

Linermaterialen

Fluorpolymeren en PP

toelichting:

Deze voorlichtingspublicatie is tot stand gekomen naar aanleiding van de wens welke opdrachtgevers, beheerders, ingenieurs, constructeurs en verwerkers hebben om meer kennis en inzicht te krijgen in de mogelijkheden en voorwaarden bij het toepassen van kunststof deklagen (liners).

Fabrikanten en gebruikers brengen de in deze voorlichtingspublicatie vertolkte kennis en kunde naar buiten, teneinde het doelmatig toepassen van kunststof deklagen te bevorderen. De voorlichtingspublicatie bevat een algemeen gedeelte voor het toepassen van kunststof deklagen in het algemeen, waarna specifiek wordt ingegaan op de toepassing van fluorpolymeren en polypropreen op staal.

Het Projectbureau voor onderzoek aan Materialen en Produktietechnieken PMP heeft het initiatief genomen en alle betrokken partijen bijeengebracht om de totstandkoming van de voorlichtingspublicatie te organiseren.

auteur:

A. van Nieuwenhuysen

begeleidingsgroep:

3P Performance Plastics Products BV	R. v.d. Pijl
Akzo Engineering BV	V. Tiersma
Colasit-Holland BV	P.J. Couvée
Corresist	A. van Nieuwenhuysen
Denver Techparts BV	H. de Nooij
DSM-mps	P.P.M. Theeuwen
General Electric Plastics BV	A. Uyttenbroek
Kema Ned. BV	B.A. Schipper
Le Carbone Lorraine	Ph.W. Bras
Norton Fluorplast BV	E. Buter
PMP	W.G. Essers, G.H.G. Vaessen
Resistoflex & Witzenmann BV	P.M.J. Borgonjen
Vereniging FME-CWM	P. Boers
Visser & Smit Hanab BV	H.B. Kruithof

Al deze bedrijven/instellingen hebben een bijdrage geleverd aan het opstellen van deze VM-publicatie. ITC van de Vereniging FME-CWM en het Ministerie van Economische Zaken hebben in belangrijke mate bijgedragen aan de financiering van dit project.

technische informatie:

PMP

- bezoekadres	Laan van Westenenk 501, Apeldoorn
- correspondentie-adres	Postbus 541, 7300 AM APELDOORN
- telefoon	055 - 549 36 44
- telefax	055 - 549 36 41

informatie over en bestelling van VM-publicaties:

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- bezoekadres	Boerhaavelaan 40, Zoetermeer
- correspondentie-adres	Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
- telefoon	079 - 353 13 41 / 353 11 00
- telefax	079 - 353 13 65
- e-mail	pbo@fme.nl
- internet	http://www.fme.nl

Bond voor Materialenkennis

- correspondentie-adres	Postbus 390, 3330 AJ ZWIJNDRECHT
- telefoon	078 - 619 26 55
- telefax	078 - 619 57 35

Nederlands Instituut voor Lastechniek

- correspondentie- en bezoekadres	Krimkade 20, 2251 KA VOORSCHOTEN
- telefoon	071 - 5611211
- telefax	071 - 5611426
- e-mail	info@nil.nl
- internet	http://www.nil.nl

Inhoudsopgave

	blz.		blz.
1 Inleiding	5	5 De verschillende technieken om liners aan te brengen op het substraat	33
1.1 Definitie van een liner	5	5.1 Persen	33
1.2 Te behandelen liners	5	5.2 Extrusietechnieken	33
1.3 Volledige chemische naam	6	5.3 Transfer-moulding	33
1.4 Namen en fabrikantsnamen waaronder fluoropolymeren en PP op de markt worden gebracht	6	5.4 Het aanbrengen van liners in stalen buizen	33
1.5 Verschijningsvormen	6	5.5 Vergelijking tussen de verschillende methoden	34
1.6 Onderlinge vergelijking tussen de enkelvoudige eigenschappen	7	5.6 Voorzieningen ten behoeve van permeatie	34
1.7 Herkenningsmethoden	7	5.7 Lasmethoden voor thermoplasten en PTFE	35
1.8 De ontwikkeling van fluoropolymeren en PP	8	5.8 Lining met geschilde PTFE folie	36
1.9 Toekomstverwachting	8	6 Eisen te stellen aan het substraat	37
2 Van grondstof tot halffabrikaat	10	6.1 Constructie-aspecten en oppervlaktegesteldheid	37
2.1 Het monomeer	10	6.1.1 Algemeen	37
2.2 Fabricageprocessen voor halffabrikaten	10	6.1.2 Extrusie en spuitgieten	37
2.2.1 Het polymerisatieproces	10	6.1.3 Geperste PTFE artikelen	37
2.2.2 Structuur	10	6.1.4 Isostatisch persen	37
3 Vervaardigingsmethoden van liners	12	6.1.5 Pasta- en ramextrusie	37
3.1 De verschillende processen	12	6.1.6 Geschilde PTFE folie	37
3.2 Extrusie en spuitgieten	12	6.1.7 Tape wikkelmethode	37
3.2.1 Extrusie	12	6.1.8 Rotatietechnieken	37
3.2.2 Spuitgieten	12	6.1.9 Elektrostatistische en spuit- en dompeltechnieken	38
3.3 Het onderscheid tussen PTFE en andere thermoplasten	14	6.2 Conservering	38
3.4 Het persen van PTFE en de sintertechnieken	15	6.3 Flensconstructies en oppervlakterutheid van flensvlakken	38
3.4.1 Voorvormen	16	7 Kwalificatie- en acceptatiecriteria	39
3.4.2 Sinteren en koelen	17	7.1 Algemeen	39
3.5 Isostatisch persen	19	7.2 Kwalificatie en certificering	39
3.5.1 Mogelijkheden en beperkingen van isostatisch persen	19	7.3 Kwalificatietesten	39
3.5.2 De bouw van een mal en poeder/granulaatkeuze	20	7.4 Identificatie	39
3.5.3 Het drukvat	20	7.5 Testen en proeven voor het nog niet verwerkte liner materiaal	39
3.6 Pasta-extrusie	20	7.6 Testen en proeven voor het gereede product	39
3.6.1 Smering	21	7.7 De druktest	39
3.6.2 Voorvormen	21	7.8 Poriëndetectie, de hoogspannings-(spark) test en de laagspannings- of natte test	40
3.6.3 Extrusie	21	7.9 Thermisch (cyclisch) testen	40
3.6.4 Drogen en sinteren	21	7.10 Vacuümtest	41
3.7 Ramextrusie	21	7.11 Inspectie, visuele aspecten en oppervlakte defecten	41
3.7.1 Extrusiedruk	22	7.12 Microscopie	41
3.7.2 Temperatuurregeling	22	7.13 Verlange linerdikten en meetmethoden	41
3.7.3 Extrusiesnelheid	22	7.14 Afmetingen van flensbekledingen	41
3.8 Folie- en plaatvervaardiging van PTFE	22	7.15 Bescherming ter voorkoming van transport- en opslagschade	42
3.9 De tape-wikkelmethode	22	8 Installatie en verwerking	43
3.10 Rotatietechnieken	23	8.1 Montage-aspecten	43
3.11 Wervelsinteren	24	8.2 Aanhaalmomenten	43
3.12 Elektrostatisch opbrengen van liners	25	8.3 'Hot bolting'	43
3.13 Spuit- en dompeltechnieken	25	8.4 Het gebruik van pakkingmaterialen	43
4 De selectie van een liner	26	8.5 Field-flaring en passtukken ('spacers')	43
4.1 Algemeen	26	8.6 Mogelijke flensconstructies	44
4.2 Selectie van liners in relatie tot de productiemethode versus vormgeving van het substraat	26	8.7 Speciale aandacht voor ontluchtingssystemen	44
4.3 PTFE	26	8.8 Isolatie	44
4.3.1 Geschilde folie	26	8.9 Demontage	45
4.3.2 Geperste artikelen eventueel mechanisch nabewerkt	27	8.10 Appendages en compensatoren	45
4.3.3 Isostatisch geperst	27	8.11 Inspectiecriteria, defecten en restlevensduurverwachting na gebruikperiode	45
4.3.4 Pasta-geëxtrudeerd	27	8.12 Stootbelasting en het hanteren van gereedschappen	46
4.3.5 Ram-geëxtrudeerd	28	8.13 Onderhoud en reparatie	46
4.3.6 Tape gewikkeld	28	8.14 Het fenomeen blistering	46
4.3.7 Dispersie gespoten	28	8.15 Handling en (tussentijdse) opslag	47
4.4 PP, PVDF, FEP, PCTFE en PFA	29	8.16 Reinigingsprocedures	47
4.5 Het bekleden met gelijmde folie	29	8.17 Hernieuwde montage	47
4.6 Selectie in relatie tot de chemische en thermische belasting	29	8.18 Aandachtspunten met betrekking tot grote beklede objecten	47
4.7 Selectie in relatie tot de mechanische belasting	30	9 Herverwerking van materialen	48
4.8 Druk en onderdruk	30	9.1 Aspecten ten aanzien van de kwaliteit	48
4.8.1 Lijmen van de bekleding	31	9.2 Toepassingsvoorbeelden	48
4.8.2 Mechanische verankering	31	10 Veiligheid en milieu	49
4.8.3 Dikkere bekleding	31	10.1 Algemeen	49
4.8.4 Het aanbrengen van drukspanning in de bekleding	31	10.2 Publicaties voor het verwerken van fluoropolymeren	49
4.8.5 Het aanpassen van de configuratie	31	Merknamen en fabrikantsnamen	50
4.8.6 Het aanbrengen van steunringen of vullingen	31	Resistentielijst	51
4.9 Erosie en cavitatie	31	Testmethoden, normen en voorschriften	52
4.10 Elektrische geleiding en statische elektriciteit	32	Literatuurlijst	52
4.11 'Specials'	32		

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Definitie van een liner

Omdat het woord "liner" geen nederlands woord is, bestaat er geen goede omschrijving die voldoende dekking verschaft voor hetgeen er in het vakjargon mee wordt bedoeld. Het betreft een uit het engels overgenomen woord, waarvoor een engels woordenboek een geheel andere verklaring geeft. Er bestaan meer woorden die voor hetzelfde onderwerp worden gebruikt zoals: bekleding, coating en deklaag. Hoewel het woord liner dus een soort bargoens is, zal het in deze publicatie toch worden gebruikt, aangezien zowel fabrikanten als afnemers dit woord in de praktijk het meeste bezigen.

In het algemeen wordt onder een liner het volgende verstaan: *een bekleding welke in of op een object wordt aangebracht om te voorkomen dat het object schade oploopt door de omgeving waarin het is geplaatst.*

De bekleding = liner wordt gebruikt ter voorkoming van corrosie, in sommige gevallen ook als erosiepreventie, terwijl het substraat de functie van sterktedragend deel van de constructie verzorgt. De liner heeft een dikte van enkele honderden microns tot meerdere millimeters.

Met betrekking tot de laagdikte bestaat er een andere definitie die luidt: *"een liner is een dek- of bescherm-laag die inwendig in een object wordt aangebracht met het doel om corrosie te voorkomen. De liner wordt vooraf gefabriceerd en daarna in vaste vorm in het object aangebracht".*

En tevens: *"alle deklagen die in een min of meer vloeibare vorm direct als bescherm-laag worden aangebracht worden coatings genoemd".*

Een andere zienswijze zegt: *"een separate scheidings-laag al dan niet hechtend aangebracht op een ander materiaal (ook wel het substraat genoemd), dat de sterkte van de constructie verzorgt".*

Weer een andere benadering luidt: *"een deklaag als scheiding tussen medium en de sterkte-constructie van een object, vaak als alternatieve oplossing voor duurdere enkelvoudige materialen".*

Welke definitie men ook adopteert, het gaat er altijd om dat inwendig, op een of andere manier, een kunststoflaag wordt aangebracht, waarbij een bepaald doel wordt nagestreefd. Meestal is dit doel het voorkomen van schade.

De liners die in deze publicatie de revue passeren, zijn inwendig in het object aangebracht. Bedoelde objecten worden gebruikt in de petrochemische, farmaceutische en aanverwante industrieën. Enkele voorbeelden zijn vaten, kolommen, tanks, leidingen, pompen en appendages.

Er bestaan vele soorten liners, zowel van thermohardende, thermoplastische als elastomere aard. De uitvoeringsvormen variëren van verfsystemen,

inbrandlakken tot zeer dikke chemisch resistente en/of slijtvaste systemen.

De behandeling van alle bestaande liners zou een zeer omvangrijk boekwerk opleveren. De auteur heeft zichzelf in samenspraak met de begeleidingscommissie de beperking opgelegd tot de behandeling van de meest gebruikte bekledingen in eerder genoemde takken van industrie. Dit zijn in willekeurige volgorde: PP, PVDF, FEP, PTFE, PCTFE, en PFA.

De aantasting door de omgeving speelt dus een cruciale rol bij het inzetten van een liner, doch er worden eveneens oppervlakken van liners voorzien ter verfraaiing van het voorwerp, te denken valt aan gevelbekledingen.

Ook als vervuiling een rol speelt, kan dit ook door het toepassen van een liner worden voorkomen. Tunnelwanden worden bijvoorbeeld van een niet metallische laag voorzien. Ook om gladde oppervlakken te creëren worden liners toegepast. Voor transportglijbanen worden kunststoffen met lage wrijvingscoëfficiënt gebruikt.

De laatste onderwerpen stellen specifieke eisen aan de liner, die slechts voor een deel overeenkomen met de doelstelling en vallen buiten het bestek van deze publicatie.

Zoals er veel soorten liners bestaan, zijn er eveneens tal van substraten waarop liners voor verschillende doeleinden worden aangebracht. Elk van deze ondergronden vereist een verschillende aanpak en selectie van de liner en het zou te ver voeren voor elk van de substraten de toe te passen liners te behandelen.

Metaal (koolstofstaal) komt als substraat het meeste voor in eerder genoemde takken van industrie. In deze publicatie zal ervan worden uitgegaan, dat de te bespreken liners inwendig in een metalen object worden aangebracht. Dat wil echter niet zeggen dat deze liners niet op een andersoortige ondergrond kunnen worden toegepast.

1.2 Te behandelen liners

In deze voorlichtingspublicatie zullen de volgende kunststoffen worden behandeld: FEP, PCTFE, PFA, PTFE, PVDF en PP.

De eerste 5 kunststoffen zijn allen fluorpolymeren, zo genoemd omdat er in een of andere vorm het fluoratoom in voorkomt. De laatste is een thermoplast zonder fluor en hoort thuis in de groep polyolefinen.

Kunststoffen die niet zullen worden behandeld zijn onder meer:

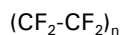
- alle thermoharders en elastomeren.
Enkele voorbeelden hiervan op het gebied van de thermoharders zijn: Polyester, epoxy, vinylester en dergelijke systemen die in de regel gevuld en/of versterkt zijn met glasvezels of anderszins;
- het gehele gebied van de chemisch resistente verfsystemen en moffellakken ook wel inbrandlakken genoemd;
- alle rubberbekledingen, ebonieten, polyurethanen en andere elastomeren;

Bovendien zullen niet worden behandeld andere thermoplasten zoals: PVC, PE en PA, welke zowel als traditionele liner alsook wervelsintermateriaal of poedercoating worden ingezet.

1.3 Volledige chemische naam

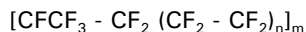
PTFE: Poly Tetra Fluor Etheen

Een polymeer dat bestaat uit repeterende tetrafluoretheen monomeergroepen.



