



Module F Branche- en procesbeschrijvingen



1	Beknopte branchebeschrijving rubber- en kunststofverwerkende industrie	2
2	Procesbeschrijvingen Kunststofverwerking.....	3
2.1	Blazen	3
2.2	Extrusie	4
2.3	Harsverwerking open maltechnieken.....	5
2.4	Harsverwerking gesloten maltechnieken.....	6
2.5	Schuimen.....	8
2.6	Spuitsieten.....	10
2.7	Thermovormen	11
2.8	Procesbeschrijving Lijmen en voegkitten	12
2.9	Recyclen van kunststof	15
3	Procesbeschrijvingen Rubbervormgeving.....	17
3.1	Wegen en mengen van rubbercompounds	17
3.2	Vormgeving rubber.....	18
3.3	Vulcaniseren.....	19
4	Verwerking van zacht-PVC.....	20

Onder redactie van:

FO-Industrie, Postbus 18505, 2502 EM Den Haag, Telefoon (070) 345 14 15

Fax (070) 363 50 84

E-mail: mail@fo-industrie.nl

Internet: www.fo-industrie.nl

1 Beknopte branchebeschrijving rubber- en kunststofverwerkende industrie

De rubber- en kunststofverwerkende industrie telt ongeveer 50 rubber- en 1.200 kunststofverwerkende bedrijven. Bijna 9 van de 10 bedrijven heeft minder dan 50 werknemers in dienst. In totaal zijn ruim 34.000 personen werkzaam in deze industrie: circa 4.500 bij de rubberverwerkers en 30.000 bij de kunststofverwerkende bedrijven. De totale omzet van de rubber- en kunststofverwerkende industrie bedroeg in 2000 ongeveer 5 miljard Euro.

De rubber- en kunststofbedrijven in Nederland richten zich met hun activiteiten op diverse branches. Ongeveer eenderde van de bedrijven is actief op het gebied van toelevering. Dat betreft niet alleen de vervaardiging van technische onderdelen, maar ook andere componenten die uiteindelijk worden afgezet aan industriële bedrijven. Daarnaast richt circa 20% van de rubber- en kunststofverwerkers zich op de verpakkingbranche, eveneens 20% van de bedrijven is actief in de bouw en nog eens 20% produceert consumenten eindproducten. De resterende 7% is actief voor andere sectoren. (www.nrk.nl)

Binnen de rubber- en kunststofverwerkende industrie is een groot aantal verschillende verwerkingstechnieken te onderscheiden. De belangrijkste worden in dit werkboek beschreven.

Kunststofverwerkende industrie:

- Blazen
- Extrusie
- Harsverwerking open maltechniek
- Harsverwerking gesloten maltechniek
- Schuimen
- Smitgieten
- Thermovormen

Rubberverwerkende industrie:

- Wegen en mengen van rubbercompounds
- Vormgeving rubber
- Vulcaniseren

2 Procesbeschrijvingen Kunststofverwerking

2.1 Blazen

- Extrusieblazen
- Folieblazen
- Milieuaspecten

Extrusieblazen

Extrusieblazen (of extrusievormblazen) is een proces waarbij de warme gesmolten kunststof, die in de vorm van een buis uit de spuitkop van een extruder komt, tussen twee halve vormen (matrijshelften) wordt dichtgeknepen. Direct daarna wordt de plastische buis met perslucht tegen de matrijswand geblazen. Doordat tijdens het blazen de wanddikte niet overal gelijk blijft, ontstaan wanddikteverschillen in het product. Dit kan gedeeltelijk worden vermeden door gebruik te maken van een spuitkop die in staat is een 'buis' te produceren met een variërende wanddikte. Hierdoor kan daar waar de grootste rek optreedt extra materiaal worden toegevoegd.

Door middel van extrusieblazen worden holle voorwerpen gemaakt: flessen, potten of jerrycans.

Folieblazen

Folieblazen - ook wel extrusierekblazen genoemd - is een zeer specifieke techniek voor de fabricage van folies. Uit een roterende spuitkop van de extruder komt een buis met een heel dunne wand. Deze wordt met lucht opgeblazen, waardoor in een continu proces een enorme plastic ballon ontstaat. Als die afgekoeld is, wordt de folie opgerold en eventueel opengesneden tot bijvoorbeeld zakken.

Milieuaspecten: zie Extrusie

2.2 Extrusie

- Extrusie algemeen
- Co-extrusie
- Milieuaspecten

Extrusie algemeen

Extrusie is een continu fabricageproces, waarbij thermoplastische kunststof (meestal granulaat) via een trechter in een extruder loopt. De extruder bestaat uit een cilinder waarin het granulaat vrijwel altijd wordt verplaatst door één of twee schroeven en tegelijkertijd wordt geplastificeerd/gesmolten. De warmteoverdracht vindt plaats door de wand van de cilinder met behulp van verwarmingselementen en door wrijvingswarmte die door de schroefrotatie in het materiaal wordt opgewekt. De spuitkop (spuitopening) geeft de gewenste vorm aan het materiaal: buis, profiel, plaat, enzovoort. Zodra de kunststof de spuitmond verlaat, wordt deze gekoeld en heeft het product zijn vaste vorm.

In principe kunnen alle thermoplastische kunststoffen geëxtrudeerd worden, mits ze een lage smeltviscositeit hebben. Bij het verlaten van de extrusiematrijs mag het profiel zijn vorm niet verliezen voordat het is afgekoeld. Het meest gebruikt wordt polyethyleen (PE), polyvinylchloride (PVC), polystyreen (PS) en polypropyleen (PP), maar ook acrylonitril-butadien-styreen (ABS), polycarbonaat (PC), polymethylmethacrylaat (PMMA) en een aantal andere thermoplastische kunststoffen zijn extrudeerbaar. Voor meer informatie over de verwerking van zacht-PVC wordt verwezen naar de aparte beschrijving daarvan.

Co-extrusie

Het co-extrusieproces is op te vatten als het uitvoeren van meerdere extrusies tegelijkertijd. Het resultaat is een profiel, plaat of folie die is opgebouwd uit twee lagen materiaal, afkomstig uit twee verschillende extruders. Tegenwoordig kan via co-extrusie ook een opbouw uit (veel) meer dan 2 lagen worden verkregen.

Door verschillende materialen naast elkaar te extruderen kunnen bijvoorbeeld profielen worden gefabriceerd met een flexibel deel en een stijf deel in één productiegang.

Co-extrusie wordt vooral daar toegepast waar de voordelen van de verschillende lagen worden gecombineerd, zoals bij verpakkingen waar barrière-eigenschappen kunnen worden gecombineerd met waterafstotendheid.

Milieuaspecten

De belangrijkste milieuaspecten bij extrusie zijn energieverbruik en het ontstaan van kunststofreststromen (onder meer door instelverliezen, afkeur en schoonmaak/doorspuiten van apparatuur). De machine en de randapparatuur verbruiken het merendeel van de energie. Daarnaast wordt energie verbruikt voor koeling van het product, ruimteverwarming, verlichting, ventilatie en opwekking van perslucht en dergelijke.

Het gevaarlijk afval dat bij extrusie ontstaat bestaat grotendeels uit emballage van gevaarlijke stoffen, olie afkomstig van lekkage van machines (olie en olie-water-mengsel) en het onderhoud van machines (afgewerkte olie), alsmede uit poetsdoeken en adsorptiekorrels die met olie vervuild zijn. Een andere belangrijke bron van gevaarlijk afval zijn restanten van grond- en vooral hulpstoffen (voor bijvoorbeeld nabewerkingsstappen als bedrukken).

