarmning af cylinderen 328
 Opvarmning af materialet 167
 Opvarmning, termoformning 429
 Opvarmningsmetoder, termoformn. 430
 Opvarmningstid, 440, 539
 Organiske additiver 32
 Organiske pigmenter 31, 290
 Organiske stoffers opbygning 16
 Orientering 439
 Orientering, PUR-værktøj 509
 Orientering, væv 120
 Orthophthalsyre-polyester 99
 Otte-sojlers, fuldt hydraulisk lukkeenhed 156
 Ovaliseret dyse 399
 Overflade, blank 348
 Overflade, fiskeskællignende 348
 Overflade, formens indvendige 401
 Overflade, mat, 348
 Overfladebehandling af glasfiber 127
 Overfladeglans 266
 Overflademodstand 54
 Overfladeruhed på formen 446
 Overfladestruktur 273
 Overfyldningsgrad 497
 Oversigt, fibre 123
 Overstempel, montering af 423
 Overstempelkonstruktioner 450
 Overstempelmaterialer 449
 Overstempler til negativforme 450
 Overstempler til positivforme 450
 Overstempler, konstruktion af 449
 Overvågningsprogrammer 204
 Oxygen 14
- P**
- PA 77
 PA, anvendelse 79
 PA, egenskaber 78

- PA, forarbejdningmetoder 79
 PA, handelsnavne 79
 PA6 77, 283, 287
 PA6.6 283, 287
 Pakningsstruktur 273, 274
 PAN-processen 127
 Parallelkøling 508
 Parallelomkobling 204
 Parametre, væv 120
 Parison 307, 389
 PAS 89
 PAS, anvendelse 90
 PAS, egenskaber 90
 PAS, forarbejdningmetoder 90
 PAS, handelsnavne 90
 Pausetid 202
 PBN 83
 PBT 81
 PBT, anvendelse 82
 PBT, egenskaber 81
 PBT, forarbejdningmetoder 82
 PBT, handelsnavne 82
 PC 85, 282, 286
 PC, anvendelse 86
 PC, egenskaber 85
 PC, forarbejdningmetoder 85
 PC, handelsnavne 86
 PCTFE 87
 PE 64
 PE-UHMMW 63
 PE-værktøj, rørekstrudering 370
 PE, anvendelse 66
 PE, egenskaber 64
 PE, forarbejdningmetoder 66
 PE, handelsnavne 66
 Peak exotherm 100
 PEHD 63, 279, 284
 PELD 63, 279, 284
 PELLD 63
 Pelletering 302
 Pelleteringsanlæg 303
 PEMD 63
 PEN 83
 Perfluoralkoxypolymer, 87
 Periferihastighed 170, 345
 Permeabilitet 58
 PES 89
 PES, anvendelse 89
 PES, egenskaber 89
 PES, forarbejdningmetoder 89
 PES, handelsnavne 89
 PET 81
 PET, anvendelse 82
 PET, egenskaber 81
 PET, forarbejdningmetoder 82
 PET, handelsnavne 82
 PF 109
 PF, anvendelse 110
 PF, egenskaber 109
 PF, forarbejdningmetoder 110
 PF, handelsnavne 110
 PFA 87
 Phenoler 29
 Phenolplast 9, 109
 Phosphitter 29
 Pigmenter 30
 Pilotstråler 430
 Pinolbor 553
 Plade- og planfolieanlæg, opstart 384
 Plade- og planfolieanlæg, stop 384
 Plade- og planfolieekstrudering 381
 Pladeekstrudering, kantskæring 384
 Plademaskine 435
 Pladetemperaturstyrede varmeelementer 432
 Planetvalsekstruder 360
 Planlægning, sprøjtestøbning 212
 Plast i kontakt med levnedsmidler 57
 Plast, anvendelse 12
 Plast, definition 10
 Plast, forbrug 11
 Plast, kemisk opbygning 14
 Plast, mærkning 143
 Plastbaserede kompositmaterialer 131
 Plastsmeltens ekspansion under støbning 275