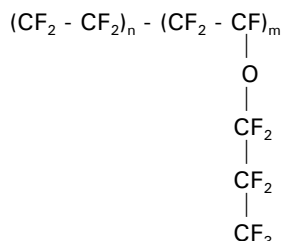
FEP: Fluoridated Ethylene Propylene

Een copolymeer van tetrafluoretheen en hexafluorpropeen.



PFA: PerFluor Alkoxy

Een copolymeer van tetrafluoretheen en een gefluoreerde vinylether.

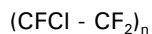


PVDF: PolyVinylDeenFluoride

Een homopolymeer waarvan de grondstructuur heel simpel is namelijk: $(\text{CF}_2 - \text{CH}_2)_n$
Dit lijkt qua structuur op PTFE doch aan het tweede koolstofatoom is geen fluor doch waterstof gebonden.

PCTFE: Poly monoChloor TriFluor Etheen

Een homopolymeer waarbij in vergelijking met PTFE één fluoratoom is vervangen door een chlooratoom.



PP: PolyPropeen

Wordt in verschillende soorten op de markt gebracht. Te weten als homopolymeer, als copolymeer en als randompolymeer.
De meest simpele formule is $[\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3)]_n$

1.4 Namen en fabrikantsnamen waaronder fluorpolymeren en PP op de markt worden gebracht

Veel fabrikanten bezitten een goede naam en brengen reeds lange tijd producten van uitstekende kwaliteit op de markt. Hun fabrikantsnaam is zo ingeburgerd dat veel mensen bijvoorbeeld Teflon® zeggen en daarmee PTFE bedoelen.

Teflon® is een productverzamelnaam van Dupont, de firma die onder deze naam al zijn fluorpolymeren op de markt brengt; zo is er Teflon® FEP, Teflon® PFA en onder meer Teflon® PTFE.

U zult begrijpen dat op deze manier gemakkelijk misverstanden kunnen ontstaan. Vooral als men bedenkt dat de diverse fabrikanten niet één soort op de markt brengen, doch in veel gevallen tientallen gradaties van een soort.

Het is daarom aan te bevelen uitsluitend de chemische naam te gebruiken en indien nodig samen met de gewenste grade. Om enig inzicht te verschaffen omtrent de fabrikanten en de gebruikte merknamen is op blz. 50 een overzicht opgenomen.

1.5 Verschijningsvormen

PP

Polypropeen is een zogenaamde polyolefine. De natuurlijke kleur is melkachtig tot wit, doch het kan met vele pigmenten zijn ingekleurd. Meestal wordt het op de markt gebracht in een beige tot grijze kleur. Het komt voor als granulaat. Als gereed product zien we het in vele vormen, van folie tot speelgoed, huishoudelijk gereedschap, leidingssystemen en technische artikelen.

Van de kunststoffen uit deze publicatie is PP verreweg de goedkoopste en wordt dan ook het meeste aangetroffen ook buiten de technische sfeer.

PVDF

Polyvinylideenfluoride dat met de chemische naam ook wel wordt aangeduid als PVF₂, waarvan de natuurlijke kleur melkachtig is, komt voornamelijk voor als technische kunststof. Het is sterk vertegenwoordigd in de leidingstelselsector. Als bekleding van glasvezelversterkte thermohardende objecten komt het eveneens regelmatig voor.

Men ziet het ook als geperst of gespuitgiet artikel in hoogwaardige meestal chemische toepassingen zoals op laboratoria en dergelijke. Om deze kunststof te kunnen onderscheiden in bedrijven die meerdere kunststoffen verwerken, wordt het soms met een pigment ingekleurd. Ditzelfde geldt ook voor FEP, PCTFE en PFA.

FEP

Fluoridated Ethylene Propylene is eveneens een melkachtige kunststof die zich prima laat spuitgieten en derhalve geschikt voor de fabricage van vele artikelen. We komen het in al of niet gepigmenteerde toestand tegen als: balgen, laboratoriumuitrusting, filters, pakkingen, afdichtingen, ventielen of afsluiters. In deze publicatie wordt aandacht besteed aan FEP als bekleding van fittingen en appendages.

PTFE

Polytetrafluoretheen is ondoorzichtig wit van kleur. Indien gevuld met een eigenschappenverbeterend vulmiddel, kan het vele kleuren bezitten, tot zwart toe. PTFE bezit een zeer lage wrijvingscoëfficiënt en komt in vele vormen voor als huishoudelijk artikel bij de anti-aanbak toepassing, bij de elektrotechnische industrie vanwege de goede diëlektrische eigenschappen. In de chemische industrie komen we het steeds tegen als chemische inertheid wordt verlangd. In deze publicatie zal het de revue passeren als bekleding van objecten, leidingssystemen en appendages.

PCTFE

Poly monoChloor TriFluor Etheen is wit tot transparant van kleur. Komt in maagdelijke vorm voor als poeder en granulaat. Voelt in geperste vorm stroef aan en het komt voor als bekleding, als profiel en stafmateriaal. Het is niet lijmbaar, slecht lasbaar en bijzonder hard. Vindt veel toepassing als afdichting en lagermateriaal.

PFA

Perfluoralkoxy is transparant en is uitsluitend met hulpmiddelen, zoals een smeltbank, te onderscheiden van FEP. PFA wordt veel verward met en is kostbaarder dan FEP. De resistentie van FEP en PFA komen ongeveer overeen, PFA heeft echter een betere temperatuurrestantie.

Het is dus zaak zich er goed van te vergewissen of men met PFA, dan wel met FEP te maken heeft, te meer omdat beide kunststoffen hetzelfde toepassingsgebied kennen.

1.6 *Onderlinge vergelijking tussen de enkelvoudige eigenschappen*

Van de zes kunststoffen die worden behandeld, bezit **PTFE** wat resistentie betreft veruit de beste eigenschappen, zowel ten opzichte van chemische als thermische resistentie.

PTFE is echter tevens een materiaal dat qua verwerking en gebruik de meeste beperkingen bezit.

PTFE is een thermoplast, evenals de vijf andere materialen, doch PTFE laat zich niet volledig als thermoplast verwerken. Oorzaak hiervan is dat de viscositeit van PTFE gedurende de rubberachtige fase zo hoog is, dat het niet voor extrusie in aanmerking komt. PTFE verkrijgt zijn vormgeving door het sinterproces. Door thermische behandeling kan enige vormverandering worden bewerkstelligd, doch niet in die mate zoals men dat van een "echte" thermoplast mag verwachten.

Het lassen van PTFE is vanwege het bijzondere smeltgedrag een zaak die veel vakmanschap vergt. Slechts enkele gespecialiseerde bedrijven zijn hiertoe in staat. Dergelijke bedrijven doen veel onderzoek en presteren het om lassen te maken die de sterkte van het moedermateriaal benaderen.

Een andere beperking van PTFE is, dat het in vergelijking met de andere te behandelen linermaterialen de hoogste permeabiliteitscoëfficiënt bezit. Om de gepermeëerde gassen te laten ontwijken moeten daarom voorzieningen worden getroffen, omdat de gassen zich anders ophopen tussen liner en substraat.

Voor de permeabiliteitscoëfficiënt kan de volgende omschrijving worden gegeven: *de hoeveelheid van een bepaald gas dat gedurende bepaalde tijd bij vastgestelde temperatuur en druk een kunststoffolie dat een bepaalde oppervlak en dikte bezit passeert.*

Het testgas is meestal helium. De permeabiliteit neemt sterk toe bij temperatuurverhoging. Het fenomeen wordt ook wel gasdoorlaatbaarheid of door-dringbaarheid genoemd. Resumerend kan worden opgemerkt dat, in vergelijking tot de andere vijf materialen, PTFE een uitzonderlijk materiaal is met zeer goede eigenschappen, dat echter qua verwerking en gebruik enkele duidelijke beperkingen kent. Deze beperkingen spelen een grote rol bij de configuratie van het object dat van een liner moet worden voorzien.

PFA bezit een iets mindere temperatuur- en chemische resistentie dan PTFE. Voordeel is dat PFA zich volledig thermoplastisch laat verwerken. Ook is het niet zo gevoelig voor permeabiliteit als PTFE.

De verwerkingstemperatuur is tamelijk hoog, PFA is minder sterk dan PTFE, de rek is ongeveer gelijk. PFA is goed lasbaar en wordt als toevoegmateriaal gebruikt bij het lassen van PTFE.

De prijs is echter aanmerkelijk hoger dan die van PTFE en de verkrijgbaarheid schijnt ook nog wel eens problemen op te leveren.

FEP ligt weer iets lager in temperatuurresistentie en ook is de chemische resistentie in sommige gevallen minder. FEP is niet zo sterk, maar bezit wel een hoge rek. Daar staat tegenover dat het gemakkelijker en bij lagere temperatuur verwerkbaar is, en goedkoper. FEP is goed lasbaar.

PVDF is sterk en bezit een redelijke rek. De temperatuurbestendigheid is aanmerkelijk minder dan van voorgaande fluoropolymeren en laat het zich daarom

vanzelfsprekend bij lagere temperatuur thermoplastisch verwerken. PVDF bezit een breed resistentiebereik, doch heeft bij vooral basische media zijn beperkingen. PVDF wordt behalve als lining ook veel als kunststof op zichzelf gebruikt. Het komt voor als buissysteem. PVDF is uitstekend lasbaar. PVDF laat zich ook verwerken als wervelsinter- of poedercoatingmateriaal.

PCTFE heeft goede kristallisatie eigenschappen, die het harder maken dan PTFE.

De chemische bestandheid van het materiaal is goed, maar sterk oxiderende zuren veroorzaken aantasting. De bestandheid tegen organische verbindingen is goed. Het onderscheidt zich gunstig bij het gebruik in cryogene toepassingsgebieden. Het wordt toegepast waar PVC tekort schiet in temperatuurresistentie. Als copolymeer met PVDF wordt PCTFE verwerkt om een hogere gebruikstemperatuur te bewerkstelligen.

PP is een polyolefine die, in vergelijking tot de andere linermaterialen, de laagste maximum gebruikstemperatuur bezit. PP is behoorlijk sterk bij een goede rek. PP laat zich uitstekend extruderen, spuitgieten en bewerken en het is tevens goed lasbaar. Behalve als liner wordt PP in veel toepassingen gebruikt, zowel als buissysteem, als plaatmateriaal doch ook als vormstuk in vele vormen. De chemische resistentie van PP is beperkt.

1.7 *Herkenningsmethoden*

PTFE

De kleur van PTFE varieert van bijna doorzichtig, afhankelijk van dikte en kwaliteit, tot ondoorzichtig melkwit. Dit geldt vanzelfsprekend voor PTFE's die niet zijn gepigmenteerd of van vulmiddelen voorzien. Het voelt vettig en zeer glad aan. Het is tamelijk zwaar; het soortelijk gewicht bedraagt meer dan 2. Als men een monster verwarmt, wordt dat bij 327°C plotseling glashelder doorzichtig.

Een herkenningmethode bij kunststoffen berust vaak op een geurtest die genomen wordt van de verbrandingsgassen.

Het trachten aan te steken van een fluoropolymeer, dus ook van PTFE, moet echter ten sterkste worden ontraden, omdat bij verbranding van fluoropolymeren fluorwaterstof vrijkomt, hetgeen zeer schadelijk is voor de gezondheid.

PFA

PFA bezit een melkachtige troebele kleur en is bijna doorzichtig. Het bezit nagenoeg hetzelfde soortelijk gewicht als PTFE. Een monster PFA voelt wat minder hard aan als PTFE. Het oppervlak voelt niet vettig aan. PFA kan evenals PTFE zijn ingekleurd of het kan vulmiddelen bevatten.

FEP

FEP lijkt uiterlijk sterk op PFA. Verwarring met PFA ligt daarom voor de hand. De enige bekende methode om beide kunststoffen (in maagdelijke vorm) te onderscheiden, is de smeltbank, FEP verliest bij lagere temperatuur zijn kristalliniteit en gaat eerder in de smelt over dan PFA. Evenals voor PFA geldt voor FEP dat in geval van twijfel een thermo-analyse zoals DSC of IR-spectrometrie uitkomst kan bieden. Een melt-index kan als herkenningmethode ook goede resultaten geven. Een bijkomend voordeel is dat de testresultaten van de melt-index ook voor andere doeleinden dan identificatie kunnen worden geïnterpreteerd.

PVDF

PVDF in ongevulde vorm is eveneens melkachtig wit. Het is transparanter dan PTFE doch minder doorzichtig dan PFA en FEP. Het is te onderscheiden door een duidelijk lager smeltpunt. Ook het soortelijk gewicht is lager en beweegt zich rond 1,75.

PCTFE

PCTFE, weer een wit half doorzichtig polymeer met een soortelijk gewicht dat op hetzelfde niveau ligt als dat van PTFE. Het voelt echter minder vettig en glad aan.

PP

Polypropeen lijkt in zijn natuurlijke kleur op PFA en FEP. Het is wellicht iets minder doorzichtig. PP is meestal gepigmenteerd en heeft dan een lichtgrijze tot beige kleur. PP is gemakkelijk te herkennen als men het aansteekt. Aansteken is echter niet aan te raden als men het wil onderscheiden van een fluorpolymeer, omdat bij verbranding van een fluorpolymeer het giftige fluor kan vrijkomen.

Als dit gevaar niet bestaat en men steekt het aan, dan heeft het een geur die enigszins aan kaarsvet doet denken. Om het te onderkennen van een gefluoreerde kunststof is het niet nodig om het aan te steken. Het soortelijk gewicht van PP is, in tegenstelling tot alle fluorpolymeren, kleiner dan één. Het drijft dus in water.

Voor alle kunststoffen geldt dat men het kan identificeren met een Infra Rood (IR)spectrogram. Dit levert een grafiek op die als het ware een vingerafdruk van de kunststof is. Hiervoor is een, liefst gecertificeerd, laboratorium nodig.

1.8 *De ontwikkeling van fluorpolymeren en polypropeen*

Gefluoreerde kunststoffen zijn reeds lange tijd op de markt en zijn vanwege hun uitstekende eigenschappen graag gewilde artikelen. De fluorpolymeren danken deze eigenschappen en hun uitstekende resistentie aan de bijzonder stabiele opbouw. De uitzonderlijke stabiliteit is te danken aan de zeer sterke fluor-koolstof binding.

Het bekendste en meest toegepaste materiaal uit deze groep is PTFE (polytetrafluoretheen). PTFE werd in 1938 ontdekt en na de tweede wereldoorlog in 1946 op de markt gebracht.

De verwerking van PTFE vergt speciale technieken en sinds de synthese van het materiaal zoeken chemici naar methoden om een fluor-koolstofpolymeer te vervaardigen waarvan de verwerking op een smeltprocédé is gebaseerd, en dat dezelfde uitstekende eigenschappen zou moeten bieden. Een mogelijke kandidaat PCTFE (polychlorotrifluoretheen), werd in feite gesynthetiseerd in 1934, vier jaar vóór de ontdekking van PTFE.

PCTFE is uiteraard nog steeds in productie en hoewel het de laatste tijd wat meer aandacht krijgt, heeft het nooit een echt breed toepassingsgebied gekend. Het is echter marktaanvoerder in gasdichte verpakkingfolie. Vooral in die specialiteit, bij verpakkingen voor defensie- en medische doeleinden, is het niet overtrekbaar door een ander fluorpolymeer.

Al in 1941 hebben chemici gefluoreerde copolymeren op basis van TFE (tetrafluoretheen-monomeer) geproduceerd. Doch het eerste materiaal dat qua eigenschappen op PTFE geleek was FEP, een copolymeer van TFE en HFP (hexafluorpropeen).

Dit product, dat voor het eerst in 1959 op de markt kwam, verschilt globaal slechts in één essentiële

eigenschap van PTFE, namelijk de lagere bedrijfstemperatuur.