Bij extrusie kunnen emissies naar lucht vrijkomen bij de invoerzone en ontgassingszone van de extruder en bij de spuitmond. Verder kunnen emissies ontstaan indien het product wordt behandeld met ozon teneinde de bedrukbaarheid te verbeteren.

Water wordt met name toegepast voor productiekoeling: oliekoeling en matrijskoeling en in mindere mate voor sanitaire doeleinden.

Emissies naar water treden beperkt op. In de meeste gevallen worden de productieruimten droog gereinigd. In de gevallen waar nat wordt gereinigd kan eventueel een emissie van olie (lekkage machines) naar water optreden. In enkele gevallen waar doorstroomkoeling wordt toegepast dient rekening te worden gehouden met een geringe uitloging van het product naar het water.

2.3 Harsverwerking open maltechnieken

- Inleiding
 - Hand lay-up (handlamineren)
 - Vezelspuiten
 - Wikkelen
 - Milieuaspecten
-

Inleiding

Bij harsverwerking middels open maltechnieken wordt het product laagsgewijs opgebouwd door verschillende versterkingslagen met hars (onverzadigde polyesters (UP) of epoxyhars (EP)) te impregneren, tot de gewenste productdikte is bereikt. Voor de vormgeving wordt uitgegaan van een open matrijs, die bestaat uit de positieve of soms negatieve vorm van het product, waarbij de open zijde in direct contact staat met de omgeving. Tijdens de uitharding van het hars blijft een zijde in open verbinding met de omgevingslucht. Styreen is over het algemeen de grondstof voor de polymerisatie van de polyester en dient tevens als oplosmiddel om de vereiste viscositeit te verkrijgen. Het polymerisatieproces wordt geïnitieerd door toevoeging van een katalysator (versneller). Bij verwerking op kamertemperatuur is daarnaast een initiator nodig. Andere hulpstoffen zijn UV-absorbentia, vulstoffen en pigmentpasta's.

Gangbare open maltechnieken zijn handlamineren (ook wel hand lay-up genoemd), vezelspuiten en wikkelen.

Hand lay-up (handlamineren)

Een droge vezelversterking wordt handmatig geïmpregneerd met een vloeibare hars in een droge mal, waarbij het product uithardt bij kamertemperatuur onder atmosferische druk.

Nadat de mal behandeld is met een lossingsmiddel en/of was, wordt een eerste laag hars aangebracht. Als eerste deklaag op de matrijs kan een zogenaamde 'gelcoat' worden gebruikt (hars zonder vezels, eventueel met kleurstof), die de oppervlaktelaag van het product vormt. Vervolgens wordt een wapeningslaag aangebracht, bestaande uit losse korte vezels, glasroving, glasmat of een ander weefsel. Met kwasten en rollers worden de vezels verzadigd met hars en wordt ingesloten lucht verwijderd. Dit procédé wordt herhaald tot de gewenste eigenschappen en materiaaldikte zijn bereikt. Nadat het hars voldoende is uitgehard, wordt het vormstuk van de mal gelost en zonodig nabewerkt.

Vezelspuiten

Deze techniek is een gemechaniseerde vorm van handlamineren. Hars en gesneden glasrovings worden gelijktijdig op een enkelvoudige mal gespoten. Het wapeningsmateriaal wordt in de vorm van rovings door een snijapparaat gevoerd en op de gewenste vezellengte gesneden. Het snijapparaat en de harssproeikop vormen meestal één geheel. De gesneden roving wordt in de harsstraal geslingerd en meegevoerd. Vervolgens wordt de aldus aangebrachte laag aangerold en ontlucht. Dit procédé wordt herhaald tot de gewenste eigenschappen en materiaaldikte zijn bereikt. Nadat het hars voldoende is uitgehard, wordt het vormstuk van de mal gelost en zonodig nabewerkt.

Wikkelen

Bij wikkelen worden glasvezel draden (rovings) in een harsbad met polyesterhars doordrenkt en vervolgens om een ronddraaiende kern (mal) gewikkeld volgens een precies vastgelegd patroon. Het wikkelen kan met de hand gebeuren, maar ook op speciale computergestuurde (CNC)-machines. Wanneer de mal voldoende omwikkeld is, gaat deze in een autoclaaf om onder gecontroleerde condities uit te harden. Na uitharding van de kunststof wordt de wikkeldoorn uit het product genomen.

Dit kan geschieden doordat de wikkeldoorn lossend (deelbaar) is, maar kan ook door middel van smelten, oplossen of uitbikken. Bij het wikkelen gebruikt men voornamelijk onverzadigd polyester (UP) en epoxyhars (EP). Als vezelversterking gebruikt men uni-directionele garens of banden. De wikkeldoorns kunnen vervaardigd zijn uit aluminium, kunststof, hout of een speciaal zout (vanwege de oplosbaarheid). In sommige gevallen maakt de wikkeldoorn onderdeel uit van het product zelf (bijvoorbeeld vliegwielen).

Milieuaspecten

Het belangrijkste milieuaspect bij harsverwerking is de emissie van styreen (vooral bij open maltechnieken) aan het oppervlak van de mal tijdens het opbrengen van de hars (dynamische fase) en tijdens het uitharden (statische fase) en van reinigingsmiddelen (vluchtige organische stoffen) als aceton en dichloormethaan (DCM) naar lucht. Deze stoffen veroorzaken tevens geuroverlast. Daarnaast ontstaat kunststofafval in de vorm van onder andere uitgeharde harsresten, harsresten uit spuit- en mengapparatuur, snijafval, afgekeurde producten en oude mallen. Het gevaarlijk afval bestaat voornamelijk uit vervuild emballagemateriaal, niet-uitgeharde harsresten, hars over de gebruikstijd, harder, gelcoat en versneller, vervuilde oplos- en schoonmaakmiddelen en inliners (kunststof binnenzakken van harsvaten) met harsresten en pigmenten.

Het energieverbruik bestaat vooral uit elektriciteitsverbruik voor ventilatie en in mindere mate voor verlichting en uit gasverbruik voor ruimte- (en opslag-)verwarming. Water wordt met name toegepast voor sanitaire doeleinden.

2.4 Harsverwerking gesloten maltechnieken

- Inleiding
- Vacuümtechnieken
- Gieten
- Pultrusie
- Sheet Moulding Compound
- Bulk Moulding Compound
- Resin Transfer Moulding
- Milieuaspecten

Inleiding

Bij harsverwerking middels gesloten maltechnieken wordt het product gevormd door een glasvezelmat in een dubbele vormholte te leggen, waarna de vormholte wordt gesloten en de hars (onverzadigde polyesters (UP) of epoxyhars (EP)) wordt ingebracht.

Styreen is over het algemeen de grondstof voor de polymerisatie van de polyester en dient tevens als oplosmiddel om de vereiste viscositeit te verkrijgen. Het polymerisatieproces wordt geïnitieerd door toevoeging van een katalysator (versneller). Bij verwerking op kamertemperatuur is daarnaast een initiator nodig. Andere hulpstoffen zijn UV-absorbentia, vulstoffen en pigmentpasta's.

Er zijn diverse gesloten maltechnieken mogelijk, zoals koud en warm persen (zie onder thermovormen), vacuümtechnieken, gieten, sheet moulding compound (SMC: een vorm van warm persen), bulk moulding compound (BMC) en resin transfer moulding (RTM).