 Plastificering 166
 Plastificeringsmidler 525
 Plastificeringsproces 328
 Plastisk deformation 46
 Plastmaterialer, komposterbare 142
 Plastmaterialer, oprindelse 11
 Plastpolymerer, systematisk nddeling 61
 Plastpolymerers struktur 22
 Plastsmelte, luft 164
 Plastsmeltens ekspansion i formhulrum 275
 Plasttyper 9
 Plasttyper, blæsestøbning 414
 Plasttyper, moderne 10
 Plungercylinder 154
 PMMA 76, 281, 286
 PMMA, anvendelse 77
 PMMA, egenskaber 76
 PMMA, forarbejdningmetoder 77
 PMMA, handelsnavne 77
 PMP 67
 PMP, anvendelse 67
 PMP, egenskaber 67
 PMP, forarbejdningmetoder 67
 Polyaddition 19
 Polyamider 77
 Polyarylsulfon 89
 Polybutylennaphthalat 83
 Polybutylenterephthalat 81
 Polycarbonat 85
 Polychlorotrifluorethylen 87
 Polyester, foracelereret 102
 Polyester, handelsnavne 103
 Polyester, vedhæftning 479
 Polyesterharpiks, umættede 98
 Polyesterharpikser, råvarekontrol af 476
 Polyestertyper 99
 Polyethersulfon 89
 Polyethylen 64
 Polyethylenaphthalat 83
 Polyethylenterephthalat 81
 Polyformaldehyd 79
 Polykondensation 21
 Polymerer, nedbrydelige 142
 Polymerers krystallinitet 22
 Polymerisation 18
 Polymerisationsgrad 18
 Polymerisationsprocesser 18
 Polymethylpenten 67
 Polyolefiner 63
 Polyoler 493
 Polyoxymethylen 79
 Polyphenylenether 84
 Polyphenylenoxid 84
 Polyphenylensulfid 90
 Polypropylen 66
 Polystyren 68
 Polystyren, ekspanderbar 68
 Polystyren, slagfast 68, 69
 Polystyrenacrylnitril 69
 Polysulfon 88
 Polytetrafluorethylen 86
 Polyurethan 108
 Polyurethanmaskine, fejlfinding 505
 Polyurethanmaskine, formværktøjsmateriale 507
 Polyurethanmaskine, kontrol af driftsparametre 503
 Polyurethanmaskine, kontrol af forseglinger 504
 Polyurethanmaskine, kontrol af højtryksslanger 503
 Polyurethanmaskine, kontrol af niveauanlæg 503
 Polyurethanmaskine, maskinfejl 505
 Polyurethanmaskine, maskinopsætning 504
 Polyurethanmaskine, rensning af filtre 502
 Polyurethanmaskine, reparation 506
 Polyurethanstøbemaskine 498
 Polyurethanstøbning 487
 Polyurethanstøbning, affaldshåndtering 513
 Polyurethanstøbning, brandfare 514
 Polyurethanstøbning, driftsfejl 512
 Polyurethanstøbning, formgivningsudstyr 507
 Polyurethanstøbning, maskinkrav 499
 Polyurethanstøbning, miljø 514
 Polyurethanstøbning, procesforløb 495
 Polyurethanstøbning, produktionsmetoder 500
 Polyurethanstøbning, sikkerhed 513
 Polyurethanstøbning, vedligehold af procesudstyr 502
 Polyvinylchlorid 73
 Polyvinylfluorid 87
 Polyvinylidenfluorid 87
 POM 79, 283, 287
 POM, anvendelse 80
 POM, egenskaber 80
 POM, forarbejdningmetoder 80
 POM, handelsnavne 80
 Portionsblanding PUR, 497
 Positioneringsføler 400
 Positionsføler 400
 Positivforme, overstempler til 450
 Positivformning 424
 Positivformning med forblæsning 425