FEP heeft een continue gebruikstemperatuur van 205°C ten opzichte van 260°C voor PTFE, maar kan als een echte thermoplast worden verwerkt met nagenoeg alle conventionele verwerkingstechnieken voor kunststoffen (genoemde temperaturen gelden voor chemisch onbelaste situaties). Slechts een relatief hoge viscositeit gedurende de smelt stelt een grens aan de verwerkingsnelheid. Verder onderzoek leidde in 1972 tot de introductie van PFA (perfluoralkoxy), een copolymeer van TFE en een gefluoreerde vinylether. De introductie van dit product was van grote betekenis, omdat PFA de prestaties van PTFE in praktisch elk opzicht evenaart, terwijl de gebruikstemperatuur van 260°C (onbelast) gelijk is aan die van PTFE.

Aangezien PFA zijn mechanische eigenschappen bij hoge temperatuur beter behoudt, is het denkbaar dat dit product in enkele toepassingsgebieden voordelen biedt ten opzichte van PTFE, zeker als men bedenkt dat PFA op de normale thermoplastische manier verwerkbaar is.

PVDF is een eveneens op thermoplastische wijze verwerkbaar homopolymeer en werd de eerste maal in de tweede wereldoorlog in Amerika in het kader van het "Manhattan-Project" vervaardigd. Tal van grote chemische concerns hielden zich op een of andere wijze met de fabricage bezig, doch het werd in 1961 door Pennwalt op de markt gebracht. Daarna zijn er nog minstens vijf grote fabrikanten gekomen, die zich op de fabricage van PVDF hebben gestort.

Door de goede mechanische eigenschappen en de relatief lage prijs wordt PVDF op grote schaal voor menige toepassing ingezet. Een meer universele toepassing zoals bij PTFE wordt tegengegaan, doordat de resistentie met betrekking tot een aantal media, zoals sommige geconcentreerde zuren en basen, te wensen over laat.

PP tenslotte valt buiten het rijtje fluorpolymeren. Het is een pure thermoplast die wordt gepolymeriseerd uit etheen door middel van de zogenaamde mengkatalysatoren in een suspensie of een emulsie. Opgemerkt dient te worden dat, als gevolg van de diverse polymerisatietypen, verschillende moleculaire configuraties ontstaan.

Zo is er het PP-homopolymeer, het PP-copolymeer en het PP-randopolymeer. Recent is gedurende een onderzoek gebleken, dat de moleculaire configuratie gevolgen kan hebben voor de lasbaarheid van PP. Gegevens over PP (en PVDF) zijn gepubliceerd in de VM-publicaties VM 98, VM 99 en VM 100, respectievelijk "Stuiklassen, Extrusielassen en Heetgaslassen van thermoplastische kunststoffen"

1.9 *Toekomstverwachting*

Terwijl FEP en PFA de enige fluor-koolstoffen zijn die rechtstreeks met PTFE worden vergeleken, is sinds lange tijd duidelijk dat het gebruik van fluor-koolstoffen zou kunnen worden uitgebreid wanneer een mechanisch betere versie beschikbaar zou zijn. PTFE heeft als beperkingen de lastige verwerkbaarheid en het permeatie gedrag. Het bezit van alle kunststoffen echter de beste temperatuur- en chemische resistentie.

Om de beperkingen van PTFE enigermate te omzeilen, kan het met talrijke vulmiddelen worden gemengd,

waardoor een drastische verandering in de eigenschappen teweeg kan worden gebracht. In het laatste decennium zijn er talrijke nieuwe kunststoffen op de markt gekomen. Te denken valt aan PEEK (poly-ether-ether-keton). Dit is een kunststof waarmee diverse producenten hebben geëxperimenteerd, waardoor er variaties zijn ontstaan.

Deze PEEK-achtigen zijn kunststoffen die qua eigenschappen doen denken aan polysulfon. Dit is ook het geval met Aramide en Ultra Hoog Moleculair Gewichts Polyetheen (UHMW-PE), die bovendien een extreme sterkte bezitten.

De industrie zoekt naar een dergelijk sterke kunststof die kan worden gecombineerd met het fluoratoom, vanwege zijn goede resistentie.

Mede door het doen van experimenten verschijnen er steeds nieuwe varianten, die op een of andere wijze preferente eigenschappen bezitten. Enkele namen: PECTFE of ECTFE, PETFE of ETFE en PVF.

Tot nu toe kan echter voor de gefluoreerde polymeren worden geconcludeerd dat PTFE de beste resistentie bezit waarop FEP, PFA, PVDF en PCTFE vanwege hun verwerkbaarheid, een goede aanvulling vormen.

Op het gebied van de reeds eerder besproken vulstoffen worden steeds meer vorderingen gemaakt. Men kan bijvoorbeeld een koolstof door de kunststof mengen om de sterkte te verbeteren, tevens kan men hiermee de elektrische geleidbaarheid van de kunststof beïnvloeden.

Voor PP geldt dat op het moment van verschijnen van deze publicatie er zeer veel fabrikanten zijn die PP produceren. Dit heeft zijn gevolgen voor de prijs. Door oververzadiging van de markt is PP zeer goedkoop. De verwachting is dat deze tendens zich nog verder zal doorzetten.

Deze ontwikkeling geldt ook voor de grondstof van PP, het etheen dat door zeer veel petrochemische bedrijven wordt vervaardigd.

Organische fluorverbindingen en fluorpolymeren bezitten twee belangrijke eigenschappen die des te sprekender zijn, naarmate er meer fluoratomen in het molecuul aanwezig zijn. Deze zijn:

- 1) De extreme chemische bestandheid (PTFE wordt noch door koningswater noch door geconcentreerde basen aangetast).
Deze bestandheid moet worden toegeschreven aan de bindingskracht. De bindingskracht tussen koolstof en fluoratomen is een der sterkste en stabielste die in de natuur voorkomen. Er is veel energie nodig om een fluoratoom van een koolstofatoom te scheiden.
Het gevolg hiervan is dat de kans op aantasting zeer gering is. In tabel 2.1 wordt een vergelijkend lijstje gegeven om dit te illustreren.

tabel 2.1 Een overzicht van de energie die nodig is om atomen te scheiden

binding	bindingsenergie
C - C	60 kcal/mol
C - Cl	70 kcal/mol
C - H	90 kcal/mol
C - F	90 - 120 kcal/mol*

* De bindingsenergie is hoger naarmate er meer F-atomen aan hetzelfde C-atoom zitten

- 2) De lage intermoleculaire bindingskrachten.
Dit verklaart de lage wrijvingscoëfficiënt van de fluorpolymeren en het relatief lage kookpunt van de fluorkoolwaterstoffen in vergelijking tot de overeenkomstige koolwaterstoffen.

Hoofdstuk 3

Vervaardigingsmethoden van liners

3.1 De verschillende processen

In een van de vorige hoofdstukken is het polymerisatieproces behandeld. Na deze fabricage­stap is de grondstof ontstaan: het granulaat (soms vanwege de kleine korrel ook wel poeder genoemd). Ook nu moeten we weer onderscheid maken tussen PTFE en de andere liners.

Zoals al eerder opgemerkt is de viscositeit van PTFE in de smelt zo hoog, dat het niet als "echte" thermo­plast kan worden verwerkt. PTFE ondergaat een be­paalde persmethode en krijgt daarna een warmtebe­handeling, het zogenaamde sinteren. PTFE wordt **altijd** gesinterd.

PP, PVDF, FEP, PFA en PCTFE laten zich allen wel thermoplastisch verwerken.

In tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van tempe­raturen en verwerkingsgegevens van de diverse kunststoffen.

3.2 Extrusie en spuitgieten

3.2.1 Extrusie

Extrusie is een procédé waarbij buizen, staven, dra­den, profielen en dergelijke worden vervaardigd door plastisch materiaal onder hoge druk in verwarmde toestand uit een opening met bepaalde vorm te per­sen. Het extrusieproces kan worden onderverdeeld in drie stadia:

- het smelten en spuitklaar maken van het materiaal;
- het vormgeven van de smelt;
- het koelen van het extrudaat.

In de extruder (zie figuur 3.1) wordt het materiaal door een verwarmde cilinder getransporteerd.

In de extruder vinden menging, transport en wrijving plaats. Het gevolg van het transport is een geleidelijke drukopbouw. Door wrijving van de granulaatdeeltjes onderling en tegen de wand en de schroef ontstaat

intensieve menging en een goede temperatuur­verdeling. Tegen het einde van de extruder is de temperatuur zo hoog opgelopen dat het materiaal gesmolten is. Aan het einde van de cilinder beschikt men dus over een enigszins vloeibare warme massa, welke onder druk een bijvoorbeeld cirkelvormige uitgang passeert. Het product is in dat geval rond stafmateriaal.

Het grote verschil tussen de extrusie van massief of een hol profiel is, dat bij een hol profiel, zoals een buis, een kern in de spuitkop van de extruder aanwe­zig moet zijn. Deze kern moet worden ondersteund. Deze ondersteuning onderbreekt de materiaal­stroom, die daarna weer moet samenvloeien. Dit geeft aanlei­ding tot zogenaamde "in line" lasnaden, ook wel vloeilijnen genoemd. Dit effect is nadelig en de in­vloed ervan moet zo gering mogelijk worden gemaakt. Dit wordt bereikt door de weg van het extrudaat na de ondersteuning zo lang mogelijk te maken. Technisch is dit lastig omdat het verder weg lokalise­ren van de ondersteuning instabiliteit en verminderde centering van de kern tot gevolg kunnen hebben. Een goede middenweg tussen zo weinig mogelijk effect van de vloeilijnen en de goede stabiele centering van de kern is een technisch compromis. Dit geldt vooral bij dikwandige buizen met relatief grote diameters. Daar waar vloeilijnen zich in het materiaal manifeste­ren, moet rekening worden gehouden met sterkte­vermindering.

Met een extruder kunnen dus buizen worden vervaar­digd, die in een later stadium in een stalen buis wor­den aangebracht om als liner te functioneren.

3.2.2 Spuitgieten

Zoals bij het extrusieproces zijn bij het spuitgieten drie fasen te onderscheiden, namelijk:

- smelten;
- vormgeven;
- afkoelen.

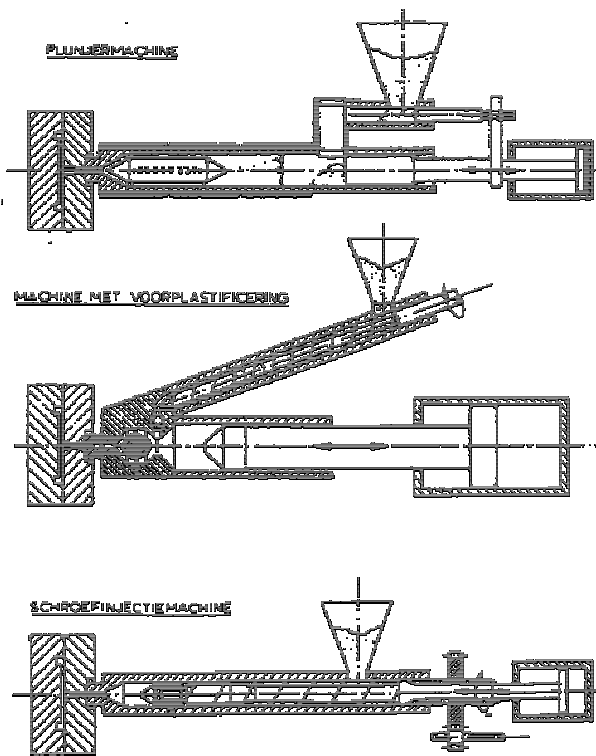
Voor het smelten van de kunststof zijn in principe drie verschillende systemen bekend.

Het plunjersysteem (zie figuur 3.2a) is het oudste en mechanisch gezien het eenvoudigste systeem. De korrels of het granulaat komen via een vultrechter, die meestal is voorzien van een doseerinrichting, in een verwarmde cilinder. Iedere keer als de matrijs wordt gevuld, wordt de massa iets naar voren gedrukt, waarna weer nieuw materiaal wordt toegevoegd.

tabel 3.1 Overzicht van temperaturen en verwerkingsgegevens van diverse kunststoffen

materiaal	smeltpunt °C	verwerkings- temperatuur °C	ontledings- temperatuur °C	verwerkingsgegevens
PVDF	175 - 178	220 - 250	350	gemakkelijk te verwerken op conventionele apparatuur; geen bijzondere materiaaleisen
PCTFE	200	280 - 310	300	verwerking lastiger dan PVDF, vergelijkbaar met FEP
PTFE	327	380	400	verwerking uitsluitend mogelijk door sintertechnieken
PFA	302 - 310	> 300	350	op conventionele apparatuur, materiaaleisen in verband met corrosie, zoals bij FEP
FEP	275 - 295	300 - 320	380	FEP laat zich lastig verwerken op conventionele apparatuur, doch de apparatuur dient uit corrosie-oogpunt te zijn vervaardigd uit: "Hastelloy" of "Monel" enz.
PP	160 - 170	190 - 200	250	gemakkelijke verwerking op conventionele apparatuur

figuur 3.1 Principeschets van een schroefextruder



figuur 3.2 Verschillende typen spuitgietmachines.
a) plunjer-machine; b) machine met
plastificeereenheid; c)
schroefinjectiemachine

Als gevolg van het gebrek aan menging en de slechte warmtegeleiding van kunststoffen ontstaan grote temperatuurverschillen tussen het materiaal aan de wand en in de kern.

Om toch zoveel mogelijk tot een temperatuurhomogenisatie te geraken, is aan het einde van de cilinder een zogenaamde torpedo geplaatst om het materiaal in een dunne laag gedurende korte tijd in nauw contact met de verwarmde torpedo en de wand te brengen. Door de propstroming gedurende het grootste deel van de weg, vindt weinig menging plaats.

In de praktijk blijkt dan ook dat men ervoor moet waken dat er inhomogeniteiten optreden. Een methode om dit te elimineren, is het gebruiken van een cilinder met beperkte diameter. Om het gevaar van inhomogeniteiten te voorkomen, is een machine ontworpen met een zeer goede mengwerking.

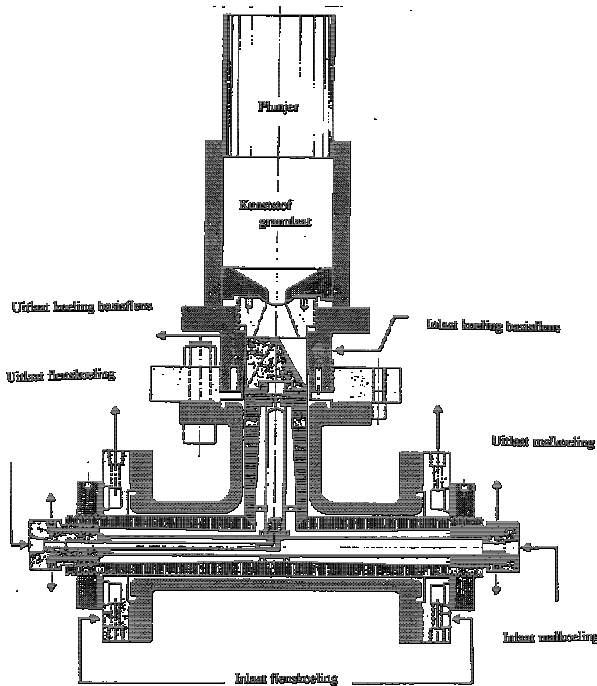
In figuur 3.2b is een extruder afgebeeld met een zogenaamde plastificeereenheid die het materiaal spuitklaar maakt. De cilinder met plunjer vervult dan de functie van accumulator en transporteur. Een nadeel van dit systeem is dat er materiaal aan de plunjer kan blijven hangen en meerdere cycli doorloopt, dit kan op zeker moment ontledingsverschijnselen veroorzaken. Een voordeel is dat, in vergelijking met de plunjerextruder, het materiaal nu is geplastificeerd en de plunjer uitsluitend in aanraking komt met vloeibaar materiaal waardoor een betere afdichting is verzekerd.