Vacuümtechnieken

Vacuümtechnieken behoren tot de groep van de gesloten maltechnieken voor de verwerking van kunststofharsen. Er bestaan verschillende vacuümtechnieken, maar het verwerkingsprincipe is steeds hetzelfde. De verdeling van de hars en de impregnatie van de versterking komen tot stand door het drukverschil tussen de binnenkant van de matrijs, waar vacuüm wordt getrokken en de buitenomgeving van de matrijs.

De hars kan ofwel op voorhand worden aangebracht, lokaal zonder verdere verdeling, ofwel rechtstreeks door middel van vacuüm in de matrijs worden gezogen. Voor de uitharding wordt niet of weinig verwarmd. De katalysator (bijvoorbeeld MEK-peroxide) en de versneller (vaak een cobaltzout) worden op voorhand aan het hars toegevoegd.

Bij het vacuüminjectiesysteem wordt een folie als tweede malzijde gebruikt en wordt het vacuüm gebruikt als stuwende kracht om de hars door het vezelpakket (versterkingsmateriaal) te duwen. Eerst wordt het versterkingsmateriaal aangebracht in de mal. Vervolgens wordt over de mal een rekbare folie gespannen. De mal is voorzien van diverse injectiepunten en kanalen voor het toevoeren van hars en voor het creëren van een vacuüm.

Gieten

Bij het gieten gebruikt men meestal onge vulde harsen. De voornaamste zijn fenolharsen (PF), onverzadigde polyesters (UP) en epoxyharsen (EP). De voorwerpen worden gemaakt door in een matrijs vloeibare hars te gieten, die men dan drukloos - al of niet bij verhoogde temperatuur - laat doorharden. De bij het uitharden, onvermijdelijk optredende krimpeffecten, kunnen sterk gereduceerd worden door het toevoegen van vulstoffen zoals kwartsmeel, talk, houtmeel, enzovoort. Tijdens het gieten dient men ervoor te zorgen dat er geen luchtbelletjes worden ingesloten.

Een bijzondere vorm van gieten, betreft het incapsuleren van voorwerpen; elektronische onderdelen kunnen bijvoorbeeld omhuld worden met een hars, zodat ze volledig geïsoleerd zijn en beschermd tegen invloeden van buitenaf.

Een variant op gieten is centrifugaal of rotatiegieten, waarbij de hars en versterker in een holle, negatieve vorm worden gebracht, die vervolgens roteert. De centrifugaalkracht zorgt ervoor dat het materiaal tegen de wand wordt gedrukt en uithardt.

Rotatiegieten wordt eveneens toegepast voor thermoplasten, die veelal in poedervorm in de vorm worden gebracht en vervolgens geplastificeerd en via rotatie worden verdeeld over de mal.

Pultrusie

Pultrusie is een techniek die veel weg heeft van extrusie: een bundel (glas)vezel die in hars gedrenkt is, wordt door twee of meer vormgevingsmatrijzen getrokken. Vervolgens wordt een verwarmingszone doorlopen en hardt de hars uit. De eerste matrijs (de preforming) verwijdert het overtollige hars en de ingekapselde lucht. Voor pultrusie kunnen alle warmhardende harsen gebruikt worden, meestal onverzadigde polyesters (UP) of epoxyhars (EP). Men kan alle continue uni-directionele vezelsoorten gebruiken, maar het meest gebruikt zijn de glasvezelgaren.

Sheet Moulding Compound

De term Sheet Moulding Compound (SMC), ook wel warm persen genoemd, verwijst zowel naar het materiaal als een verwerkingstechniek.

Men gaat uit van zogenaamd prepreg, bestaande uit bundels vezels die evenwijdig zijn gelegd en ingebed in enigszins voorgeharde thermohardende hars (onverzadigd polyester).

De (thermohardende) hars heeft een zeer hoge viscositeit, zodat het halffabrikaat eenvoudig is te hanteren. De geïmpregneerde vezels (prepreg), in de vorm van een dunne plaat (Sheet Moulding Component), worden in een verwarmde (metallische) matrijs (pers) geplaatst. De hoge temperatuur van de matrijs zorgt ervoor dat de compound eerst verweekt en dus makkelijker in de vormholte vloeit en vervolgens uithardt. Na volledig uitgehard te zijn, wordt de matrijs geopend en wordt het product gelost.

Een variant op SMC is 'Inmould Coating', waarbij een thermohardende coating wordt geïntegreerd.

Bulk Moulding Compound

Bulk Moulding Compound (BMC) is een variant van SMC, waarbij in plaats van zogenaamd prepreg, gebruik wordt gemaakt van premix. Premix is een mengsel van hars, vulstoffen en gehakte vezels, dat in de vorm van een brei, deeg (BMC ook wel DMC dough moulding compound genoemd) of losse korrels is gebracht. De samenstelling van BMC is vergelijkbaar met die van SMC.

De verwerking van BMC en SMC vindt plaats bij hoge temperatuur (120-160 °C) en druk (40-100 bar). Voor BMC is een tweetal verwerkingstechnieken gebruikelijk:

- warm persen;
- spuitgieten.

Resin Transfer Moulding

Het Resin Transfer Moulding (RTM)-proces is een gesloten mal, lage druk proces, waarbij een ingelegde droge preform (glasvezelmat) wordt geïmpregneerd met vloeibare hars door middel van druk- of vacuüminjectie of transfer door een opening in de matrijs.

De maximale debieten schommelen rond 20 l/min., de injectiedruk ligt over het algemeen tussen 1 en 3 bar.

Milieuaspecten

Het belangrijkste milieuaspect bij harsverwerking is de emissie van styreen (in mindere mate dan bij open maltechnieken) en reinigingsmiddelen (vluchtige organische stoffen) als aceton en dichloormethaan (DCM) naar lucht. Deze stoffen veroorzaken tevens geuroverlast.

Daarnaast ontstaat kunststofafval in de vorm van onder andere uitgeharde harsresten, harsresten uit spuit- en mengapparatuur, snijafval, afgekeurde producten, (afgekeurd) halffabrikaat en oude mallen.

Het gevaarlijk afval bestaat voornamelijk uit vervuild emballagemateriaal, niet-uitgeharde harsresten, hars over de gebruikstijd, harder, gelcoat en versneller, vervuilde oplos- en schoonmaakmiddelen en inliners (kunststof binnenzakken van harsvaten) met harsresten en pigmenten.

Het energieverbruik bestaat vooral uit elektriciteitsverbruik voor ventilatie en in mindere mate voor verlichting en uit gasverbruik voor ruimte- (en opslag-)verwarming. Water wordt met name toegepast voor sanitaire doeleinden.

2.5 Schuimen

- Inleiding schuimen
- PUR-hard en -zacht
- EPS
- Overige schuimen
- Milieuaspecten

Inleiding schuimen

Schuimen is een proces waarbij blaasmiddelen met een thermoplast of thermoharder worden gemengd, zodat onder bepaalde druk en temperatuur gasbelletjes in de massa ontstaan.

De meest toegepaste soorten schuim zijn hard en zacht polyurethaan (PUR) en geëxpandeerd polystyreen (EPS). Andere, minder vaak voorkomende kunststofschuimen zijn onder meer geëxtrudeerd polystyreen (XPS), polyethyleenschuim (PE), resolschuim en schuim op basis van zacht-PVC.

De mate van volumevergroting die door opschuimen verkregen kan worden, hangt af van het type polymeer, van de eventueel aanwezige weekmakers en van de gevolgde techniek. De gangbare typen schuim variëren in dichtheid ruwweg van 6 kg/m³ (polystyreenschuim) tot 800 kg/m³ (polyurethaanschuim).

Schuimproducten kunnen via diverse verwerkingstechnieken worden gevormd, zoals extrusie, spuitgieten en via blokschuim, dat vervolgens in vormen wordt gesneden.