- Positivformning med forblæsning og køleluftsdyse 426
 Positivformning med forsugning ned i blæsekassen 427
 PP 66, 279, 284
 PP-værktøj, rørekstrudering 370
 PP, anvendelse 67
 PP, egenskaber 66
 PP, forarbejdningsmetoder 67
 PP, handelsnavne 67
 PPE 84
 PPE/SB 84
 PPO 84
 PPO, anvendelse 84
 PPO, egenskaber 84
 PPO, forarbejdningsmetoder 84
 PPO, handelsnavne 84
 PPO,modificeret 84
 PPO/SB 84
 PPS 90
 PPS, anvendelse 91
 PPS, egenskaber 90
 PPS, forarbejdningsmetoder 91
 PPS, handelsnavne 91
 Praktiske råd, afformning 435
 Praktiske tips mod klæbning 437
 Preform 419
 Preform, fibre 121
 Premix-metoden 468
 Prepreg 122
 Prepreg-metoden 467
 Prepregs 128
 Prepregs, råvarekontrol 478
 Pressematte 117
 Pressestøbning 466, 517
 Pressestøbning, direkte metode 519
 Pressestøbning, formen 520
 Pressestøbning, materialer 517
 Pressestøbning, processen 518
 Pressestøbning, transfermetoden 520
 Primære bindingskræfter 16
 Primærkøling 365
 Rimindekser, plast 62
 Problemer med finner 456
 Problemer med folder 456
 Procesberegninger, sprøjtestøbeprocess 178
 Procesforløb, polyurethanstøbning 495
 Procesforløb, stempelindsprøjtning 148
 Procesforløb, termoformning 435
 Proceskontrol 344
 Processen, ekstrudering 302, 326
 Processen, pressestøbning 518
 Processen, rotationsstøbning 462
 Produktbeskrivelse 343
 Produktionsforberedelse, sprøjtestøbning 191
 Produktionskontrol, 478
 Produktionsmetoder, polyurethanstøbning 500
 Profilanlæg, opstart 379
 Profilanlæg, stop 379
 Profilekstrudering 375
 Profilekstrudering, kalibrering 377
 Profilekstrudering, trækbank 379
 Profileret dyse 399
 Profileret slange 397
 Profiltrækning 472
 Profilværktøj 304, 375
 Projiceret emneareal , 182
 Protone 15
 Præcisionsprøjestøbning 212
 Prøvningssystemer for plastprøvning 511
 PS 68, 280, 284
 PS, anvendelse 70
 PS, egenskaber 68
 PS, forarbejdningsmetoder 70
 PS, handelsnavne 70
 PSS 285
 PSU 88
 PSU, anvendelse 88
 PSU, egenskaber 88
 PSU, forarbejdningsmetoder 88
 PSU, handelsnavne 88
 PTFE m.fl. 86
 PTFE, egenskaber 86
 PTFE, forarbejdningsmetoder 86
 Pude 162, 235
 Pudeovervågning 204
 Pulsar-snekke 321
 Pulsring 349
 Pultrudering 472
 Pulverbundet måtte 117
 Pumpezone 316, 334
 Punktindløb 246
 Punktindløbsdysse 171
 PUR 108, 488
 PUR-celleplasts fremstillingsproces 492
 PUR-værktøj, orientering 509
 PUR-værktøj, udluftning 508
 PUR, additiver 494
 PUR, blandemetoder 497
 PUR, brandhæmmende additiver 495
 PUR, farvepigmenter 495
 PUR, fremstillingsproces 492
 PUR, fyldstoffer 495
 PUR, katalysator 494
 PUR, kontinuert blanding 497
 PUR, materialelære 492
 PUR, modtagekontrol af råvarer 510
 PUR, opbygning 492
 PUR, portionsblanding 497
 PUR, reaktionstider 495
 PUR, råvarefejl 506
 PUR, stabilisator 494
 PUR, UV-stabilisatorer 495
 PUR, øvrige anvendelsesområder 491
 PVC 73, 282, 359
 PVC-plastisol 76
 PVC-plastisol, anvendelse 76
 PVC-pulver, ekstrudering 358
 PVC, blødgjort 74, 287
 PVC, genanvendelse 141
 PVC, handelsnavne 75
 PVC, miksning af 358
 PVC, stiv 73, 287
 PVC, temperaturforhold 329
 PVDF 87
 PVF 87
 Pyrolyse 138
 Pølsesprøjestøbning 247
 Påfyldning af råmateriale, ekstrudering 326
- Q**
 Q 531
- R**
 Radial ekspansion i kasseform 276
 Radial formfyldning 275
 Radier, forme 445
 Range 398, 399
 Rayon-processen 127
 Reaktionstider, PUR 495
 Reaktive midler 32
 Recirkulation 137
 Reduktion af jernmalm 140
 Refleksionsgrad 429
 Regenerat 303
 Regenerat og blæsestøbning 414
 Regler for slipvinkler 445
 Regulering, formtemperatur 454
 Relative deformation 48
 Rengøring af værktøj, ekstrudering 350
 Rensning af filtre, polyurethanmaskine 502
 Reologi 46, 183
 Reparation, polyurethanmaskine 506
 Reparationsmetoder, fiberforstærket hærdeplast 478
 Repetitionsenhed 18
 Resin Transfer Moulding 469
 Resitol 109
 Resol 109
 Restkøletid, beregning 179
 Restkøletidsserie 228
 Restkøletidsserie, start 228
 Restpude 162, 235
 Ribbetorpedo-cylindren 147
 Ridser 347
 Rillemodhold 259
 RIM-proces 491
 Ringindløb 252
 Rotationsstøbning 461
 Rotationsstøbning af trekammertank 463
 Rotationsstøbning, fordele 462
 Rotationsstøbning, processen 462
 Rotationsstøbning, ulemper 462
 Roterende folieværktøj 363
 Rovingvæv 117
 RRIM 491
 RTM 469
 Rulleautomatmaskiner 434
 Rumvægt 414
 Roranlæg, opstart 374
 Roranlæg, stop 374
 Rørekstrudering 369
 Rørekstrudering, PE-værktøj 370
 Rørekstrudering, PP-værktøj 370
 Rørekstrudering, spændinger 373
 Rørekstrudering, svind 373
 Rørekstrudering, trækbanken 373
 Rørfremstilling med fladdysseværktøj 384