De beste homogenisering wordt bereikt door de extruderschroef tevens als plunjer te gebruiken.

Bij dit type (zie figuur 3.2c) pompt de schroef zichzelf naar achteren om vervolgens door een hydraulische aangedreven cilinder ten behoeve van het injecteren naar voren te worden gedrukt. Alhoewel er van proces-technische kant vele interessante details en problemen aan deze systemen kleven, zijn ze voor de gebruiker van deze publicatie van minder gewicht. Van belang is slechts, afhankelijk van de proces-techniek, alert te zijn op eventuele kwaliteitsveranderingen aan

het uiteindelijke product. Men dient te letten op homogeniteit, verkleuringen, lasnaden, vloeilijnen e.d. met in het achterhoofd de techniek waarmee de liner werd geproduceerd of aangebracht.

Een andere techniek is de Transfer-moulding of Transferperstechniek (zie figuur 3.3). Een techniek die bij het betreffende hoofdstuk uitgebreid aan de orde zal komen.



figuur 3.3 Transfer-moulding

3.3 *Het onderscheid tussen PTFE en andere thermoplasten*

Wanneer een ontwerper voor een fluorkoolstof of PP als liner kiest, dient hij vast te stellen welk materiaaltype de beste combinatie van verwerkings- en gebruikseigenschappen biedt die het meest tegemoet komt aan de mechanische, thermische en chemische eisen van de toepassing in kwestie. Hier spelen factoren als afmetingen, aantallen, toleranties en de prijs mede een rol.

Bij PTFE zullen de verwerkingsmogelijkheden een grotere rol spelen dan bij de andere polymeren. De moleculaire structuur van alle thermoplasten is een lange rechte ketenstructuur. Deze lange ketenstructuur, bij PTFE tussen 400.000 en 900.000 monomeereenheden, zorgt ervoor dat PTFE de al eerder genoemde hoge smeltviscositeit bezit, waardoor het niet op de "normale" thermoplastische wijze kan worden verwerkt. In het geval van FEP, PFA en de andere thermoplasten vertonen de moleculen zijketens. Daardoor is als het ware meer intermoleculaire ruimte beschikbaar.

De ruimte tussen de moleculen zorgt ervoor dat de beweeglijkheid van de moleculen groter kan zijn bij temperatuurverhoging. Hoe groter de beschikbare intermoleculaire ruimte, hoe lager de smeltviscositeit zal zijn. Daardoor kunnen deze thermoplasten, in tegenstelling tot PTFE, vanwege hun lagere smeltviscositeit, via een smeltprocédé worden verwerkt.

Hoe groter de fluoridering van het molecuul, hoe beter de hieruit voortvloeiende eigenschappen zoals chemische- en temperatuurbestendigheid. Wordt FEP als voorbeeld genomen, dan kan worden vastgesteld dat het smeltpunt is gedaald van 327°C (gelpunt van PTFE) naar 270°C, terwijl de gebruikstemperatuur op 205°C ligt in vergelijking met 260°C voor PTFE. (steeds in onbelaste toestand)

Bij bijvoorbeeld PFA is de aanwezigheid van het zuurstofatoom er de oorzaak van dat de zijketen verder van de hoofdketen afligt, waardoor veel spanning in het molecuul wordt weggenomen. Hierdoor kan de gebruikstemperatuur van het polymeer op 260°C worden gesteld. De beweeglijkheid van moleculen neemt toe naarmate de temperatuur wordt verhoogd. Deze vibratie veroorzaakt in het dicht open gepakte FEP een hoog spanningsniveau in de binding tussen de zijketen en de hoofdketen, hetgeen tot een verlaging van de gebruikstemperatuur leidt.

In het geval van PFA blijft het zuurstofatoom beschermd door een mantel van fluoratomen en de thermische stabiliteit van de koolstof-zuurstof binding is tenminste gelijkwaardig aan die van de koolstof-koolstof binding. Daardoor heeft PFA, terwijl het via een smeltprocédé verwerkbaar is, een thermische stabiliteit welke die van PTFE benadert. Uit resultaten van verouderingsproeven met PFA, blijkt dat de mechanische eigenschappen en de bestandheid tegen spanningscorrosie met de tijd verbeterd zijn. Dit is een opmerkelijk feit.

Er zijn van PTFE modificaties op de markt gebracht door vrijwel alle fabrikanten. Met deze modificaties worden structuurmodificaties bedoeld en niet de talrijke vullingen die aan PTFE worden toegevoegd om de eigenschappen te beïnvloeden. De modificaties dienen in het algemeen één doel en dat is de verwerkbaarheid te verbeteren. Door copolymerisatie met etheencomponenten zijn typen met verschillende viscositeit verkrijgbaar. De smeltviscositeit wordt hierdoor sterk verbeterd en kan in voorkomende gevallen meer lijken op het gedrag van polyamiden in plaats van fluoropolymeren. Echter een gemodificeerd type zoals ETFE bezit een gebruikstemperatuur met als maximum van 155°C op basis van een behoud van 50% van zijn oorspronkelijke rek na gedurende 20.000 uur aan die temperatuur te zijn blootgesteld.

In deze publicatie zullen dergelijke modificaties van PTFE niet als zodanig worden behandeld. Het is vanwege de gebruikseisen des te meer van belang zich er terdege van te vergewissen of men met PTFE of met een modificatie van PTFE te maken heeft. Een gemodificeerd type geeft altijd andere gebruikseigenschappen te zien. Dit kan mechanisch, chemisch en/of thermisch zijn. Een gemakkelijker verwerking is dus de sleutel tot de ontwikkeling van de besproken copolymeren.

FEP, PFA, PCTFE, PVDF en PP kunnen door middel van de standaardtechnieken voor thermoplasten worden verwerkt:

- extruderen: tubing, ommanteling, monofilamenten, staf en folie;
- spuitgieten;
- transfertgieten;
- persen;
- poederbekleding.

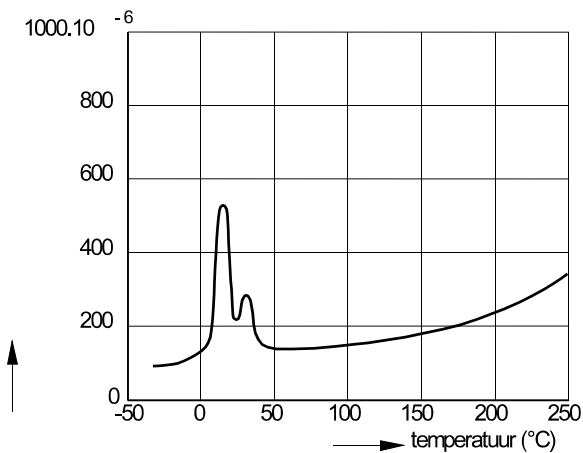
Er bestaan aanzienlijke verschillen in de verwerking van bovengenoemde materialen, welke terug zijn te voeren naar de viscositeit van de smelt.

Allen zijn via het smeltprocédé verwerkbaar, **behalve PTFE**. De voordelen tegenover PTFE, voor wat betreft de verwerkingskosten en flexibiliteit bij het ontwerpen, zijn duidelijk en het lijkt onvermijdelijk, dat zelfs nog een groter gedeelte van de nieuwe toepassingen voor fluorkoolstoffen zal worden uitgevoerd in die materialen, die echt thermoplastisch kunnen worden verwerkt.

Er bestaat qua toepassingsgebied een aanzienlijke overlap tussen PTFE en PP, PVDF, FEP, PFA en PCTFE. In geval meerdere materialen aan de functionele eisen van de toepassing voldoen, zal de materiaalkeuze door de prijs, levertijd en andere bijkomstige factoren worden bepaald. PTFE zal vanwege zijn eigenschappen een aanzienlijk marktaandeel blijven behouden voor de eenvoudige vormstukken, mede dankzij de relatief gunstige prijsstelling. PTFE leent zich uitstekend voor de vervaardiging van staf-, buis- en foliemateriaal en series eenvoudige vormstukken. Zoals later wordt besproken, zijn gecompliceerde vormstukken uit PTFE soms mogelijk, doch verisen in dergelijke gevallen veel handmatige arbeid.

PTFE verkrijgt, zoals gezegd, zijn vormgeving niet door een thermoplastische verwerking, doch door sinteren. In het volgende hoofdstuk wordt hier uitgebreid op ingegaan.

Er bestaan nog meer verschillen in eigenschappen ten opzichte van de andere polymeren en dat betreft de uitzettingscoëfficiënt. Het blijkt dat PTFE in het verloop van het uitzettingstraject met verhoging van de temperatuur twee uitzonderlijke pieken vertoont (de eerste piek wordt in figuur 3.4 weergegeven).



figuur 3.4 Uitzettingsgedrag van PTFE

De eerste piek ligt bij 19°C. Deze piek is het gevolg van een wijziging in de kristalstructuur van PTFE, waardoor het molecuul ruimtelijk plotseling een grotere plaats nodig heeft. Dit gedrag kan parten spelen bij de verwerking. Indien bijvoorbeeld bij een gevulde matrix de 19°C-grens wordt over- of onderschreden, krijgt men een plotselinge drukwijziging, waardoor de homogeniteit negatief kan worden beïnvloed.

Gevolgen als scheuren van een voorwerp tijdens het sinteren zijn niet denkbeeldig, als men de verwerkingstemperatuur van PTFE niet goed in acht neemt. Het is daarom aan te bevelen de verwerking van PTFE in dit soort kritische fasen te doen plaatsvinden in een geconditioneerde ruimte. Hierbij kan worden opgemerkt dat de handeling van het PTFE poeder het best kan plaatsvinden bij temperaturen onder de 19°C,

terwijl het vullen van vormen bij voorkeur boven de 19°C dient plaats te vinden.

De tweede piek ligt bij 327°C: een karakteristiek faseveranderingspunt voor PTFE, waarbij het hoog kristallijne materiaal amorf wordt en volledig transparant. Bij deze temperatuur heeft een omkeerbare uitzetting van circa 30% plaats.

PTFE verandert in deze fase in een soort rubberachtige gel (in plaats van vloeistof te worden), het kan in deze toestand enigermate mechanisch worden vervormd. Om het materiaal te sinteren of het door lassen met een ander PTFE voorwerp te verbinden, moet een temperatuur hoger dan 327°C worden gebruikt.

In het verleden stond men zeer sceptisch tegenover het lassen van PTFE. Het betekende altijd een ingebrachte zwakke plek in het materiaal.

Een lasfactor van 0,8 leek het hoogst haalbare, terwijl ook de rek in de laszone minder was dan in het moedermateriaal. Volgens opgave van fabrikanten is de stand der techniek thans, dat lassen kunnen worden vervaardigd die de eigenschappen van het moedermateriaal dicht benaderen. Het lassen van PTFE blijft echter een karwei voor specialisten. Men dient zich te verzekeren van kwaliteit.

Als laatste onderscheid dient de extreem hoge kristalliniteitsgraad van PTFE te worden opgemerkt. Het is mogelijk om gedurende het fabricageproces de mate van kristalliniteit te beïnvloeden.

3.4 *Het persen van PTFE en de sinter-technieken*

Sintertechnieken komen uitsluitend in aanmerking voor PTFE, omdat dit materiaal vanwege zijn zeer hoge viscositeit in de smelt niet via een extrusie-techniek kan worden verwerkt.

Het sinteren is een warmtebehandeling, waardoor het PTFE voorwerp, dat eerst in de verlangde vorm is gebracht, de nodige sterkte verkrijgt. Dit kan een eenvoudige vorm zijn, zoals een plaat of cilinder, maar ook gecompliceerde vormen zijn mogelijk, zoals bijvoorbeeld een T-stuk of appendage-onderdelen. Zo'n PTFE voorwerp kan na het sinteren een eventuele mechanische nabewerking ondergaan.

Om een voorbeeld te geven: Veel PTFE pakkingen worden op een draaibank vervaardigd uit een PTFE cilinder. Voor het verdichten van poeder of granulaat zijn hydraulische persen het best geschikt. Om kleine dunwandige objecten te fabriceren, voldoet een pers met kleine cilinderinhoud. Men dient rekening te houden met persdrukken van 200 tot 350 bar voor ongevuld materiaal, voor compounds worden drukken gebezigd van ca. 1000 bar.

Grote objecten, zoals cilinders waaruit folie wordt geschild, hebben aanmerkelijke afmetingen, waarvoor grote en zware hydraulische apparatuur noodzakelijk is. De persapparatuur is mede zo omvangrijk omdat de vulhoogte van ongeperste PTFE poeder het tienvoudige kan bedragen van de hoogte van het geperste voorwerp.

Bij het enkelvoudig persen wordt zoveel mogelijk gewerkt met geometrisch eenvoudige vormen, zoals massieve of holle cilinders. Het persen kan worden gedaan zoals figuur 3.5 laat zien.

Het sinteren berust op de techniek van granulaire procesvoering, zoals deze ook wordt toegepast in de metaalwereld.

figuur 3.5 Principeschets voor de constructie van een pers voor cilinders van grote afmeting

Er zijn 3 processtappen:

- voorvormen;
- sinteren;
- afkoelen.

Elk van deze stadia moet gecontroleerd gebeuren om een optimaal resultaat en kwaliteit te waarborgen.

Naast de processtappen zijn er vanzelfsprekend de poeder- of granulaateigenschappen, zoals moleculair gewicht en granulaatgrootte, die verantwoordelijk zijn voor het eindresultaat. In dit hoofdstuk zullen we ons echter beperken tot de parameters die kunnen worden beïnvloed door het proces.

3.4.1 *Voorvormen*

In dit stadium wordt druk gebruikt om het losse PTFE-poeder te comprimeren, zoveel mogelijk lucht te verdrijven en voldoende sterkte te geven, zodat het geperste PTFE voorwerp (dat in dit stadium weinig sterkte bezit) niet wordt beschadigd door handling en sinteren. Het nu ontstane voorwerp wordt 'preform' genoemd.

Als de druk wordt aangebracht, vermindert het volume door het ontwijken van de lucht. Het aanbrengen van de druk dient geleidelijk te geschieden. In eerste instantie zal het poeder zich bij lage druk richten en ruimtelijk gezien een optimale plaats innemen. Bij verdere verhoging van de druk slippen, glijden en rollen de deeltjes op hun uiteindelijke plaats. Door op deze manier te werken, verzekert men zich ervan dat de best mogelijke pakking wordt bereikt en dat de omvang en het aantal ingesloten luchtblaasjes zo gering mogelijk wordt.

Bij verdere verhoging van de druk worden raakvlakken tussen aanliggende poederdeeltjes groter door plastische deformatie. Tussen de raakvlakken ontstaat

een zekere mate van cohesie. Hierdoor worden nog meer luchtinsluitingen verwijderd.

Als de druk verder wordt verhoogd, veroorzaakt dit een elastische compressie. Bij extreme drukken kunnen door afschuiving scheuren in de preform ontstaan. Gedurende het gehele proces wordt zoveel mogelijk lucht verdreven.