Er zijn verschillende typen blaasmiddelen, fysische en chemische blaasmiddelen en inerte gassen. Daarnaast kan door de reactie van de grondstoffen een gas vrijkomen, zodat geen blaasmiddel toegevoegd hoeft te worden. Fysische blaasmiddelen zijn laagkokende vloeistoffen zoals pentaan. Chemische blaasmiddelen vormen een gas door reactie, bijvoorbeeld stikstof of koolzuur. Inerte gassen zoals lucht of stikstof worden direct gebruikt als blaasmiddel.

In onderstaande tabel is een overzicht van opgenomen van de doorgaans toegepaste blaasmiddelen per schuimsort.

Tabel: Toepasbaarheid blaasmiddelen per schuimsort

Schuimsort	PUR-hard		PUR-zacht	EPS	XPS	resolschuim	PE-schuim
	insitu	blok					
Blaasmiddel							
koolwaterstoffen	+	+	+/- ⁽²⁾			+	+
HCFK's	+	+					
HFK's	+	+	+		+		
pentaan	+	+		+	+	+	+
CO ₂ (l)		+	+				
methyleenchloride			+				
VPF ⁽¹⁾			+				

1. Variable Pressure Foaming, oftewel schuimen onder verlaagde druk (rendabel bij grote productie-omvang).
2. Door de procescondities bij de productie van zachtschuim zijn de toepassingsmogelijkheden van koolwaterstoffen (bijvoorbeeld aceton) vanwege het brandgevaar beperkt.

PUR-hard en -zacht

Polyurethaanschuur (PUR) wordt gemaakt door een polyol (polyesters en -ethers) en een iso-cyanaat met een blaasmiddel te mengen. Voor de productie van PUR-hard wordt difenylmethaan-diisocyaat (MDI) gebruikt en voor PUR-zacht wordt 2,4- en 2,6-tolueendiisocyaat (TDI) gebruikt. Voor de productie van PUR-zacht wordt niet altijd een extern blaasmiddel toegevoegd: de CO₂-productie in het reactiemengsel is vaak toereikend voor de benodigde schuimvorming.

Aan het polyol kunnen diverse componenten worden toegevoegd zoals brandvertragers, anti-oxidanten, enzovoort.

Het reactiemengsel voor PUR-hard wordt op het oppervlak of in de holte van een vormproduct gespoten, waarna expansie (door de exotherme reactie verdampt het blaasmiddel) en uitharding vrijwel gelijktijdig plaatsvinden. Het reactiemengsel voor PUR-zacht wordt op een baan gebracht. In de eerste zone is het mengsel vloeibaar, in de tweede zone wordt het mengsel crèmig (de crème-zone), zonder zichtbaar te schuimen. In de laatste zone, de stijgzone, verdampt door de exotherme reactie het blaasmiddel en schuimt het reactiemengsel op.

EPS

Geëxpandeerd polystyreen (EPS) wordt gemaakt van polystyreen-beads (korrels) met daarin als blaasmiddel maximaal 6% pentaan. Door opwarmen met stoom (van 100 - 105 °C) worden de polystyreenkorrels voorgeschuimd en zetten uit tot parels. Deze parels worden na rijping met behulp van stoom en vacuüm met elkaar versmolten tot het eindproduct.

Overige schuimen

Andere, minder vaak toegepaste kunststofschuimen zijn onder meer geëxtrudeerd polystyreen (XPS), schuim op basis van zacht-PVC, polyethyleenschuim (PE) en resolschuim. Hieronder wordt nog kort ingegaan op de twee eerstgenoemde schuimen.

Voor het vervaardigen van geëxtrudeerd polystyreen (XPS) wordt het polymeer gemengd met het blaasmiddel, en onder zodanige condities door een extruder geleid dat in of vlak voor de uitstroomopening de gasvorming optreedt. XPS kan vervolgens verder worden verwerkt met technieken als vacuümvormen.

Schuim op basis van zacht-PVC wordt onder meer toegepast als een soort kunstleer in tassen, pantoffels, boekbekleding en dergelijke. Kunstleer wordt opgebouwd uit een onderlaag (textiel, non-woven, papier) waarop al of niet met een grondlaag een dikvloeibare PVC-laag wordt gestreken, voorzien van een chemische stof welke bij verwarming stikstof afgeeft.

Door nauwkeurig instellen van het proces kunnen zo schuimlagen worden verkregen met een min of meer dubbele dikte als de oorspronkelijke laag. Door al of niet afwerken van deze laag met een deklaag uit massief materiaal en aansluitende bedrukking en nerven kan een fraai uitzien kunstleer worden verkregen. Eventueel kan het proces onder gebruikmaking van siliconenpapier ook omgekeerd worden uitgevoerd. Tenslotte is het ook mogelijk om in plaats van met chemische blaasmiddelen een separaat opgeklopt schuim (mechanisch) aan te brengen. Voor meer informatie over de verwerking van zacht-PVC wordt verwezen naar de aparte beschrijving daarvan.

Milieuaspecten

De belangrijkste milieuaspecten bij de productie en verwerking van schuimen zijn het ontstaan van kunststofreststromen en de emissie van blaasmiddelen naar lucht.

Kunststofreststromen ontstaan onder andere door snijresten en afgekeurd productieschuim.

De emissie van blaasmiddelen bij de productie hangt voornamelijk af van de celstructuur en de toegepaste hoeveelheid blaasmiddel. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen schuimen met gesloten celstructuur (PUR-hard en EPS), gedeeltelijk gesloten celstructuur (XPS en sommige PUR-soorten) en een open celstructuur (PUR-zacht). Schuim met open cellen verliest het blaasmiddel tijdens een korte tijd na de productie, terwijl schuim met gesloten cellen het blaasmiddel veel langer vasthoudt.

Gevaarlijk afval ontstaat vooral in de vorm van spoelmiddel (spoelpolyol) en vervuilde emballage van gevaarlijke stoffen.

Het energieverbruik is sterk afhankelijk van het soort schuim dat wordt geproduceerd en verwerkt. Voor EPS wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van stoom, terwijl de PUR-schuimen zonder externe energiebron worden geproduceerd. Voorts wordt elektriciteit verbruikt voor onder andere ventilatie en verlichting en wordt gas verbruikt voor ruimteverwarming.

Water wordt met name toegepast voor sanitaire doeleinden en in een aantal gevallen als reagens in het schuimreactiemengsel.

2.6 Spuitgieten

- Inleiding en beschrijving spuitgieten
 - Milieuaspecten
-

Inleiding en beschrijving spuitgieten

Bij spuitgieten wordt een matrijs (gietvorm) door middel van een spuittechniek (extruder) met vloeibare kunststof gevuld. Er is daarbij vaak een grote druk nodig. Vandaar dat spuitgietmachines zwaar zijn uitgevoerd. Het maximale spuitgewicht dat met grote spuitgietmachines kan worden bereikt ligt nu ongeveer bij 50 kg. Na uitharden van het materiaal door koeling (thermoplasten) of verwarming (thermoharders en rubbers) kan het gevormde product uit de matrijs worden gelost.

Bij spuitgieten is er sprake van een cyclustijd. Dat wil zeggen dat er tijd nodig is om de matrijs te vullen, te koelen (of verwarmen) en te lossen.

In principe kunnen alle thermoplastische kunststoffen gespuitspuitgiet worden. Het meest gebruikt worden polypropreen (PP) en polyethyleen (PE) en daarnaast onder meer polystyreen (PS), polyvinylchloride (PVC), acrylonitril-butadieen-styreen (ABS) en polycarbonaat (PC).