Rørdstøder 261
 Rørværktøj 304, 369
 Råvarefejl, PUR 506
 Råvarekontrol 344
 Råvarekontrol af epoxysystemer 477
 Råvarekontrol af
 orstærkningsmateriale 477
 Råvarekontrol af polyesterharpikser 476
 Råvarekontrol af prepregs 478

S

Samlemuffe 374
 Sammenflydningsøm 392
 Sammenføjning 535
 Sammensatte snekker 319
 SAN 69, 280, 285
 SAN, anvendelse 70
 SAN, egenskaber 70
 SAN, forarbejdningsmetoder 70
 SAN, handelsnavne 70
 Sandwich-støbning 294
 Sandwichkonstruktion 474
 Satin-væv 125
 Sav 374, 380, 382
 Savning, 555
 SB 69, 280, 285
 SB, anvendelse 70
 SB, egenskaber 69
 SB, forarbejdningsmetoder 70
 SB, handelsnavne, 70
 SCRIMP 470
 Sekundære bindingskræfter 16
 Sekundærkøling 365
 Selvskærende indløb 248
 Separering 506
 Seriekøling 508
 Sfærolitter 24
 Sheet Moulding Compound 468, 518
 Shore A 51
 Shore D 51
 Sidefødt folieværktøj 361
 Sidefødt slangehoved 392
 Sidefødt, 387
 Sikkerhed ved sprøjtstøbmaskinen 207
 Sikkerhed, polyurethanstøbning 513
 Sikkerhedsforanstaltninger,
 specielle 211
 Sikkerhedskredslob 208
 Sikkerhedsskærm 392
 Silaner 127
 Silicium 14
 Silikonegummi 531
 Simpelt væv 124
 Sizing 127
 Sjælstruktur 273, 274
 Skal-værdi 152, 197
 Skrumpling 274
 Skud 118
 Skudtid 496
 Skudtråde 124
 Skudvolumen 148
 Skydebomuld 9
 Skydelukkedyse 173

Skæg på dysen 347
 Skærehastighed 548, 550, 552
 Skærekanter 402
 Skæreplade 402
 Skærering 401, 402, 406
 Skærmindløb 249
 Skærmindløb, falsk 249
 Skærmindløb, kegleformet 249
 Slabstock 502
 Slabstockanlæg 502
 Slagfast polystyren 19, 68, 69
 Slagprøvning 413
 Slagsejhed 51
 Slange, profileret 397
 Slangehoved 389, 392
 Slangehoved, bundfødt 393
 Slangehoved, sidefødt 392
 Slangelængdestyring 412
 Slipmidler 292, 495
 Slipvinkel 261, 433
 Slipvinkler, regler for 445
 Slitage 165
 Slæde 400
 SMC 467, 518
 Smelteindeks 27, 64
 Smelteindeks, apparat til
 bestemmelse af 65
 Smelteinterval 42
 Smeltepumpe 354
 Smeltepunkt 40
 Smeltetemperatur 40, 42
 Smeltetryk 168
 Smøremidler 29, 525
 Sabelindløb 248
 Snekke 314
 Snekke-ekstruder 537
 Snekke-gængedybde 163
 Snekke-gængestigning 163
 Snekke, benævnelser 163
 Snekke, forskydelig 323
 Snekkegeometri og snekkeudnyttelse 163
 Snekkegeometri, krav til 319
 Snekkekarakteristik 338
 Snekkekonstruktion 321
 Snekketiløb 324, 335
 Snekkens data 321
 Snekkens kompressionsforhold 317
 Snekkens positioner og benævnelser 161
 Snekkens stigning 316
 Snekkens udseende 335
 Snekkens vigtigste benævnelser 321
 Snekkens zoneopdeling 316
 Snekkeomdrejninger 170, 345
 Snekkeprofil 163
 Snekker, sammensatte 319
 Snekerotation under indsprøjtning 205
 Snekkeslitage 165
 Snekkespids 320
 Snekkespids med tilbageløbsspærre 165
 Snekkestriber 349
 Snekketype 315, 317
 Spaltebredde 275
 Spaltehøjde 275
 Spaltelængde 367