Het gehalte aan kleine luchtholten, het zogenoemde "Void Content", wordt in hoofdzaak bepaald door de omstandigheden gedurende het voorvormen, doch er vindt ook een vermindering van het void content plaats tijdens het sinteren. Daar staat tegenover dat een hoog void content, veroorzaakt door te lage druk bij het voorvormen, niet kan worden gecompenseerd door het aanpassen van de sintercondities. De krimp wordt eveneens in hoge mate bepaald door de voorvormdruk. Te lage voorvormdruk heeft een hoog void content tot gevolg met slechte diëlektrische eigenschappen, lage sterkte en verminderde diffusiebestendigheid. Te hoge voorvormdruk geeft eveneens slechte diëlektrische eigenschappen en sterktecijfers te zien als gevolg van kleine scheurtjes of microcracks (crack = initiatievorm van een scheur; met een vergroting van $10\times$ kan deze zichtbaar worden gemaakt). Een gulden regel, die niet altijd even eenvoudig te verwezenlijken is, luidt: 'De optimale voorvormdruk is de druk die zowel microvoids en microcracks vermijdt'. Deze druk varieert met het type PTFE poeder of granulaat.

Het zal duidelijk zijn dat de voorvormdruk belangrijk is voor het verkrijgen van een goed product. Niet minder belangrijk is de volledige distributie van de druk door de gehele voorvorm. Dit is niet eenvoudig, omdat PTFE poeders geen ideale "vloeistoffen" zijn. Toch moet ieder PTFE partikelkje dezelfde druk "zien". Drukdistributie door het PTFE voorwerp gebeurt ook niet momentaan. De vertraagde distributie wordt veroorzaakt door frictie en vorm van het poeder c.q. granulaat.

Om een perfecte voorvorm te produceren, is het noodzakelijk de volgende procesvariabelen nauwkeurig te controleren:

- conditionering van het poeder of granulaat;
- het vullen van de vorm of mal;
- het gecontroleerd aanbrengen van de druk;
- de tijd onder drukcondities;
- het gecontroleerd afbouwen van de druk;
- het aanhouden van een zekere rusttijd;
- een goede handling van de voorvorm.

Conditioneren van poeder of granulaat

Vochtigheidsgraad

Omdat PTFE niet hygroscopisch is, wordt het als gevolg van condensatie vochtig als het wordt blootgesteld aan een vochtige atmosfeer.

Vochtigheid kan cracks in het voorwerp veroorzaken gedurende het sinteren.

Temperatuur van het poeder of granulaat

Onder het 19°C overgangspunt geeft het poeder/granulaat een vertraagde reactie te zien op de voorvormdruk. Objecten die onder de 19°C met druk werden behandeld, zijn zwakker en hebben de neiging tot het vertonen van cracks.

Het voorvormen dient plaats te vinden tussen $21 - 24^{\circ}\text{C}$. Bij wat hogere temperatuur vertoont het PTFE een wat beter vloeigedrag, hetgeen tot gevolg heeft dat de vorm beter wordt gevuld, gemakkelijker kan worden gecompriëerd en de reactie op drukverhoging minder vertraagd is.

Het verhogen van de poeder/granulaattemperatuur

sorteert hetzelfde effect als het verhogen van de voorvormdruk. Een correcte druk bij wat lagere temperatuur kan te hoog zijn bij hogere temperatuur. Voorvormen bij een temperatuur boven de 30°C komt neer op een drukverhoging van 1,5 tot 2,5 N/mm². Indien er zich problemen voordoen met cracks en wanneer bij hoge temperatuur is gewerkt, moet worden overwogen de voorvormdruk in eerste instantie met ca. 10% te verminderen.

Het vullen van de vorm of mal

Onvolledige vulling van de vorm resulteert in drukvariaties die op hun beurt dichtheidsvariaties tot gevolg hebben en per saldo: vervorming, mogelijk cracks, dichtheids- en sterkteverschillen.

Het gecontroleerd aanbrenge van de druk

Voor de granulaten zijn relatief poreus. Er bevinden zich substantiële ruimtes in het granulaat en tussen de granulaatdeeltjes onderling. Bij poeders is dit vanwege de geringere deeltjesafmeting minder het geval. Om de lucht te laten ontwijken is tijd nodig. Daarom dient de druk over een zeker tijdsverloop te worden aangebracht. Snel aanbrenge van de druk kan luchtinsluiting en cracking tot gevolg hebben.

De tijd onder drukcondities

Met deze tijd wordt bedoeld de tijd dat het PTFE in de vorm onder de maximum druk staat. Het onder druk houden van het PTFE heeft tot doel de druk zoveel mogelijk gelijk te distribueren en de eventueel nog ingesloten lucht te laten ontsnappen. Onvoldoende tijd onder druk heeft gradaties in dichtheid van het product tot gevolg. Dit leidt tot cracks, scheuren, lage sterkte en daardoor slechte kwaliteit.

De tijd die nodig is om een voorwerp van goede kwaliteit te vervaardigen is afhankelijk van de druk die is aangebracht en de vorm van het voorwerp. Om zoveel mogelijk fouten door drukvariaties in de vorm te vermijden, is het vooral bij gecompliceerde vormen aan te bevelen de druk aan meerdere zijden van het voorwerp aan te brengen. Dit verlangt echter een andere persmethode die nog aan de orde komt.

Het gecontroleerd afbouwen van de druk

Evenals het aanbrenge van de druk gedurende zekere tijd, dient om dezelfde reden de druk gecontroleerd te worden afgebouwd.

Bij snelle drukvermindering kan weer luchtincorporatie als gevolg van decompressie ontstaan en tevens kunnen cracks en zelfs scheuren het resultaat zijn.

Het aanhouden van een zekere rusttijd

Zelfs na zeer zorgvuldig handelen bij vulling, aanbrenge en afbouwen van de druk, zal er zich in het voorwerp nog een geringe hoeveelheid ingesloten lucht bevinden. Volledig ontwijken van de ingesloten lucht vergt nog enige tijd.

Indien een voorvorm te snel in de sinteroven wordt geplaatst, terwijl er zich in de PTFE vorm nog lucht onder druk bevindt, leidt dit tot cracks en scheuren in het voorwerp gedurende de eerste fase van temperatuurverhoging in de oven.

Handing van de voorvorm

Het behoeft geen betoog dat de door persing verkregen voorvormen mechanisch niet sterk zijn. Derhalve dienen de preforms gevrijwaard te worden van alle mechanische belasting en schokken. Indien preforms langer moeten worden opgeslagen, dient dit bij con-

stante temperatuur te geschieden, het onderschrijden van de 19°C-grens kan catastrofaal zijn. Kijk uit voor tocht of opslag in de buurt van verwarmingselementen.

3.4.2 Sinteren en koelen

Gedurende het sinteren wordt een preform getransformeerd tot een object dat meer sterkte bezit, gecombineerd met een verminderd void content. (het "void content" is het gehalte aan kleine luchtblazen, dit is dus iets anders dan bijvoorbeeld porositeit).

Gedurende het afkoelen wordt de mate van kristalliniteit vastgelegd. Verschillende processen vinden plaats gedurende het sinteren en afkoelen:

- thermische expansie;
- het spanningsvrij worden van de poeder- en granulaatdeeltjes;
- het verdwijnen van de spanningen in de voorvorm;
- coalescentie en verdwijnen van de meeste voids;
- fusie van de contactoppervlakken van poeder- en granulaatdeeltjes;
- smelten;
- verdere void verwijdering;
- re-kristallisatie;
- thermische krimp.

Sinteren (zie ook de schematische voorstelling in figuur 3.6)

Gedurende het sinteren neemt de voorvorm ongeveer 25% in volume toe, gevolgd door spanningsrelaxatie en fusie van de poeder- en granulaatdeeltjes.

Als het smeltpunt wordt overschreden, verdwijnt de kristalliniteit van het ongesinterde PTFE en wordt het amorf en geheel doorzichtig.

Door deze conditie enige tijd te handhaven, krijgen kleine ingesloten luchtblaasjes (de voids) alsnog de gelegenheid te ontwijken of zich te sluiten.

Een complete sintering vindt plaats met als parameters tijd en temperatuur, welke weer afhankelijk zijn van het gebruikte type poeder of granulaat en de voorvormdruk.

In de praktijk bedraagt de hoogst mogelijke sinter-temperatuur 385°C voor maagdelijk PTFE en 370°C voor PTFE dat door toevoeging van een vulstof tot compound is verwerkt. Boven deze temperaturen vindt degradatie plaats, sinteren onder een temperatuur van 360°C vergt een extreem lange sintertijd.

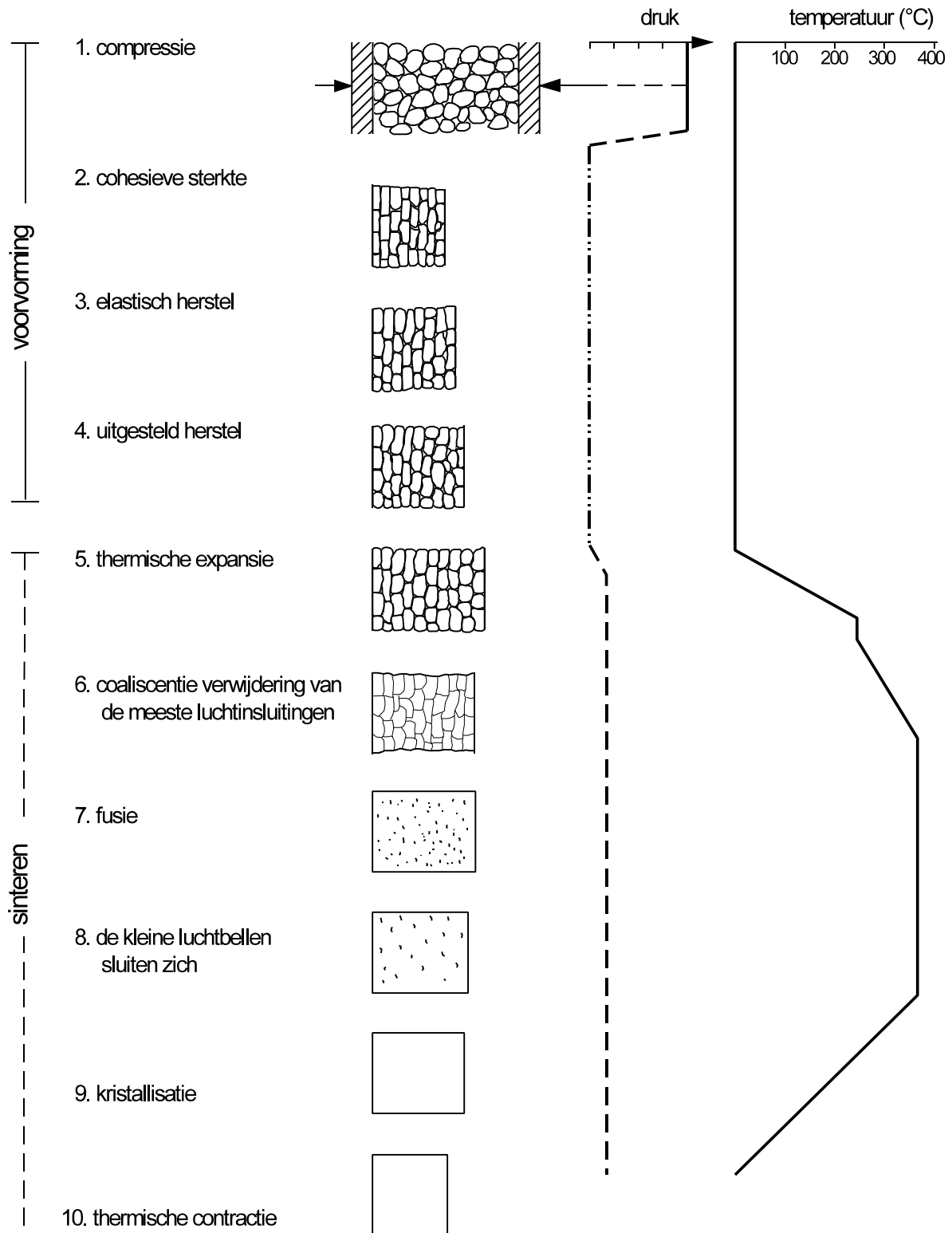
Aanbevolen sintertemperaturen zijn:

- 375°C voor maagdelijke typen;
- 365°C voor gevulde compounds.

De tijd benodigd voor complete sintering (fusie, sluiten van voids en smelten) is redelijk constant, ongeveer 2 uur. Het gehele voorwerp dient daarbij op de sintertemperatuur te zijn gekomen. De veel langere oventijden die in de praktijk worden gebruikt zijn nodig, omdat PTFE een extreem lage warmtegeleidingscoëfficiënt bezit. Eenmaal in de oven moet men rekenen met 1 tot 1 ½ uur voor elke cm wanddikte. Dat wil zeggen dat voor een wanddikte van 200 mm 10 uur nodig is om tot in het centrum van het materiaal de sintertemperatuur te bereiken. Als gevolg van de lage warmtegeleidingscoëfficiënt van PTFE zullen zich temperatuurgradiënten voordoen.

Een te grote temperatuurgradiënt veroorzaakt spanningen die gemakkelijk de sterkte van het object kunnen overschrijden, met als gevolg scheuren.

Een gulden regel luidt: *houdt een zodanige opwarming aan dat temperatuurgradiënten van meer dan 80°C absoluut worden vermeden.*



figuur 3.6 Het persen en sinteren van PTFE

Afkoelen

Tijdens het koeltraject passeert het object een temperatuur waarop het weer vast wordt. Op dit punt ontstaat kristallisatie. Het kristallisatiepunt ligt bij 308°C.

Poeder of granulaat met een hoog moleculair gewicht kristalliseert langzamer dan typen met een laag moleculair gewicht. Om dezelfde reden als bij het opwarmen dienen te grote temperatuurgradiënten te worden vermeden.

vuistregel: 8 tot 14°C per uur tot aan het kristallisatiepunt, daarna kan met ca. 50°C per uur worden gekoeld.

Veel eigenschappen van PTFE zijn afhankelijk van de mate van kristalliniteit:

- de sterkte;
- de rek bij breuk;
- het soortelijk gewicht;
- de flexmodulus;
- het elastisch vermogen;

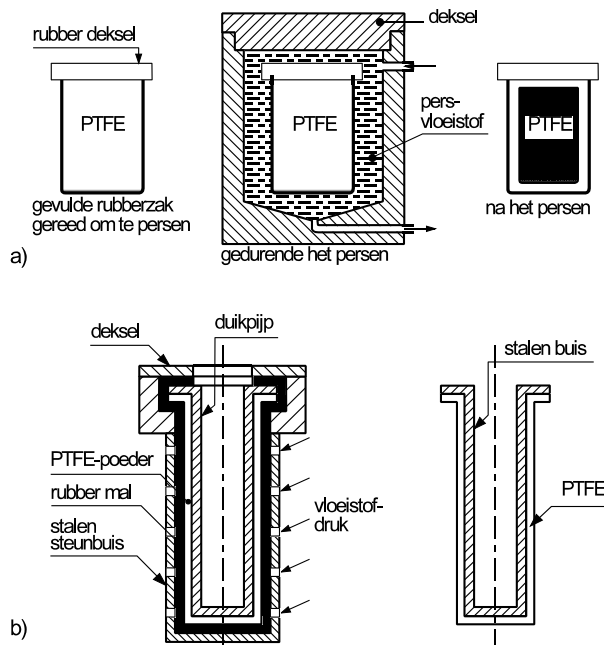
- het flex life;
- de impact sterkte.

Voorvoemde eigenschappen en het effect ervan op de kwaliteit komen later uitgebreid aan de orde.