Voor meer informatie over de verwerking van zacht-PVC wordt verwezen naar de aparte beschrijving daarvan.

Milieuaspecten

De belangrijkste milieuaspecten bij spuitgieten zijn energieverbruik en het ontstaan van kunststofreststromen (onder meer door aanspuitingen, instelverliezen, afkeur en schoonmaak/doorspuiten van apparatuur). De machines en de randapparatuur verbruiken het merendeel van de energie. Daarnaast wordt energie verbruikt voor koeling van het product, ruimteverwarming, verlichting, ventilatie en opwekking van perslucht en dergelijke.

Het gevaarlijk afval dat bij spuitgieten ontstaat bestaat grotendeels uit emballage van gevaarlijke stoffen, olie afkomstig van lekkage van machines (olie en olie-water-mengsel) en het onderhoud van machines (afgewerkte olie), alsmede uit poetsdoeken en adsorptiekorrels die met olie vervuild zijn. Een andere belangrijke bron van gevaarlijk afval zijn restanten van grond- en vooral hulpstoffen (voor bijvoorbeeld nabewerkingsstappen als bedrukken).

Bij spuitgieten kunnen emissies vrijkomen bij de spuitneus, vanuit ontluchtingskanalen van de matrijs en bij het openen van de matrijs. Eventueel lossingsmiddel komt alleen vrij bij het openen van de matrijs.

Water wordt met name toegepast voor productiekoeling: oliekoeling en matrijskoeling en in mindere mate voor sanitaire doeleinden.

Emissies naar water treden beperkt op. In de meeste gevallen worden de productieruimten droog gereinigd. In de gevallen waar nat wordt gereinigd kan eventueel een emissie van olie (lekkage machines) naar water optreden.

2.7 Thermovormen

- Inleiding
 - Vacuümvormen
 - Persen
 - Milieuaspecten
-

Inleiding

Bij het thermovormproces wordt een kunststofplaat of -folie verwarmd en in een vorm gebogen, waardoor de productvorm ontstaat. De benodigde kracht kan geleverd worden langs mechanische, hydraulische of pneumatische weg, of door middel van vacuüm. Na afkoeling heeft het product zijn vaste vorm, waarna de nabewerking kan plaatsvinden.

Het is belangrijk dat het materiaal bij verwarming niet al te snel in de vloeibare fase overgaat.

In principe kunnen alle thermoplastische kunststoffen worden verwerkt door middel van thermovormen. Gebruikelijk zijn polyvinylchloride (PVC), polystyreen (PS), polymethylmethacrylaat (PMMA), polycarbonaat (PC) en acrylonitril-butadiëen-styreen (ABS) en daarnaast polyethyleen (PE), polyethyleentereftalaat (PETP) en polypropeen (PP).

Vacuümvormen

Een vorm van thermovormen is het vacuümvormen. Hierbij wordt een dunne kunststofplaat of -folie in een matrijs geplaatst, verwarmd en vervolgens in het vormstuk (een matrijshelft) gezogen middels vacuüm.

Persen

Bij koud en warm persen, wordt de grondstof (vaak halffabrikaat samen met eventuele versterkingsvezels) tussen twee helften van een matrijs gebracht. Het product wordt gevormd en hardt tevens uit in de matrijs. De druk wordt meestal geleverd door een pers bestaande uit twee vlakke platen, die door middel van hydraulische druk naar elkaar toe gedreven worden. In het eenvoudigste geval wordt één matrijshelft gevuld met de grondstof en wordt deze samengedrukt door de andere matrijshelft, waarbij het overtollige materiaal langs de wanden wegvloeit. In dit geval wordt van compressiepersen gesproken. Een meer gecompliceerd type is het zogenaamde transferpersen. Hier wordt de grondstof eerst in een pot gebracht en vandaar met behulp van een plunjer door kanalen in de matrijsholte geperst. Deze techniek lijkt op spuitgieten, hoewel slechts laagvisceuze massa's geperst kunnen worden.

Bij warm persen wordt de matrijs verwarmd tot circa 100 °C - 150 °C. De persdruk bedraagt 20 tot 30 bar. Koud persen vindt plaats bij een druk van 0,5 tot 4 bar, zonder additionele temperatuursverhoging.

Perstechnieken worden toegepast op thermoplasten, thermoharders en rubbers. Bij rubbers vindt vulcanisatie plaats in de pers; bij thermoharders verloopt de uithardingsreactie eveneens na de vormgeving in de pers onder hoge temperatuur. Bij thermoplasten wordt de matrijs voor de uitharding gekoeld.

Milieuaspecten

De belangrijkste milieuaspecten bij thermovormen zijn energieverbruik en het ontstaan van kunststofreststromen (onder meer door instelverliezen, afkeur en snijranden). De machines en de randapparatuur verbruiken het merendeel van de energie. Daarnaast wordt energie verbruikt voor koeling van het product, ruimteverwarming, verlichting, ventilatie en opwekking van perslucht, eventueel stoom en dergelijke.

Het gevaarlijk afval dat bij thermovormen ontstaat bestaat grotendeels uit emballage van gevaarlijke stoffen en eventueel uit olie afkomstig van lekkage van machines en het onderhoud van machines (afgewerkte olie).

Water wordt met name toegepast voor productiekoeling en in mindere mate voor sanitaire doeleinden.

Emissies naar water treden beperkt op. In de meeste gevallen worden de productieruimten droog gereinigd. In de gevallen waar nat wordt gereinigd kan eventueel een emissie van olie (lekkage machines) naar water optreden.

2.8 Procesbeschrijving Lijmen en voegkitten

Mengen

Afvullen

Productie van smeltlijmen

Mengen

Inleiding

Tijdens het mengproces worden de benodigde grondstoffen volgens receptuur afgewogen of gedoseerd en door middel van mengapparatuur verwerkt. De gebruikte grondstoffen kunnen bestaan uit vluchtige stoffen (oplosmiddelen) en niet vluchtige stoffen (zoals bindmiddelen(harsen), filmvormende bestanddelen, weekmakers, vulstoffen, kleurstoffen en andere additieven). Oplosmiddelvrije producten bevatten geen of slecht zeer weinig oplosmiddel (< 0,5 %).

In oplosmiddelgedragende producten worden oplosmiddelen gebruikt om de bindmiddelen en additieven in de oplossing te brengen en om de juiste viscositeit aan het product te geven. De vloeistoffen (oplosmiddelen of water) verdampen tijdens het verwerken van de lijmen en kitten.

Bindmiddelen vormen de basis van lijm- en kitproducten, welke er voor zorgen dat de niet vluchtige bestanddelen na droging of uitharding van de lijm of kit met elkaar een fysische of chemische binding aangaan tot een plastisch geheel. Bindmiddelen bestaan uit synthetische of natuurlijke polymeren (harsen). Buiten deze filmvormende werking kan met het bindmiddel het vaste stofgehalte verhoogd worden en kunnen eigenschappen als vasthechting op het grondmateriaal, verkorting van de droog- en filmvormtijd beïnvloed worden. Weekmakers verlagen de verwerkingstemperatuur (filmvormende temperatuur) van het product. Daarnaast zorgen weekmakers ervoor dat het bindmiddel voldoende elastisch of plastisch blijft. Additieven kunnen worden toegevoegd om bepaalde producteigenschappen te bereiken, bijvoorbeeld het verbeteren van de technische eigenschappen van lijmen en kitten (reactietijden worden versneld, initiëren de polymerisatie van de bindmiddelen etc.).