Spalteåbning 367
 Specialfarvestoffer 31
 Specialplast 63
 Specialsnekke 315
 Specielle sikkerhedsforanstaltninger 211
 Specielt doseringsprogram 206
 Specifik varme 44
 Specifik volumenmodstand 54
 Specifikation 343
 Specifikt tryk 169
 Specifikt volumen 185
 SPI-gelttime-test 101
 Spidningsvinklen 553
 Spiralbor 553
 Spoleapparat 374
 Spredningstemperatur 44
 Sprøjteaggregat frem 197
 Sprøjteblæseproces, kontinuert 420
 Sprøjteblæsning 419
 Sprøjteenhed, funktionsprincip 151
 Sprøjteenhedens funktion 161
 Sprøjteoplægning 466
 Sprøjtepresning 467, 520
 Sprøjtepresning, automatisk 519
 Sprøjtestøbecyklus 146, 194
 Sprøjtestøbeenhed 159
 Sprøjtestøbeenhed med
 forplastificering 160
 Sprøjtestøbeenhedens udvikling 148
 Sprøjtestøbemaskine, de første 146
 Sprøjtestøbemaskine, hovedelementer 150
 Sprøjtestøbemaskine, moderne 149
 Sprøjtestøbemaskine, sikkerhed 207
 Sprøjtestøbemaskine, vedligeholdelse 206
 Sprøjtestøbeprocess og
 procesberegninger 178
 Sprøjtestøbeteknikker, alternative 294
 Sprøjtestøbeværktøjets
 hovedbestanddele 245
 Sprøjtestøbeværktøjets opbygning 245
 Sprøjtestøbning 145
 Sprøjtestøbning, fastlæggelse af
 procesparametre 212, 215
 Sprøjtestøbning, hjælpeudstyr 243
 Sprøjtestøbning, planlægning 212
 Sprøjtestøbning,
 produktionsforberedelse 191
 Sprøjtestøbning, temperaturregulering 265
 Sprøjtestøbning, værktøjer 243
 Sprøjtestøbning, værktøjsfremstilling 243
 Sprøjtestryksdiagram 169
 Spændebolte 312
 Spændejern 174
 Spændejernets hældning 175
 Spændesystemet "Ideal" 176
 Spændinger, rørekstruder 373
 Spændings-tøjningsforløb 47
 Spændingsrelaksation 51
 Spændingsrevnedannelse 57
 Spærering 331, 411
 Spåntagning 547
 Spåntagning, køling 554
 Spånvinklen 553
 Stabilisator, PUR 494