3.5 *Isostatisch persen*

Het isostatisch persen wijkt af van het normale persprocédé, doordat het poeder/granulaat niet in één richting wordt verdicht doch alzijdig. Daardoor is het isostatisch persen geschikt voor meer ingewikkelde vormgeving. De fabricage berust op het principe dat een druk uitgeoefend op een gas of vloeistof zich naar alle zijden gelijkmatig voortplant. Voor vervorming van een comprimeerbaar poeder, zoals PTFE, wordt het object in een vloeistof gebracht die onder druk kan worden gebracht. Met dien verstande dat het PTFE van de vloeistof is gescheiden door een flexibel membraan (meestal rubber). Wanneer de vloeistof onder druk wordt gebracht, oefent zij een gelijkmatige druk uit op het membraan dat zich in de vloeistof bevindt. Hierdoor wordt het PTFE dat zich achter het membraan bevindt gelijkmatig van alle zijden verdicht. De uiteindelijke preform die nu is ontstaan is kleiner dan de oorspronkelijke vorm van het rubber membraan. In principe bestaan er voor het isostatisch persen twee methoden. Figuur 3.7 laat het onderscheid zien. De eerste manier wordt de natte methode genoemd en de tweede manier de droge methode. De droge methode is minder arbeidsintensief en bedoeld voor seriematig werk.

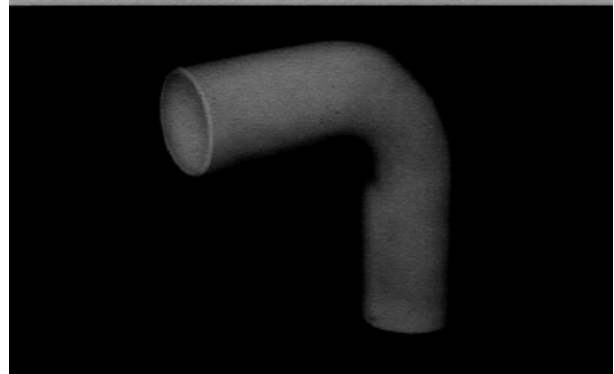
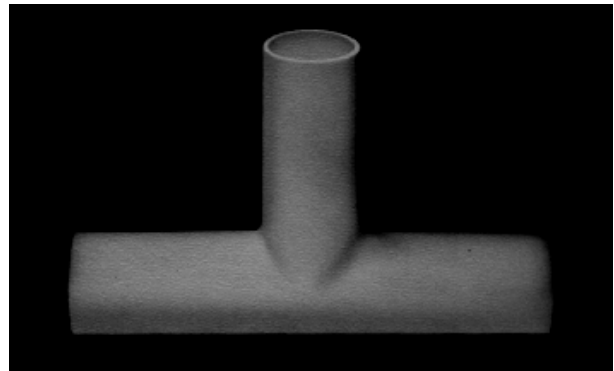
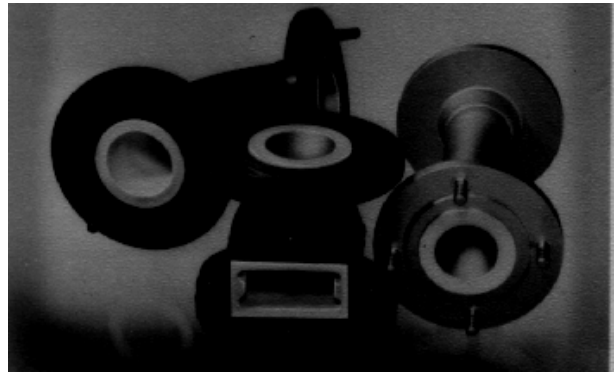
Figuur 3.8 laat zien op welke wijze gecompliceerdere vormen worden vervaardigd.



figuur 3.7 Persen van PTFE volgens de natte (a) en droge (b) methode

3.5.1 *Mogelijkheden en beperkingen van isostatisch persen*

Het isostatisch persen biedt tot op heden als enige methode voor de voor PTFE bekende fabricagemethoden de mogelijkheid om gecompliceerde



figuur 3.8 Enige voorbeelden van gecompliceerde voorbeelden d.m.v. isostatisch persen

objecten te maken. Hierdoor behoren ondersnijdingen en holle ruimten, zonder mechanisch nabewerken, tot de mogelijkheden. Daardoor is de bekleding van pompen, afsluiterarmaturen, T-stukken, Y-stukken en dergelijke met PTFE een specialisme geworden voor de isostatische persmethode.

Op deze wijze worden echter ook grotere blokvormen gemaakt om daar later een folie van te schillen. Men kan stellen dat daar waar andere, hierna te bespreken, bekledingstechnieken het laten afweten, isostatisch persen vaak nog mogelijkheden biedt. Een voordeel is dat isostatisch geperst PTFE niet meer in een object hoeft te worden gebracht. Bijvoorbeeld bij een pompbekleding dient het pomphuis als vorm. Daardoor zijn alzijdige bekledingen zoals pompwaaiers ook mogelijk. Bij andere bekledingsmethoden met PTFE is dit niet het geval.

Ook een voordeel is de homogene dichtheid van isostatisch geperst PTFE als gevolg van de goede drukverdeling tijdens de persprocedure. Dit heeft een spanningsvrij product tot gevolg. De vormkosten zijn qua materiaalkosten voordelig, omdat de rubberzakken en steundelen steeds opnieuw kunnen worden gebruikt. Door de ruime mogelijkheden betreffende de

configuratie is er slechts weinig of geen materiaal-verlies door mechanische nabewerkingen.

Een minder positief punt van isostatisch persen is de relatief hoge prijs van de producten. Dit kan worden verklaard uit het feit dat men kostbare persapparatuur nodig heeft, waarvan het volume beperkt is.

Het is bovendien een arbeidsintensief procédé.

Het vullen van de vaak ingewikkelde vormstukken is nauwkeurig vakwerk. Men dient er op toe te zien dat er absoluut geen luchtholten achterblijven.

Daarom wordt vóór het persen de eventueel nog aanwezige lucht door middel van een vacuümsysteem verwijderd.

Een andere methode is gebruik te maken van een trilbank waarop de persingen worden geplaatst om het PTFE poeder te verdichten. Voor kleine delen wordt nog wel eens de methode van voorspersen onder een conventionele pers gebruikt en daarna isostatisch persen. De vormgeving dient daarvoor geschikt te zijn. Deze methode loont zich slechts bij grotere aantallen.

3.5.2 *De bouw van een mal en poeder/granulaatkeuze*

Bij het comprimeren van de grondstof wordt lucht ingesloten. Laat men de lucht niet ontsnappen, dan heeft men als gereed product een poreus geheel zoals bij keramiek. Vooral wanneer men een zacht poeder gebruikt, dan worden door het persen alle poriën gesloten en heeft de ingesloten lucht geen kans naar buiten te treden. Daarom dient bij de bouw van de mal deze van een inrichting te zijn voorzien, waarmee men eerst de lucht uit het te persen materiaal kan verwijderen.

Omdat tijdens het persen het volume van het PTFE deel afneemt, moet minstens één deel van de vorm van elastisch materiaal zijn.

Eenvoudige elastische vormen zoals gebruikt bij fittingen, buizen, T-stukken e.d. kunnen door dompelen of spuiten worden vervaardigd. De wanddikte mag niet te dun zijn: ≥ 1 mm.

Doordat de rubbervorm zelf niet vormvast is, wordt hierin voorzien door geperforeerde metalen delen. Dit maakt het geheel handelbaar. De kwaliteit is mede afhankelijk van de keuze van het poeder c.q. granulaat. Dit moet een hoog schudgewicht hebben. Dit betekent dat de verdichtingsverhouding zo klein mogelijk is.

Een tweede vereiste is dat het goede op vloeistof gelijkende eigenschappen (vloei-eigenschappen) moet bezitten voor een goede vulling van vaak gecompliceerde mallen. Hiervoor moeten de korrels een gladde buitenkant hebben. Het is voor isostatisch persen dus noodzakelijk gebruik te maken van een granulaat. Om een goede verdeling te krijgen is het aan te bevelen een kleine korreldiameter te gebruiken.

3.5.3 *Het drukvat*

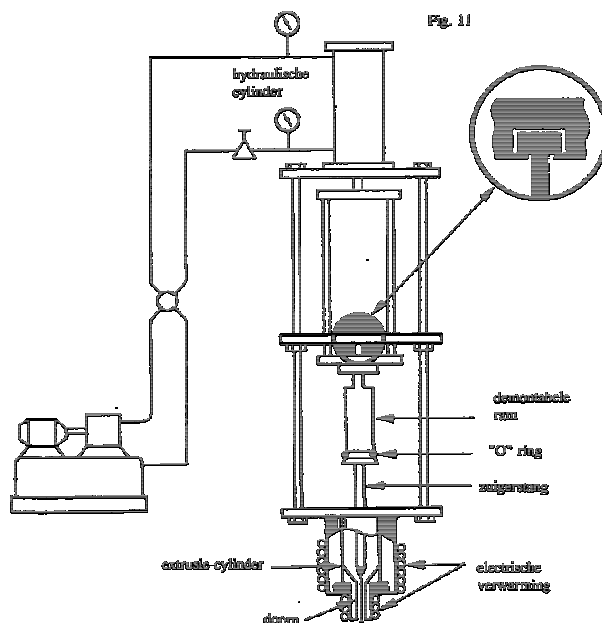
Het belangrijkste werktuig bij het isostatisch persen is het drukvat. Hierin vindt de verdichting van het tussen vorm en rubber membraan ingesloten PTFE materiaal plaats. Het behoeft geen betoog dat met de te gebruiken hoge drukken de constructie tot in detail aan alle voorschriften en veiligheidseisen moet voldoen. Toch is het ook zaak te kijken naar mogelijkheden zoals snelle verwijdering en montage van het deksel van het drukvat. Snel kunnen vullen en ledigen werkt ook

tijdbesparend. Om corrosie te voorkomen gebruikt men een anticorrosief additief in de vloeistof en vanwege economische redenen wordt deze vloeistof steeds weer hergebruikt.

3.6 *Pasta-extrusie*

Pasta-extrusie maakt de productie van dikwandige zowel als dunwandige buizen mogelijk. Tevens worden op deze wijze elektrisch geleidende draden en kabels van isolatie voorzien. Het bekende ongesinterde PTFE "loodgieterstape" wordt met behulp van pasta-extrusie vervaardigd. Ongesinterde tape wordt ook gebruikt voor de tapewikkelmethode, waarover later. Voor pasta-extrusie komen uitsluitend emulsiepolymerisat-poeders in aanmerking.

De zogenaamde pasta is een mengsel van één van deze PTFE poedertypen met een vluchtig aardolieproduct zoals benzine, nafta of lampenolie. Na menging van het PTFE poeder met de benzine wordt een cilinder voorgeperst, de zogenoemde "Kaars". De kaars wordt vervolgens in koude toestand door een plunjer-extruder geperst. Het extrudaat wordt in de sinteroven geplaatst. Daar wordt eerst het smeermiddel (benzine) verdampt en aansluitend aan de verdampingsfase wordt het object gesinterd. Bij draad en kabelbekleding kan ook aansluitend worden gesinterd, zoals figuur 3.9 laat zien. Deze werkwijze is min of meer analoog aan de ramextrusie, zij het dat niet "tabletsgewijs" wordt gewerkt. Voor de vervaardiging van liners uit pasta-extrudaat wordt echter altijd een aparte sinteroven gebruikt.



figuur 3.9 Schematische afbeelding van een hydraulische pasta-extruder voor het extruderen van dunwandige buis

Het eigenlijke proces kan als volgt worden samengevat: Smering (met benzine), rusttijd, voorvormen, extruderen, drogen, sinteren en koelen.

De extruder wordt dus geladen met de kaars en de extruder produceert in één volledige zuigerslag één buis van bepaalde lengte. Voor het produceren van buizen is een doorn in de extruder geplaatst, voor de vervaardiging van tape blijft de doorn achterwege en kan een speciale spuitmond worden gebruikt.

3.6.1 Smering

Voor de pasta-extrusie is een smeermiddel voor de vervaardiging van de pasta onontbeerlijk. Dit smeermiddel is nodig voor de extrusiestap en wel als bindmiddel, waarin het dezelfde functie vervult als de component water bij klei. Enerzijds moet het middel snel verdampen anderzijds heeft het tot taak het PTFE poeder bij elkaar te houden.

Voor verschillende producten worden verschillende benzines gebruikt. Het betreft een zogenaamde SBP (Special Boiling Point) benzine. Dit is een benzinesoort met een kookpunt in plaats van een kooktraject zoals "normale" benzines bezitten. Voor tape-extrusie wordt een vluchtiger type ingezet. Ook de verhouding benzine/PTFE poeder is een procesvariabele die meestal tussen de 18 à 20 gewichtsprocenten ligt. Voor de menging met benzine worden speciale mixers gebruikt. Dit kunnen echter ook simpele flessen zijn die op een rollenbank ongeveer een half uur worden gerold. Daarna wordt aanbevolen de verkregen pasta ongeveer 12 uur te laten rusten. In het mengstadium kunnen pigmenten worden toegevoegd. Er bestaan verschillende pigmenten. Alle pigmenten verminderen de visuele inspecteerbaarheid. Het meest gebruikte pigment is roet. Over het nut van pigmenten zijn de meningen verdeeld. De toepassing van roet zou de opname en distributie van benzine in de pasta verbeteren.

3.6.2 Voorvormen

In een enkelvoudige cilindrische pers wordt vervolgens de kaars vervaardigd. Deze kan zowel hol als massief zijn.

3.6.3 Extrusie

De extrusie is in feite een eenvoudige stap in het proces. De kaars wordt in de plunjere extruder gebracht. Vervolgens wordt de kaars door een zuiger onder druk gebracht en over een doorn naar buiten geperst. Laat men de doorn weg, dan wordt stafmateriaal geëxtrudeerd. Wordt de doorn vervangen door een meegevoerde koperdraad, dan vormt het extrusieproduct de elektrisch isolerende laag die in een direct achter de extruder geplaatste oven wordt gedroogd en gesinterd.

Bij de fabricage van liners is dit niet het geval. Het geproduceerde extrudaat is een buis die qua sterkte op klei lijkt en dus zwak is. Vaak moet door middel van metalen steunbuizen inwendig en uitwendig worden ondersteund. Dit is zeker het geval bij de grotere diameters en wanddikten.

Zou men de buis niet ondersteunen, dan zou deze reeds door het eigen gewicht kunnen scheuren. De afmetingen van de spuitmond en de doorn bepalen de binnen- en buitendiameter van de geëxtrudeerde buis. Het volume van de kaars bepaalt de lengte van het extrudaat.

Extrusiedruk en -snelheid zijn procesvariabelen. Te hoge extrusiedruk of -snelheid openbaren zich in de vorm van afschuivingsverschijnselen in het extrudaat. Bij gesinterde producten manifesteert dit fenomeen zich als cracks en scheuren die een schubvormige structuur bezitten.

Door de extrusiestap wordt het PTFE sterk in langrichting georiënteerd. Gedurende de inspectiefase dient controle plaats te vinden of de eigenschappen in lang- en dwarsrichting nog binnen de specificatie

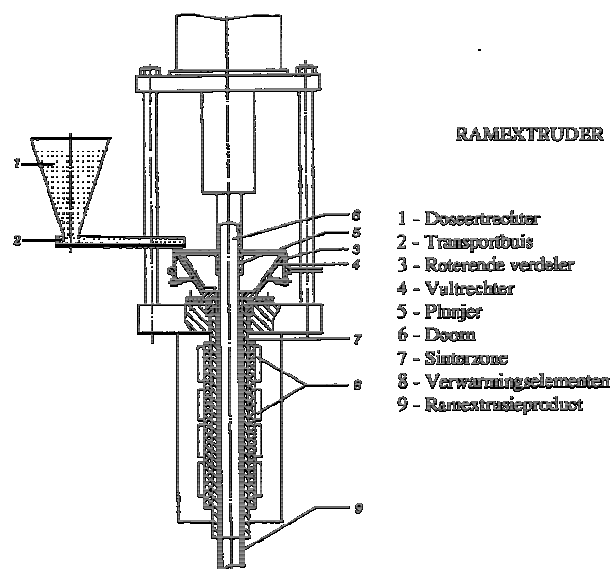
vallen. Het extrusieproces wordt bij kamertemperatuur of iets daarboven uitgevoerd.