Oplossen / Voormengen

Eventueel vindt oplossen en voormengen plaats tijdens de productie van lijmen en kitten, waarbij het vaste stofgehalte hoog is en het in één keer mengen van de grondstoffen veel tijd en energie kost. Vaste bestanddelen en/of moeilijk dispergeerbare stoffen worden dus eerst in oplossing gebracht, alvorens deze tot eindproduct verwerkt kunnen worden (voormengsel). Tijdens dit proces worden grondstoffen als bindmiddel, harsen, pigmenten en oplosmiddel gemengd tot een gladde substantie die pas later in het proces de gewenste eigenschappen krijgt door het toevoegen van de overige bestanddelen.

Voorfiltratie

Er kan eventueel een filterstap plaatsvinden na het voormengen om de zuiverheid van het eindmengsel te verhogen. Ongewenste deeltjes (agglomeraten, stof, vellen, stolsels etc.) worden verwijderd, alvorens deze worden toegepast in het eindmengsel.

Doseren van de overige grondstoffen

Om de gewenste eigenschappen van het eindproduct te verkrijgen worden de grondstoffen afgewogen of volumetrisch gedoseerd en in de mengkuip gebracht . Dit kan een open systeem of een gesloten systeem zijn.

Dispergeren / Mengen / Kneden / Afwerken

Nadat alle bestanddelen zijn toegevoegd, wordt het proces van mengen, dispergeren en kneden hervat. Eventueel wordt tijdens het mengen de temperatuur verhoogd (productafhankelijk) totdat het product de juiste eigenschappen vertoont. Per product verschilt de duur van het mengproces .

Nafiltratie

Er kan een filterstap plaatsvinden om de juiste zuiverheid van het eindproduct te verkrijgen en onzuiverheden (vaste deeltjes) uit het product te verwijderen.

Milieuaspecten

Het belangrijkste milieuaspect bij mengen van oplosmiddelgedragende producten is de emissie van VOS. VOS-emissies komen voor tijdens het mengen, het vullen van de mengvaten (kuipen), uit eventueel afval (bijvoorbeeld: lege verpakkingen, gemorste oplosmiddelen, filterresten en eventueel uit openstaande vaten en mengkuipen)

Bij producten waar vaste bestanddelen toegevoegd worden kunnen deze als stofdeeltjes vrijkomen. Stof kan vrijkomen tijdens het afwegen en toevoegen (doseren) van vaste grondstoffen in de mengkuipen en uit lege open verpakkingen.

Het schoonmaken van de productieapparatuur is een belangrijk aandachtspunt, omdat daar VOS-emissies (indien oplosmiddelen gebruikt worden voor het reinigen), vast afval en verontreinigd water (voornamelijk bij watergedragen producten) kunnen ontstaan.

Energieverbruik bestaat voornamelijk uit het elektriciteitsverbruik door de productieapparatuur. Gas wordt in het algemeen gebruikt voor ruimteverwarming en warm watervoorziening. Water kan gebruikt worden in het productieproces, als koelwater en als reinigingsmiddel van de mengkuipen en overige machineonderdelen.

Afvullen

Inleiding

Na het mengen wordt het eindproduct gecontroleerd op de juiste specificaties, zoals de viscositeit, snelheid van uitharding/droging, kleefkracht en kleur. Eventueel afgekeurde batches worden, indien mogelijk, bijgesteld (binnen specificatie gebracht), opnieuw verwerkt of gebruikt voor een andere toepassing. Zijn deze opties niet mogelijk, dan wordt de afgekeurde batch afgevoerd. Na de controle wordt het eindproduct afgevoerd in de verpakkingen, eventueel als voorraad opgeslagen en uiteindelijk uitgeleverd aan de klant.

Afvullen

Het eindproduct wordt verpakt in een door de afnemer gewenste verpakking. Tijdens het afstellen van de afvullijnen kan afval ontstaan, dat indien mogelijk weer in het productieproces ingezet wordt.

Etiketteren / Coderen / Verpakken

De verpakkingen zijn vaak voorbedrukt. Als dat niet het geval is, kunnen etiketten met de bedrijfsgegevens en eventuele gevarenaanduiding, labels, bedrijfslogo's op de verpakkingen worden aangebracht.

Opslag / Vervoeren

Het verpakte eindproduct wordt op pallets gezet en opgeslagen in de daar voor bestemde opslagplaats van waaruit het verder vervoerd wordt naar de plaats van bestemming

Milieuaspecten

De belangrijkste milieuaspecten bij afvullen zijn de eventuele emissie van VOS, niet verwerkbaar afgekeurde batches en verpakkingsmateriaal dat overblijft. VOS-emissies komen vrij bij de afvulopening van een vullijn, soms bij mislukte verpakkingen die niet volledig gesloten zijn of bij gemorste eindproducten.

Verpakkingsmateriaal dat niet meer bruikbaar is, zorgt voor vast niet gevaarlijk afval.

Het schoonmaken van de vullijnen is een belangrijk aandachtspunt omdat daar eventueel VOS-emissies (reinigen met oplosmiddel), vast afval en verontreinigd water kan ontstaan.

Energieverbruik bestaat voornamelijk uit het elektriciteitsverbruik door de productieapparatuur. Gas wordt over het algemeen gebruikt voor ruimteverwarming en warm watervoorziening.

Water kan gebruikt worden in het productieproces en als reinigingsmiddel van de mengkuipen en overige machineonderdelen.

Productie van smeltlijmen

Inleiding

Het productieproces voor smeltlijmen verschilt van de productie van lijmen en voegkitten. Smeltlijmen bevatten geen oplosmiddelen en moeten op een andere manier verwerkt worden.

Smelten en mengen

De productie van smeltlijmen vindt plaats in een productieketel die opgewarmd wordt. De nodige grondstoffen (vaste stoffen en oliën) worden in de ketel gebracht. De vaste stoffen smelten en worden vermengd met de oliën. Dit proces blijft lopen totdat de grondstoffen volledig vermengd zijn. Aan het einde van het mengproces wordt nagegaan of het mengsel de juiste eigenschappen heeft.

Overpompen

Na het mengen wordt de geproduceerde smeltlijm overgepompt naar een opslagtank die op temperatuur wordt gehouden. Het eindproduct komt tot "rust" in deze ketel en kan dan afgevoerd worden.

Afvullen

Vanuit de opslagtank wordt de smeltlijm naar een afvulmachine gepompt. De smeltlijm wordt afgetapt in speciale (blok)vormen of geëxtrudeerd in draadvorm.

Afkoelen en Opslag

Na het afkoelen worden de gestolde blokken smeltlijm uit de vorm gehaald, ingepakt en opgeslagen. De draadvormen worden op rol gewikkeld.

Milieuaspecten

Een belangrijk milieuaspect bij de productie van smeltlijmen is het gebruik van energie voor de opwarming van de ketels om de smeltlijm te mengen. Elektriciteitsverbruik bestaat verder uit het verbruik van de andere productie-apparatuur.

Belangrijkste emissies zijn stof en damp. Er ontstaat afval tijdens monsternamen en overpakken van de smeltlijmen nadat die afgekoeld zijn. Vervuilde batches en stolsels worden, indien mogelijk, opnieuw verwerkt of afgevoerd als afval.

Water kan eventueel als koel en spoelwater gebruikt worden. Koelen van het product aan de lucht is ook mogelijk.

2.9 Recyclen van kunststof

Binnen de kunststofrecycling sector is een aantal recyclingtechnieken te onderscheiden. Dat zijn mechanische recycling ("materiaalhergebruik"), chemische recycling ("hergebruik van grondstoffen") en thermische recycling (verbranding van kunststof afval om energie te produceren).