- Stabilisatorer 28, 102
 Stabiliseringsmidler 525
 Standard-phenolplast 109
 Standardafvigelse 236
 Standardiseret dyseanlæg 171
 Standardpolystyren 284
 Standardsikkerhedsudstyr 207
 Stangværktøj 380
 Stanseudstyr 407
 Start på eftertryksserie 221
 Start på forsejlingsserie 224
 Start på fyldeskudsserie 217
 Start på restkøletidsserie 228
 Statisk opladning af termoplastiske plader 439
 Stavbjælke 381
 Stearineffekt 330
 Stempel-ekstruder 537
 Stempelindsprøjtning, procesforløb 148
 Stempelsprøjttestøbmaskine 147
 Stift integralskum 488
 Stift PUR 488
 Stift PUR-skum 489
 Stiftudstøder 261
 Stigetid 496
 Stiv PVC 73
 Stiv PVC, anvendelse 74
 Stiv PVC, egenskaber 73
 Stiv PVC, forarbejdningsmetoder 74
 Stive polyurethaner 488
 Stockblender 527
 Stop af folieanlæg 366
 Stop af kabelisolerings- og kapperørsanlæg 388
 Stop af monofilamentanlæg 387
 Stop af plade- og planfolieanlæg 384
 Stop af profilanlæg 379
 Stop af røranlæg 374
 Stopprocedure, blæsestøbning 408
 Stopsnekke 327
 Stopstænger 264
 Stribe, blæsestøbning 416
 Striber, matte 348
 Stropindløb 250
 Struktur og svind 274
 Strukturformel for phenolplast 22
 Strækblæsning 418
 Strækning 333
 Strækning af plade 441
 Strømningskanaler 393
 Strømningskarakteristik 357
 Strømpe 389
 Stuksvejseforløb 538
 Stuksvejsemaskine 538
 Stuksvejning 538
 Styren-acrylnitril-copolymer 69
 Styren-butadien-copolymer 69
 Styrenbaserede termoplast 68
 Styrenbaserede terpolymerer 72
 Styrenbaserede TPE 94
 Styrenfordampningshæmmende additiver 103
 Styrring 245
 Styretap 401
 Styling af godstykkelse ved hjælp af varme 351
 Styling, formtemperatur 544
 Stylingsteknik 149
 Styrke, mekanisk 45
 Størkning af indløbspunktet 267
 Størkningspunkt 40
 Størkningssvind 214, 272
 Størrelseskromatografi 65
 Submarine 248
 Sugehuller 454
 Sugehuller, forme 446
 Suger 326
 Svejsehorn 542
 Svejsekraft 538
 Svejseleder 542
 Svejsepistol 536
 Svejsesko 537
 Svejsesøm 392
 Svejsetid 539
 Svejsning 535
 Svejsning, folie 366
 Svind 266, 271
 Svind, rørestrudering 373
 Svindforhold 214
 Svindprocent 272
 Svovlholdig plast 88
 Symboler, grundstoffer 14
 Symboloversigt, blæsestøbning 391
 Synlige spor efter dornholder 349
 Syntetisk gummi 529
 Systematisk inddeling, plastpolymerer 61
 Systematiske variationer 236
- T**
 Tandantal, valg af 555
 Tangential-mikser 526
 Tapindløb 246
 TDI 493
 Teknisk 98 %'s formfyldning 219
 Tekniske termoplast 63
 Tekstilteknologi 123
 Temperaturforhold ved PVC 329
 Temperaturføler 325
 Temperaturindeks 44
 Temperaturindstilling ved sprøjtestøbning 278
 Temperaturprofil 337
 Temperaturregulering, sprøjtestøbning 265
 Temperaturstyrede varmeelementer 432
 Temperaturstyring af forme 447
 Temperaturstyringsinstrumenter 325
 Temperatursætning 336
 Tempereringsaggregat 177
 Tempereringsmetoder, forme 447
 Teoretisk formfyldning 226
 Terminologi 11
 Termisk ledningsevne 130
 Termisk udvidelse 44
 Termoform-forme, materialer til 444
 Termoform-forme, udføringsregler 445
 Termoform-materialer, egenskaber 453
 Termoformmaskine, opbygning 422
 Termoformmaskinen 421
 Termoformning 421
 Termoformning, afformning 433
 Termoformning, fejl 451
 Termoformning, friktion 437
 Termoformning, indkøring 423
 Termoformning, kontrol 451
 Termoformning, køletid 442
 Termoformning, køling 432
 Termoformning, materialeegenskaber 436
 Termoformning, opstilling 422
 Termoformning, opvarmning 429
 Termoformning, opvarmningsmetoder 430
 Termoformning, procesforløb 435
 Termoformningsmetoder 424
 Termoplast 24
 Termoplast, styrenbaserede 68
 Termoplastens opførelse under køling 442
 Termoplastisk polyurethan 94
 Termoplastiske elastomerer 26, 93
 Termoplastiske polyesterer 81
 Termoplasts opførelse ved opvarmning 440
 Terpolymer 71
 Tetrafluorethylen-hexafluorpropylencopolymer 87
 Texværdi 118
 Thioestere 29
 Tids-intervalreguleret el-tilførsel 325
 Tiksotoperingsmidler 102
 Tiksotropi 102
 Tilbageføring af sprøjteaggregat 200
 Tilfældige variationer 236
 Tilslutning af værktøjskøling 176
 Tilspænding 548, 552
 Tilstandsform 40
 Tilsætningsstoffer 28
 To-trins-udstødning med tilbagestryksenhed 262
 To-komponent støbning 293
 Tolerancebestemmelse 238
 Toluen-di-isocyanat 493
 Tomgangscyklus 205
 Topcoat 103, 132, 465
 Topcoatskader 480
 Topflap 391
 Torpedo 393
 Torpedo-sprøjteenhed 147
 Totalsvind 214, 272
 Touch screen-styring 149
 TPE 93
 TPE, amidbaserede 95
 TPE, anvendelse 95
 TPE, egenskaber 94
 TPE, esterbaserede 95
 TPE, forarbejdningsmetoder 95
 TPE, handelsnavne 95
 TPE, olefinbaserede 94
 TPE, styrenbaserede 94
 TPE, urethanbaserede 94
 TPU 94, 488
 Traditionel drejebænk 549
 Traditionel fræsemaskine 551
 Tragt, ekstruder 326
 Transferformning, gummi 528