3.6.4 Drogen en sinteren

Het mechanisch zwakke extrudaat dient met de nodige omzichtigheid te worden behandeld. Het wordt in de sinteroven geplaatst, waar eerst de droging plaatsvindt. De tijd en temperatuur die moeten worden aangehouden voor de verdamping van de benzine, is afhankelijk van ovenvulling en wanddikte van de buizen. Tijdens de droogperiode wordt een temperatuur van 100 tot 300°C gebruikt. Na het drogen is het PTFE poreus. Gedurende het sinteren groeit het PTFE samen tot een porievrij materiaal. Het sinteren en afkoelen vindt plaats zoals eerder beschreven.

3.7 Ramextrusie

Ramextrusie is een methode die het mogelijk maakt eindloze profielen c.q. buizen te vervaardigen. Figuur 3.10 laat bijvoorbeeld de extrusie van een buis zien.



figuur 3.10 Voorbeeld van een extrusie van een buis door middel van ramextrusie

Granulaat (géén poeder) wordt via een doseerinrichting in een cilindrische extrusiebuis gebracht. Met een stempel wordt het PTFE daarna verdicht en verder in het comprimeergedeelte van de extrusiemachine gebracht.

Deze stap wordt voortdurend herhaald zodat het PTFE als het ware tabletgewijs door de machine wordt getransporteerd. Over een bepaalde lengte wordt de extrusiebuis verhit, waardoor het PTFE wordt gesinterd. De afzonderlijke doseercharges worden door de continu-sintering volledig aan elkaar tot één extrudaat gesinterd.

Bij de fabricage van buizen wordt, in tegenstelling tot stafmateriaal, een doorn gebruikt. Het is vanzelfsprekend dat bij dit type fabricage, analoog aan het isostatisch persen, de vloeieigenschappen van het granulaat van eminent belang zijn. Het type granulaat dat door de fabrikant voor ramextrusie wordt gekozen, is afhankelijk van de extrusiedruk. De drukken kunnen variëren van 30 tot 400 bar. Voor de keuze van het

type granulaat wende men zich bij voorkeur tot de granulaatfabrikant.

3.7.1 *Extrusiedruk*

De extrusiedruk is het quotiënt van de oppervlakte van de perszone en de maximaal optredende drukkracht van het hydraulische systeem. De extrusiedruk is een zeer essentieel gegeven voor de ramextrusie. De druk wordt door de wrijvingskracht van de cilindrische oppervlakken veroorzaakt. Daardoor zijn de eigenschappen van de extruder bepalend voor de wrijvingskracht. De kwaliteit van het extrudaat is daar dus afhankelijk van. Indien men met te weinig druk extrudeert, resulteert dat in te weinig verdichte en poreuze producten. Is daarentegen de extrusiedruk te hoog, dan vormen zich zwakke plekken in het product die gelokaliseerd zijn op de grenzen van de doseercharges. Men krijgt dan als het ware op elkaar gestapelde tabletten, die onderling te weinig hechtkracht bezitten. Maatregelen om tot een correcte extrusiedruk te komen zijn:

- het gebruik van een beweegbare doorn bij de buisfabricage*;
- vermindering van de afstand tussen pers- en sinterzone*;
- reduceren van de plunjersnelheid;
- de oppervlakken die met granulaat in aanraking komen zo glad mogelijk houden;
- benutting van de maximale extrusiesnelheid bij een zo kort mogelijke verwarmde zone*;
- verhoging van de temperatuur tot bepaalde grenzen, bijvoorbeeld van 400 naar 410°C;
- verlaging van de extrusiesnelheid.

Bovengenoemde maatregelen verlagen de extrusiedruk. Voor een verhoging van de extrusiedruk dient men voor de punten voorzien van een * de tegen-gestelde maatregelen te nemen. Voor dit doel worden ook wel reminrichtingen gebruikt.

3.7.2 *Temperatuurregeling*

Het verwarmde deel (de sinterzone) van een ramextruder is uit meerdere delen opgebouwd en heeft een lengte van 250 tot 400 mm. De temperaturen bewegen zich tussen de 360 en de 420°C. Men dient ervoor te waken dat bij langere verblijftijden temperaturen kunnen optreden die hoger kunnen worden dan de vereiste.

Dikwandige profielen worden met relatief lage temperatuur en lage extrusiesnelheid gesinterd. Bij de extrusie van dunwandige buizen kan met grotere doorvoersnelheden en hogere sintertemperatuur worden gewerkt.

De temperatuur wordt in de regel aan het begin en eind van de verwarmde zone 10 à 20°C lager ingesteld als in het midden. Hiermee kan de extrusiedruk ook nog in zekere mate worden ingesteld. Zo kan met de keuze van de relatief lage temperatuur aan het einde van de verwarmde zone een krimp van de geëxtrudeerde buis op de doorn worden bewerkstelligd. Hierdoor wordt de extrusiedruk verhoogd.

3.7.3 *Extrusiesnelheid*

De extrusiesnelheid wordt begrensd door:

- overschrijding van de maximale extrusiedruk waarbij tabletvorming optreedt;
- onvoldoende sintering.

Hoewel de meeste PTFE-fabrikanten richtwaarden voor de extrusiesnelheid geven, wordt de extrusiesnelheid voor een deel door de verwerker empirisch bepaald. Vaak produceren ramextruders 24 uur per dag. Extrusiesnelheid wordt dan een afweging tussen economie en kwaliteit.

Gedurende de fabricage dient regelmatig te worden gecontroleerd of alle parameters nog de juiste waarde bezitten.

3.8 *Folie- en plaatvervaardiging van PTFE*

Bij de pasta- en ramextrusie heeft het product meestal de vorm van een profiel of buis. In de petrochemie bestaat echter ook behoefte aan PTFE plaatmateriaal. Bijvoorbeeld voor de bekleding van kolommen waarvan de dimensies te groot zijn voor een andere bekledingstechniek door middel van PTFE.

Het plaatmateriaal kan worden verkregen met de persmethode, waarbij de persmal plaatvormig is. Op deze wijze worden dikke PTFE platen vervaardigd, vanaf ongeveer 5 mm. De grootte van deze platen is beperkt en afhankelijk van het vermogen van de hydraulische pers. Het is duidelijk dat hier de beperking van het geperste plaatmateriaal ligt. De methode is tamelijk arbeidsintensief bij geringe productiesnelheid en wordt voornamelijk toegepast voor dikkere platen. Uit deze dikke platen kunnen via mechanische bewerking tal van producten worden vervaardigd. Voor dunne platen van grote afmeting is het profijteliĳk deze te schillen van een cilinder. De vervaardigingsmethode van geperste platen en cilinders is analoog aan de eerder omschreven methode in hoofdstuk 3.4 "Het persen van PTFE".

De vervaardiging van geschilde folie verloopt daarna als volgt: In een holle PTFE cilinder wordt een getande stalen as gebracht, de passing van de as in de cilinder is zodanig dat de tanden op de as zich vastzetten in het PTFE, om slippen te voorkomen.

Het geheel wordt in een draaibank gemonteerd en een stalen schilmes wordt met zodanige spoed gevoerd dat de cilinder gelijkmatig wordt afgeschild en er een folie van gelijkmatige dikte ontstaat.

De afmeting van dergelijke cilinders kan klein zijn; bijvoorbeeld 10 cm breed bij een diameter van eveneens 10 cm. In de regel worden hieruit dunne folies geschild, te denken valt aan tienden van millimeters. Uit de grote cilinders die tot 180 cm hoog kunnen zijn bij een doorsnede van ca. 100 cm worden folies geschild voor vele doeleinden. Bij het schillen van folies moet terdege rekening worden gehouden met de faseverandering (19°C) van PTFE met de daarbij behorende uitzettingspiek.

Om een gelijkmatige wanddikte te verkrijgen, is het raadzaam het schillen te doen plaatsvinden in een ruimte van 20°C of iets meer. De te schillen cilinder dient daarom goed geacclimatiseerd te zijn. Behalve voor bekledingsdoeleinden wordt dit product ook gebruikt bij pakkingmateriaal, folies voor non-stick bekleding enz. De bekledingstechniek met folie wordt in een apart hoofdstuk behandeld.

3.9 *De tape-wikkelmethode*

In het hoofdstuk pasta-extrusie is ter sprake gekomen dat door aanpassing van de spuitmond het mogelijk is folies te extruderen.

Het vervaardigen van een folie kan ook plaatsvinden

door het extruderen van (ongesinterd) PTFE stafmateriaal en dit op de juiste dikte te walsen.

Op deze wijze wordt het meeste ongesinterde PTFE foliemateriaal gefabriceerd, waarbij o.a. moet worden gedacht aan het bekende witte loodgieterstape.

Tot en met de extrusie is het proces identiek aan pasta-extrusie.

Heeft de extruder een spleetvormige spuitmond dan wordt het extrudaat in de regel toch nog gewalst om een gelijkmatige wanddikte te verkrijgen.

Na de extruder verkrijgt men een massief PTFE snoer met weinig sterkte. De diameter kan variëren. Voor tape winding ligt de diameter in de orde grootte van 1 à 2 cm. Na of gedurende het walsen wordt de folie op de juiste breedtemaat gesneden.

Het wikkelen met tape

Het verdere procédé is in feite eenvoudig. Op een mal, die voor buisbekleding cilindrisch is, wordt de ongesinterde tape, onder een hoek, laagsgewijs overlappend gewikkeld. Na het verkrijgen van de verlangde laagdikte wordt een geweven glasband strak om het PTFE folie gewikkeld. Deze werkwijze is bedoeld om een zekere druk op het PTFE uit te oefenen tijdens het sinteren. Er is als drukuitoefenend medium gekozen voor een glasweefsel, omdat glas de oventemperatuur kan verdragen en de uit het PTFE ontwijkende benzinedampen, die vrijkomen tijdens het droogproces, door het open weefsel kunnen ontwijken. Bovendien is glas ten opzichte van PTFE inert. Het droog-, sinter- en afkoelproces geschiedt hetzelfde als bij pasta-extrusie. Figuur 3.11 laat het proces zien.

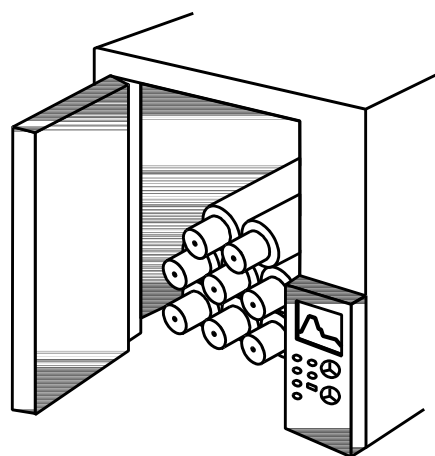
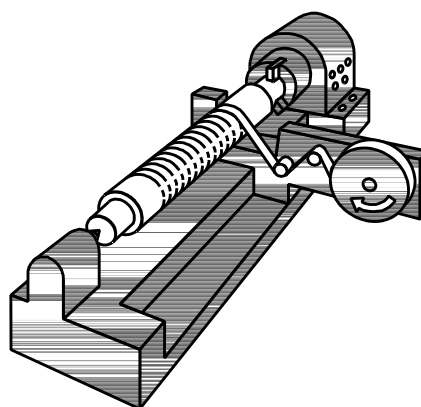
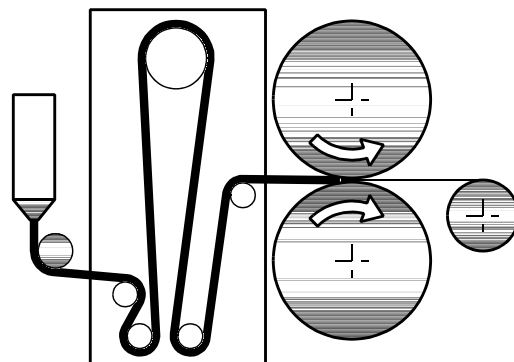
Hoewel de tapewikkelmethode redelijk arbeidsintensief is, is het toch een methode die in sommige opzichten aanmerkelijke voordelen biedt. Kon men bij pasta-extrusie uitsluitend buis vervaardigen, bij het foliewikkelen is het mogelijk andere configuraties te maken, een aanpassing van de mal is voldoende.

Gewijzigde wanddikten zijn geen probleem en tevens kan, indien gewenst, in één object met verschillende wanddikten worden gewerkt. Om deze reden worden van gewikkelde tape o.a. ook slangen en compensatoren vervaardigd.

De producten van gewikkelde PTFE tape zijn door verschillende afnemers altijd met enig argwaan tegemoet getreden. Deze houding was niet geheel ongegrond. In het verleden is het voorgekomen dat tijdens het wikkelprocédé lucht werd geïncorporeerd, met als gevolg verhoogde diffusie, onthechting tussen de opeenvolgende PTFE lagen en tenslotte scheuren en breuk. Tijdens een faalanalyse kon vaak worden vastgesteld dat het object was aangekocht met foutieve specificatie of bij een fabrikant die onvoldoende kwaliteit leverde. De laatste jaren is door de gerenommeerde fabrikanten veel aandacht aan verbetering van de kwaliteit besteed. Indien men een met PTFE bekleed object wenst uit te laten voeren met gewikkelde tape en er wordt getwijfeld aan de kwaliteit, dan kan men ter verificatie testen doen uitvoeren zoals verderop in deze publicatie worden behandeld.

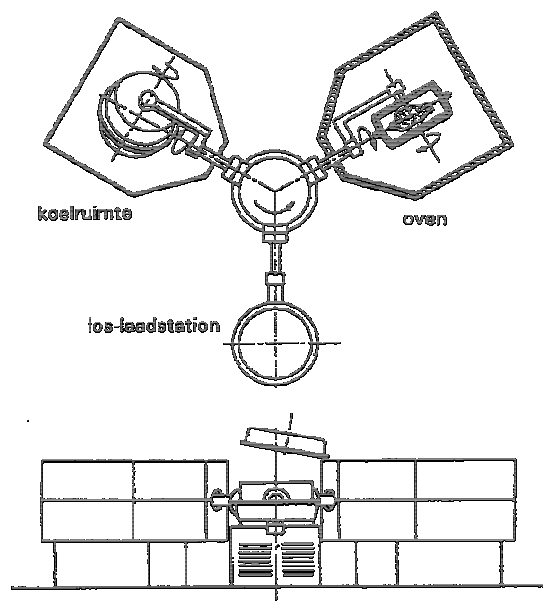
3.10 *Rotatietechnieken*

Rotatiegieten wordt gebruikt voor het vervaardigen van holle voorwerpen. De methode is uitsluitend geschikt voor thermoplasten. PTFE komt hiervoor dus niet in aanmerking. Het principe voor een productiemachine wordt weergegeven in figuur 3.12. De matrijs, die het gehele buitenoppervlak omsluit, draait



figuur 3.11 Het wikkelen met tape

om twee assen. Ter plaatse van het los-laadstation wordt een van tevoren vastgestelde hoeveelheid granulatuur in de deelbare matrijs gedeponerd. De matrijs wordt gesloten en op de carrouselbank naar het ovenstation getransporteerd. Hier wordt de matrijs van buitenaf verwarmd. De temperatuur is afhankelijk van het soort kunststof dat zich in de matrijs bevindt. Door de temperatuur raakt het granulatuur in de smeltfase en "stroomt" hierdoor als het ware langs de wanden. Door het lage toerental verloopt het proces praktisch drukloos. Dit in tegenstelling tot het centrifugaal gieten dat bij veel hogere toerentallen plaatsvindt. Hier speelt de centrifugaalkracht een beduidende rol. Bij het centrifugaalgieten is de beweging om één as. Centrifugaal gieten kan daarom uitsluitend worden gebruikt bij buisvormige objecten en wordt veel toegepast voor glasvezelversterkte thermohardende buizen.



figuur 3.12 Rotatiegietsmachine

Door de beweging om twee assen vindt bij het rotatiegietsen een goede menging van het granulaat plaats, terwijl het lage toerental geen scheiding naar soortelijk gewicht veroorzaakt.