Bij deze branchebeschrijving wordt uitgegaan van de activiteiten behorende bij de mechanische recycling.

Mechanische recycling

Inleiding
Processen
Milieuaspecten

Inleiding

Na preventie en het hergebruiken van producten is "mechanische recycling" de methode voor verwerking van kunststofafval die uit milieuoogpunt het meest gewenst is. Het ingezamelde materiaal wordt bewerkt en weer toegepast als grondstof voor kunststofproducten.

De materialen die als grondstof dienen voor de kunststofrecycling industrie komen uit verschillende sectoren zowel binnen als buiten Nederland. Deze sectoren zijn:

- *Industrieel afval*, schone reststromen van kunststof afkomstig van industriële bedrijven die de stroom niet opnieuw kunnen gebruiken of inzetten in het productieproces. Voorbeelden zijn overtollige kunststofverpakking en productieafval dat extern wordt herverwerkt.
- *Industrieel post-consumer afval*, schone reststromen van kunststof die afkomstig zijn van consumenten en worden ingezameld door de industrie (frisdrank- en bierkratten, PET frisdrankflessen etc.).
- *Post-consumer afval*, meestal eenmalige en kunststoffen in het huisvuil van de consument. Deze vervuilde afvalstroom wordt momenteel niet verwerkt door de kunststofsector, maar geschikt gemaakt voor verbranding

Niet alle kunststofrecyclingbedrijven doorlopen het gehele mechanische recyclingproces, waardoor zij verschillende producten leveren. Er wordt onderscheid gemaakt in drie soorten producten:

- Gesorteerde / geselecteerde stromen: ontstaan na inzamelen, sorteren / scheiden van de kunststof reststromen.
- Bewerkte stromen / recycleat / regeneraat: ontstaan na wassen / malen / agglomereren en smeltzuiveren / granuleren van de kunststof reststromen.
- Eindproducten: ontstaan na herverwerken van de kunststof reststromen tot eindproducten.

Processen

Inzamelen

Kunststof reststromen van bedrijven worden vaak rechtstreeks aan de kunststofrecycling sector geleverd. Het inzamelen van kunststof reststromen van post-consumer afval wordt gedaan door diverse instellingen als de overheid (gemeentelijk niveau) en afvalverwijderingsbedrijven.

Sorteren / Scheiden

De ingezamelde kunststof reststromen worden, indien mogelijk, gesorteerd en gescheiden op soort kunststof (PP/PE/PET/etc.). Voor sommige kunststofrecycling bedrijven is het sorteren het einde van hun productieproces. Het gesorteerde en gescheiden materiaal wordt afgezet als grondstof voor de kunststofsector.

Wassen

De gesorteerde en gescheiden kunststof reststromen worden, indien nodig, gereinigd, gedroogd en afgezet als secundaire grondstof.

Malen

De secundaire grondstof kan, waar mogelijk, worden vermalen. Het verkregen maalgoed dient als grondstof voor de productie van andere kunststof eindproducten.

Agglomereren

Indien nodig wordt de secundaire grondstof geagglomereerd. Bij het agglomereren wordt de kunststof in de vorm van brokjes, korrels verdicht door te verwarmen en te laten inkrimpen. Het geagglomereerde

materiaal wordt samengeperst en afgesneden. Het agglomeraat kan verder verwerkt worden tot eindproduct.

Smeltzuiveren / Regranuleren

Het verkregen maalgoed en/of agglomeraat wordt verwerkt tot regranulaat door middel van een extruder. In de extruder wordt het materiaal verwarmd en indien nodig nog gefilterd. Het materiaal wordt tot kunststofkorrels verwerkt.

Herverwerken tot eindproduct

De verkregen grondstof wordt uiteindelijk verwerkt tot een definitief eindproduct. Voor processen, zie kunststofverwerkende industrie.

Milieuaspecten

Inzet van secundaire grondstof levert in de kunststofketen milieuwinst op. Het spaart virgin kunststof uit waar naast veel productie-energie ook de energie-inhoud van de kunststof wordt bespaard. De energie om van kunststof reststromen goed secundair materiaal te maken is gering vergeleken de energie die je uitspaart door het materiaal hergebruik.

Belangrijkste milieuaspecten bij het recyclen van kunststoffen zijn water om schoon te maken en energie voor het opwarmen van de kunststof reststromen. Er kan vervuild water vrijkomen, dat eerst gezuiverd moet worden voordat het in het riool geloosd kan worden. Sterk vervuilde kunststof-reststromen kunnen het vrijkomen van afval bij recycling bedrijven doen toenemen. Er kan stof vrijkomen in de vorm van kunststofpoeder. Energieverbruik bestaat vooral uit het elektriciteitsverbruik van de machines en de verlichting.

3 Procesbeschrijvingen Rubberverwerking

3.1 Wegen en mengen van rubbercompounds

- Inleiding en beschrijving wegen en mengen
 - Milieuaspecten
-

Inleiding en beschrijving wegen en mengen

Een rubbercompound bestaat naast het elastomeer uit diverse componenten:

- vulcanisatiemiddelen, te onderscheiden in netwerkvormers, versnellers en activatoren;
- vulstoffen voor het verkrijgen van specifieke mechanische eigenschappen en voor verlaging van de compoundkosten;
- weekmakers (onder andere ftalaatesters en procesoliën die polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) kunnen bevatten);
- processing aids voor verbetering van het verwerkingsgedrag van de compound in de diverse fasen van het verwerkingsproces;
- anti-degradanten, zoals anti-oxidanten en anti-ozonanten, ter bescherming tegen aantasting door zuurstof, ozon, licht en dergelijke;
- brandvertragers;
- eventueel blaasmiddelen;
- kleurstoffen.

De componenten worden afgewogen en gemengd (bij een gespecialiseerd compoundeerbedrijf of bij de (eind)verwerker). De kwaliteit van het uiteindelijke rubberproduct wordt grotendeels tijdens het mengen bepaald.

Het mengen (compounderen) vindt meestal batchgewijs plaats, waarbij gebruik gemaakt wordt van twee typen mengmachines: een zogenaamde interne mixer (kneder), waarvan de capaciteit varieert van 50 tot 600 kg en een mengwals (vooral om de vulcanisatiemiddelen in te mengen) bestaande uit twee holle stalen rollen. Afhankelijk van de vormgevingsstap worden de rubbervellen die op de wals ontstaan geknipt en gesneden of in zijn geheel gebruikt.

De vormgeving van rubbercompounds (elastomeren) vindt plaats onder invloed van warmte en is onomkeerbaar (in tegenstelling tot de vormgeving van thermoplasten).

Milieuaspecten

De belangrijkste milieuaspecten bij het wegen en mengen zijn de emissie van vluchtige stoffen (onder andere weekmakers en versnellers) en stof en het elektriciteitsverbruik.

Emissies van vluchtige stoffen vinden plaats bij het afwegen, het openen van de mixers, het verwerken op de mengwalsen, het afkoelen en/of transport naar de vormgevingsapparatuur en bij het schoonmaken van de mengapparatuur.

Een deel van de componenten wordt in poedervorm gebruikt. Zowel tijdens het wegen als tijdens het mengen ontstaat stof.

De mixers zijn belangrijke elektriciteitsverbruikers, evenals de afzuiging (en ventilatie) in de weeg- en mengruimte (in verband met stofvorming).

Rubberreststromen kunnen onder andere ontstaan door morsverliezen en het schoonmaken van de menger.