- Transfermetode, pressestøbning 520
 Transmissionsgrad 429
 Transporttid 496
 Trapezformet tværsnit, fordelerkanal 258
 Traverskøling 312
 Treatning 352
 Treatning, bægre og hule emner 353
 Treatning, flasker 353
 Treatning, folie 352, 364
 Treatning, kapperør 353
 Tre dobbeltbinding 17
 Trekammertank, rotationsstøbning 463
 Trepunktstøjeprovning 49
 Trezone-snekke 163
 Triaksialt væv 118
 Trykafkastning 168
 Trykkalibrator 372
 Trykarakteristik 538
 Tryklufformning, fejlsøgning 459
 Trykprovning 413
 Tryksækmetode 468
 Trykudligning 434
 Trækbænk, kabelisolerings- og kapperørsanlæg 388
 Trækbænk, profi-lekstrudering 379
 Trækbænk, rørekstrudering 373
 Trækprovning 355
 Trækstænger 264
 TUL 44
 Tunnelindløb 248
 Tværsnit af fordelerkanal 258
 Tykkelsestolerance 452
 Tykvægssvejsning 535, 536
 Tyndvægssvejsning 535, 541
 Tæthedskontrol 407
 Tæthedskontrol, blæsestøbning 412
 Tætning af køleindsatse 269
 Tøjning 48
 Tøjningskorrosion 57
 Tørcyklus 205
 Tørslibning 480
- U**
 Ubalanceret væv 118
 Udfaldsovervågning 204
 Udformningen af limfuger 544
 Udformningsregler for termoform-forme 445
 Udhærdningsgrad 101
 Udligningskammer 250
 Udluftning, PUR-værktøj 508
 Udluftningshuller, form 401
 Udregning af udstøderforlænger 177
 Udstøder, opmåling 177
 Udstøderareal 261
 Udstøderens indstilling 177
 Udstøderforlænger, udregning 177
 Udstøderkasse 263
 Udstøderkonstruktion, krav til 259
 Udstøderkonstruktioner 259
 Udstødersystem 263
 Udstødersystem, hydraulisk 260
 Udstødersystem, maskinens 260
- Udstødning 201
 Udvidelse, termisk 44
 UF 111
 UF, anvendelse 112, 114
 UF, egenskaber 111
 UF, forarbejdningsmetoder 112
 UF, handelsnavne 112
 Ulemper ved rotationsstøbning 462
 Ultra high molecular weight-polyethylen 63
 Ultralet PUR-skum 489
 Ultralydsskanner 413
 Ultralydssvejsning 542
 Umættede polyesterharpiks 98
 Umættet forbindelse 17
 Umættet polyester 98
 Underskæringer 435
 Universalsnekke 159
 Uorganiske additiver 32
 Uorganiske pigmenter 31, 290
 UP 98
 Urea 111
 Urethanbaserede TPE 94
 Urinstof 111
 UV-stabilisatorer 29, 292
 UV-stabilisatorer, PUR 495
- V**
 Vakuuminjektionsmetode 470
 Vakuuminformning, fejlsøgning 457
 Vakuumkanalibrator 372
 Vakuummethode 468
 Vakuumbstøbning 470
 Valg af limtype 545
 Valg af tandantal 555
 Valseværk, åbent 526
 Vandabsorption 55
 Vandfilm 372
 Vandring 399
 VARI 470
 Variationer, systematiske 236
 Variationer, tilfældige 236
 Varme-/kølekanaler i PUR-værktøj 508
 Varme, specifik 44
 Varmebån 328
 Varmedyser 254
 Varmeelementer, pladetemperaturstyrede 432
 Varmeelementer, temperaturstyrede 432
 Varmeelementer, ydelsesstyrede 432
 Varmeelementtyper 431
 Varmeformbestandighed 229
 Varmeformbestandighedstemperatur 202
 Varmekanaler 252
 Varmekanalfordeler med nåleventil 252
 Varmeledningsevne 44
 Varmemikser 358
 Varmesivetid 539
 Varmespejl 538
 Varmestabilisatorer 28, 292, 329
 Varmetilførselsmetoder 325
 Varmetrådssvejsning 541
 Varmezoner 312
- Varmhærdning 102
 Varmluftsvæjsning 536
 Varmpresning 466
 VARTM 470
 Vedhæftning ved coekstrudering 309
 Vedhæftning, polyester 479
 Vedligehold af procesudstyr, polyurethanstøbning 502
 Vedligeholdelse, sprøjtestøbmaskinens 206
 Vedligeholdelsesplan 206
 Ventiludstøder med fingerkøling 268
 Vifteindløb 250
 Vikling 470
 Vinylestere 99
 Virkemåde, hærdeplast 97
 Viskoelastisk deformation 46
 Viskose sjæl 272
 Viskose sjæl, indefrysning 273
 Viskose sjæls forgrening 277
 Visuel 98 %'s formfyldning 219
 Visuelle fejl 347
 Vogn 400
 Volumenbestemmelse, ekstrudering 317
 Volumenformindskelse 271
 Volumenmodstand, specifik 54
 Volumenplast 63
 Volumenvægt 414
 Vulkaniseringsmidler 525
 Vulst 371
 Vægtkontrol 398
 Vægtspredning 230
 Værktøj, kabelisolerings- og kapperørsekstrudering 387
 Værktøj, sidefødt 387
 Værktøjer, ekstrudering 350
 Værktøjer, sprøjtestøbning 243
 Værktøjet, monofilamentekstrudering 384
 Værktøjs-indertryk 183
 Værktøjsflange 312
 Værktøjsfremstilling, sprøjtestøbning 243
 Værktøjshøjde 193
 Værktøjsindbygningshøjde 263
 Værktøjsindbygningsmål 192
 Værktøjskonstruktion 244
 Værktøjsskøling, tilslutning 176
 Værktøjsopspænding 174
 Væv, balanceret 118
 Væv, orientering 120
 Væv, parametre 120
 Væv, ubalanceret 118
 Vævede fiberprodukter 117
 Vævet roving 117
 Vådslibning 480
- W**
 WUPPI-ordning 141
- Y**
 Ydelsesgraf 345
 Ydelsesstyrede varmeelementer 432

Z

Zoneopdeling, snekkens 316

Æ

Ædelgasser 14

Ædelmetaller 14

Ø

Øvrige anvendelsesområder, PUR 491

Å

Åben dyse 170

Åbent valseværk 526

ϵ -caprolactam 20

PlastTeknologi er den dækkende og overskuelige introduktionsbog til hele spektret af plastteknologi. Den beskriver udførligt de forskellige forarbejdningsprocesser i plastindustrien, ligesom plastmaterialernes egenskaber bliver gennemgået i de indledende kapitler. Den er udformet som lærebog til plastmageruddannelsen, men kan også anvendes af universitetsstuderende inden for plastteknologi og andre ingeniørdiscipliner, samt for læsere med brug for en generel introduktion til området.

PlastTeknologi er skrevet i et letlæseligt sprog, og teksten er overalt ledsaget af billeder og farvelagte illustrationer, der understøtter indlæringen. PlastTeknologi er også en opslagsbog. Den kan derfor anvendes alle steder, hvor der er brug for en lettilgængelig viden om plast.



ISBN: 978-87-988783-4-6

EAN 9788798878346



Plastindustrien.

<http://plast.dk>