3.2 Vormgeving rubber

- Inleiding
 - Kalanderen
 - Extruderen
 - spuitgieten
 - Vormpersen (persvulcaniseren)
 - Confectioneren
 - Milieuaspecten
-

Inleiding

De tweede stap in de verwerking van rubber (na het wegen en mengen van de rubbercompounds) is de vormgeving, al dan niet gelijk met vulcanisatie. Voor wat de vormgevingstechnieken betreft kunnen onder meer worden onderscheiden: kalanderen, extruderen, spuitgieten, vormpersen (persvulcanisatie) en confectioneren.

Kalanderen

Door middel van een walsbewerking wordt een rubberlaag met exacte dikte verkregen. Het kalanderproces wordt ook gebruikt om een laagje rubber op textiel of staaldraad aan te brengen.

Extruderen

Deze vormgevingstechniek wordt toegepast bij de productie van eindeloze producten zoals slangen en profielen (zie ook extrusie kunststoffen).

Spuitgieten

Bij deze techniek worden extruderen en vormpersen gecombineerd. In tegenstelling tot extruderen is spuitgieten geen continu proces.

Vormpersen (persvulcaniseren)

Hierbij wordt de rubber in vormen gelegd en onder hoge druk gelijktijdig gevulcaniseerd. Bij de productie van nieuwe transportbanden en tevens bij het coveren van banden wordt tijdens het vormpersen het profiel in het loopvlak aangebracht.

Confectioneren

Hierbij wordt de vorm verkregen door het opbouwen van elementen/onderdelen van rubber. Confectioneren wordt in Nederland grootschalig toegepast bij de fabricage van (vracht)autobanden en transportbanden (conveyor belts). Door middel van kalanderen en extruderen worden diverse halffabrikaten gevormd, die vervolgens machinaal of handmatig worden geassembleerd tot de ruwe band. Voor de halffabrikaten worden verschillende rubbermengsels gebruikt, hetgeen samenhangt met de belasting in de gebruiksfase. Voor de versteviging van bepaalde halffabrikaten worden deze voorzien van een kern van vezels (canvas) of staaldraad.

Milieuaspecten: zie Vulcaniseren

3.3 Vulcaniseren

- Inleiding en vulcanisatiemethoden
 - Milieuaspecten
-

Inleiding en vulcanisatiemethoden

Tijdens de derde stap van de rubberverwerking, de vulcanisatie, worden de polymeerketens met elkaar verbonden, de zogenaamde netwerkvorming. De vulcanisatie kan gelijk met of na de vormgeving plaatsvinden. Door vulcanisatie verandert het materiaal van een zachte, plastische substantie in een sterk, elastisch product (niet omkeerbaar). Voor de vulcanisatie is een activator, een versneller en een vulcanisatiemiddel nodig. Vulcanisatie vindt plaats door het rubbermengsel gedurende een bepaalde tijd onder druk te verwarmen. De meest gebruikte stof voor vulcanisatie is zwavel. Voorwaarde voor het gebruik van zwavel is dat de elastomeren onverzadigd zijn. Andere verbindingen die bij de vulcanisatie gebruikt kunnen worden zijn metaaloxiden en organische peroxiden. Deze laatste worden vooral toegepast bij verzadigde rubbers. Verzadigde rubbers kunnen niet met zwavel worden ge vulcaniseerd. Bij toepassing van organische peroxiden worden vrije radicalen gevormd op de elastomeren, die via combinatie tot netwerkvorming kunnen leiden. Onderscheid kan worden gemaakt in twee vulcanisatiemethoden: continu, waarbij het product na vormgeving direct wordt ge vulcaniseerd en discontinu, waarbij het product tussentijds wordt opgeslagen.

Een vijftal vulcanisatietechnieken kan worden onderscheiden, waarbij de benodigde vulcanisatiewarmte door verschillende media wordt geleverd:

- zoutbad (liquid curing medium: LCM): hierbij zorgt een gesmolten zout voor de vulcanisatiewarmte (tussen 180 °C en 240 °C) (continu toegepast)
- hete lucht (infrarood) (zowel continu als discontinu toegepast)
- stoom (vooral discontinu toegepast)
- elektromagnetische golven (continu toegepast)
- persvulcanisatie: de benodigde warmte wordt via metaal op de rubber overgebracht (continu toegepast)

Een groep van rubbers die niet ge vulcaniseerd hoeft te worden zijn de thermoplastische elastomeren (bijvoorbeeld polystyreen elastomeer/blokcopolymeren). Deze snelgroeïende groep elastomeren kenmerkt zich door een reversibele overgang van vaste naar vloeibare toestand (onder toevoer van warmte). Het vormgevingsproces vindt bij thermoplastische elastomeren daarom plaats door afkoeling in plaats van verhitting, zoals bij te vulcaniseren rubbers. Bij deze laatste is de omzetting irreversibel.

Milieuaspecten

Belangrijke milieuaspecten bij de verwerking van rubbercompounds zijn het energieverbruik en de emissie van nitrosaminen. De vormgevingsapparatuur en de vulcanisatiestap gebruiken elektriciteit en/of gas als energiebron.

Een aantal blaasmiddelen, vertragers en versnellers die wordt toegepast, kunnen kankerverwekkende nitrosaminen vormen. In het Convenant Arbeidsomstandigheden Rubberverwerkende industrie zijn afspraken opgenomen omtrent vervanging van een aantal met naam genoemde stoffen.

Rubberreststromen ontstaan afhankelijk van het vormgevingsproces onder andere in de vorm van snijresten, afkeur en aanspuitingen.

Water wordt met name toegepast voor de productie (verwarming en/of koeling) en in mindere mate voor sanitaire doeleinden. Emissies naar water treden beperkt op. In de meeste gevallen worden de productieruimten droog gereinigd. In de gevallen waar nat wordt gereinigd kan eventueel een emissie van olie (lekkage machines) naar water optreden.

4 Verwerking van zacht-PVC

Polyvinylchloride (PVC) kan op verschillende manieren worden verwerkt tot een product van zacht-PVC. De producten kunnen middels een aantal verwerkingstechnieken worden vervaardigd. De belangrijkste methodes in Nederland zijn:

- extruderen (voor kabels, profielen, slangen en hulzen);
- kalanderen (voor film, folie, vloerbedekking, kunstleer);
- pastaverwerken door strijken of coaten (voor vloerbedekking, wandbekleding);
- spuitgieten/rotatiegieten (voor voorwerpen als speelgoed en schoeisel).

Zacht-PVC kan ook geschuimd worden.

De PVC-grondstof wordt geleverd in de vorm van een gereed granulaat of een al dan niet met hulpstoffen voorgemengd poeder. Ter verhoging van de verwerkbaarheid en kwaliteit van het product zijn of worden bepaalde hulpstoffen toegevoegd zoals weekmakers, stabilisatoren, vulstoffen (krijt) en pigmenten.

De hoeveelheid toegevoegde weekmaker voor zacht-PVC varieert over het algemeen van 20 tot 50%. De toegepaste weekmakers zijn doorgaans esters van ftalzuur (ftalaatesters). Esters van adipinezuur en fosforzuur komen alleen voor in bijzondere, specialistische toepassingen.

Omdat tijdens de verwerking PVC van zichzelf niet stabiel genoeg is, wordt hieraan 1 tot 2% stabilisator toegevoegd. Deze stabilisatoren zijn meestal mengsels van zouten en zepen op basis van lood, tin, barium, zink, calcium en kalium, ondersteund door bepaalde organische verbindingen zoals geëpoxydeerde oliën en antioxidantia.