Voor de constructeur van de rotatiegietsmachine is het belangrijk de toerentallen van de twee assen van de machine zo in te stellen, dat de waarden daarvan géén quotiënt van elkaar vormen, omdat anders verschillen in wanddikte zouden ontstaan. Van de andere kant kunnen de toerentallen, mits regelbaar, juist zo worden ingesteld dat doelbewust een anisotropie wordt verkregen. Door een vastgesteld koelpatroon aan te houden, kunnen de kristalvorming en kristalstructuur worden beïnvloed.

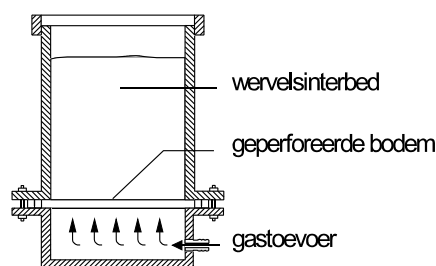
Voordelen en beperkingen van rotatiegietsen

Rotatiegietsen is een techniek die in het verleden, voor liners, redelijk veel werd gebruikt. Door het arbeidsintensieve karakter en de omvangrijke apparatuur is de methode echter minder in gebruik geraakt, maar ze wordt door enkele bedrijven nog gebruikt. De laatste jaren wordt weer geëxperimenteerd met deze techniek, vooral met vereenvoudiging van de apparatuur, want rotatiegietsen bezit onmiskenbare voordelen. Met de rotatiegietsmethode kunnen de meest ingewikkelde holle vormen worden gefabriceerd. Indien men het te bekleden object als buitenmal neemt, dan is het na het rotatiegietsen vrijwel onmiddellijk voor gebruik gereed. De wanddikte van de liner is per object op zeer eenvoudige wijze, door meer of minder granulaat te doseren, te regelen. De linerdikte heeft in het gehele object de gewenste waarde. Bij niet geforceerde afkoeling verkrijgt men een spanningsvrije liner.

3.11 *Wervelsinteren*

Het wervelsinteren, of dompelen in fluid bed, is een techniek die wordt gebruikt voor thermoplastische kunststoffen. Het dienen echter thermoplasten te zijn die een geschikt smelttraject en smeltgedrag bezitten, en in de smelt de goede viscositeit vertonen. Polyamide (nylon®) is zo'n kunststof, die echter niet in deze publicatie wordt behandeld, PVDF komt ook voor deze techniek in aanmerking.

Bij het wervelsinteren wordt een te bekleden voorwerp in een ruimte geplaatst waar door middel van warme lucht PVDF poeder in beweging wordt gehouden. Het te bekleden object komt uit een oven en bezit de smeltemperatuur van het poeder. Het poeder smelt hierdoor vast op het voorwerp als het daarmee in aanraking komt. In enkele ogenblikken is het voorwerp alzijdig van een kunststofbekleding voorzien. Het behoeft geen betoog dat op deze wijze huishoudelijke artikelen met een goede kwaliteit bekleding kunnen worden voorzien. Voor een zwaardere belasting, zoals bij de petrochemische industrie, is enige sceptis op zijn plaats. Een variant daarop is de "fluid bed" methode zoals figuur 3.13 laat zien. De fluid bed methode werkt als volgt: Een boven het smeltpunt, van de te gebruiken kunststof, verhit voorwerp wordt gedompeld in een door neutraal gas zwevend gehouden kunststofpoeder.



figuur 3.13 Wervelsinterapparaat

Het poeder dat in aanraking komt met het voorwerp smelt daarop vast. De warmte-inhoud van het voorwerp boven het smeltpunt en de temperatuur van het fluid bed enerzijds en de soortelijke warmte en de smeltwarmte van de kunststof anderzijds bepalen samen met de verblijftijd de uiteindelijke dikte van de bekleding. Omdat de laatste aansmelende poederdeeltjes een ruw oppervlak geven, wordt het beklede voorwerp meestal even nagewarmd in een oven die is gevuld met neutraal gas.

Het naverwarmen en het koelen bepalen in hoge mate de structuur van het materiaal, waardoor het mogelijk is, vooral voor kristallijne materialen, de structuur op de gewenste wijze te beïnvloeden. Men dient er echter voor te waken, dat niet wordt getracht de eindstructuur te bepalen door de verblijftijd van het voorwerp in de dompelruimte te wijzigen.

Mogelijkheden, voordelen en beperkingen van het wervelsinteren

Bij deze techniek zijn slechts dunne laagdikten mogelijk. Afhankelijk van de toegepaste kunststof moet worden gedacht aan maximaal 250 μm . Dergelijke dunne lagen zijn gevoelig voor mechanische belasting en beschadiging. Extra maatregelen moeten worden genomen teneinde bij 'handling' schade te voorkomen. Inherent aan deze techniek is, dat slechts één keer kan worden gedompeld. De bekleding is alzijdig en komt dus ook voor op lokaties waar deze ongewenst of overbodig is, bijvoorbeeld bij het wervelsinteren van een T-stuk is zowel de binnen-als de buitenzijde bekleed.

Dit betekent verlies aan kostbaar materiaal, terwijl het niet zo hoeft te zijn dat de buitenzijde nu meteen een corrosievaste bescherming heeft voor bijvoorbeeld atmosferische expositie. Wervelgesinterd PVDF is hiervan een goed voorbeeld. Dit kan bij buitenexpositie, vooral onder U.V.-condities, problemen geven. Men zou dus de aan de buitenzijde terecht gekomen bekleding moeten vervangen door

een corrosiebestendig systeem.

Eén van de voordelen van wervelsinteren is, dat men in korte tijd op eenvoudige wijze vele voorwerpen van een bekleding kan voorzien. Gedacht kan worden aan de bekleding van grotere series, zoals appendages, onderdelen uit instrumentatie e.d.

Een voordeel is tevens dat de bekleding meteen op het voorwerp wordt aangebracht en niet, zoals bij dikkere bekledingen het geval is, later moet worden ingebracht.

3.12 *Elektrostatisch opbrengen van liners*

Deze techniek is geschikt voor thermoplasten en thermoharders en wordt in de verf- en emailindustrie veel gebruikt om lagen oplosmiddelvrij te kunnen opbrengen. Voor deze vorm van applicatie is het noodzakelijk dat de kunststof in poedervorm is.

De werkwijze is eenvoudig, doch vereist veel ervaring en wordt, voor zover bekend, gebruikt voor FEP, PCTFE, PVDF en PFA.

Het te bekleden voorwerp wordt elektrisch met aarde verbonden en het kunststofpoeder wordt met een lans verspoten.

In de lans wordt aan het poeder een hoge positieve elektrische lading gegeven, waardoor het poeder door het voorwerp dat een negatieve potentiaal bezit wordt aangetrokken.

Omdat het poeder elektrisch isolerend is, behoudt het enige tijd zijn elektrische lading en daarmee de aantrekkingskracht op het metalen voorwerp.

Het "bepoederde" voorwerp wordt in een oven geplaatst, die een temperatuur bezit die boven het smeltpunt van de kunststof ligt. Het poeder gaat na enige tijd over in de smelt, waarna de bekleding tot stand is gekomen.

Bij kleine voorwerpen is de bekleding alzijdig, bij grotere voorwerpen, zoals bijvoorbeeld vaten en kolomdelen, is het mogelijk, door de spuitlans in het voorwerp te brengen, uitsluitend de binnenzijde van een bekleding te voorzien. Dit is dus een voordeel ten opzichte van wervelsinteren. Deze techniek is ook geschikt voor het bekleden van ingewikkelde vormen. Bij het elektrostatisch opbrengen is het mogelijk om een tweede laag aan te brengen. Men kan echter niet met te grote laagdikten werken, omdat tijdens de overgang de vloeibare kunststof door te hoog eigen gewicht naar beneden zou lopen. Bij een maximaal te specificeren laagdikte moet men denken aan $\pm 300 \mu\text{m}$.

Voordelen en beperkingen bij het elektrostatisch opbrengen

De voordelen, beperkingen en mogelijkheden zijn met enkele uitzonderingen gelijk aan de andere poeder-technieken. Bij het elektrostatisch spuiten kunnen ook grotere voorwerpen worden behandeld. In plaats van de afmetingen van de dompelbak, is nu de grootte van de oven bepalend voor de maximale afmetingen van het te behandelen voorwerp.

Het spuiten vergt minder omvangrijke apparatuur dan het dompelen. Grote holle voorwerpen kunnen uitsluitend aan de binnenzijde worden behandeld.

Omdat het aanbrengen van een tweede, soms derde laag mogelijk is, is er een grotere kans op het ontbreken van poriën in de bekleding.

De mogelijkheid van een tweede laag heeft nog een ander voordeel en dat is dat men in de eerste laag een speciaal hechtmiddel verwerkt, waardoor de hechting tussen substraat en kunststof wordt verbeterd.

De tweede laag is dan een pure ongevulde chemisch resistente deklaag.

3.13 *Spuit- en dompeltechnieken*

Hiervoor komen kunststoffen in aanmerking die "nat" kunnen worden opgebracht, een enkele bekledingsfirma bedrijft deze techniek voor gedispergeerd PTFE. Men kan zich voorstellen dat voorwerpen in de dispersie worden gedompeld of dat de dispersie via een spuitpistool wordt verspoten. De dispersie wordt vervolgens gedroogd en gesinterd of bij thermoplasten gesmolten. Nu kan een tweede laag worden opgebracht.

Bij de echte thermoplasten is dit, om dezelfde reden als bij het elektrostatisch spuiten, einde verhaal. De zeer hoge viscositeit van PTFE in de smelt werkt nu als voordeel. Hoewel men niet oneindig kan doorgaan zijn 3 of 4 lagen en soms meer mogelijk. Na elke spuitbewerking volgt een overgang om de laatste laag te sinteren. De te bereiken laagdikte bedraagt meerdere millimeters. Het is op deze wijze mogelijk ingewikkelde vormen te bekleden. Dit geldt tevens voor inwendig te bekleden grote objecten zoals reactoren en vaten.

Om de hechting op het substraat en/of vacuüm-vastheid van de bekleding te verbeteren, wordt in voorkomende gevallen een dun metalen gaas op het te bekleden oppervlak gepuntlast. Dit metalen gaas wordt geheel in de bekleding opgenomen.

Mogelijkheden en beperkingen bij het dompelen en spuiten

De mogelijke opties die zich aandienen bij het dompelen zijn nagenoeg gelijk aan die bij een van de andere dompeltechnieken. De voordelen die voor PTFE dispersies gelden bij het dompelen, zijn dezelfde als zich bij het verspuiten van PTFE voordoen. Duidelijk voordeel van de methode is de mogelijk grotere laagdikte, gecombineerd met gecompliceerde configuraties die met PTFE kunnen worden behandeld. Een nadeel is de permeatie van PTFE, hetgeen onthechting tot gevolg kan hebben. Men zal bij eventuele bekleding op deze manier hier veel aandacht aan moeten besteden.

Het hechtingsprofiel van het metalen oppervlak verdient eveneens de nodige attentie. Een mogelijkheid is etsen. De methode van het spuiten van PTFE wordt met wisselend resultaat toegepast. Men dient de keuze met de grootste zorg te overwegen en goed af te zetten tegen het gebruik en de bedrijfscondities. Ook de "buiten bedrijfscondities", zoals reinigings- en inspectieprocedures, dienen beslist niet over het hoofd te worden gezien. Bij een terdege overweging en keuze heeft het systeem in voorkomende gevallen verrassend goede resultaten opgeleverd.

Hoofdstuk 4

De selectie van een liner

4.1 Algemeen

Kunststoffen kennen een breed toepassingsgebied in industrieën die corrosieve media verwerken. De meeste van deze industrieën vindt men terug in de sector petrochemie, de pulp- en papierindustrie, food processing, in de farmacie, in de metaal en de halfgeleiderindustrie.

Equipment voorzien van een liner kan in deze sector op veel plaatsen excellent voldoen. Het gaat echter om de kosteneffectiviteit die een goed alternatief kan zijn voor exotische metaallegingen met navenante prijzen. Indien echter door onzorgvuldige selectie de betreffende kunststof een kort leven is beschoren, dan is men gauw geneigd weer over te gaan op een metaal. Door gevallen van falen van een kunststof krijgt de kunststof een slechte naam. Temeer omdat de meeste mensen die verantwoordelijk zijn voor de materiaalkeuze een "metaal"-achtergrond hebben. Dit hoofdstuk heeft de bedoeling een richtlijn te zijn bij de keuzebepaling. Eigen ervaring en het uitgaan van met goed gevolg uitgevoerde experimenten kunnen ook tot een selectie voeren.

Voordat men overgaat tot de selectie van een liner, dient men zich goed op de hoogte te stellen van de procescondities.

De betreffende technicus dient alle procescondities te weten en te analyseren, zoals: type vloeistof of gas, concentraties, mengsels met kristallen of andere vaste delen, operationele drukken en temperaturen. Daarnaast ook druk- en temperatuurextremen zoals ze zich kunnen voordoen bij proces-upsets of storingen, de omstandigheden bij start-ups en shut-downs van de installatie en minimum en maximum flowcapaciteit.

Tevens dient te worden gelet op de externe condities. Factoren als omgevingstemperatuur, externe corrosie, externe conservering, isolatie, eventuele uitwendige verwarming zullen effect sorteren bij de materiaalkeuze van de liner.

Vele soorten corrosiewerende materialen dienen zich aan als liner voor pompen, appendages, leidingen en grotere productiemiddelen. Vaak kan de keuze worden vereenvoudigd door een voorselectie, waarbij dan uiteindelijk een paar toepasbare liners overblijven die resistent zijn tegen de betrokken procescondities.

Daarna kan de definitieve keuze worden bepaald, die wordt beïnvloed door de volgende factoren:

- materiaal- en installatiekosten;
- gewenste (benodigde) tijd en het opleveringstijdstip;
- verwachte levensduur;
- frequentie voor benodigd onderhoud;
- onderhoudsvriendelijkheid en mogelijkheid tot beschadiging;
- mogelijkheid voor aanpassingen na installatie.

Vaak komen daar nog specifieke problemen bij, zoals bijvoorbeeld complexe installatieproblemen.

Voordat men een offerte vraagt of opdracht plaatst bij een fabrikant van liners, dient men deze firma minimaal de volgende gegevens te verschaffen:

- de procesgas- of vloeistofkarakteristieken, chemische concentraties, sporen van andere media, vaste

delen concentratie en afmeting;

- het proces dat kan plaatsvinden in het object, zoals: indikking, polymerisatie of kristallisatie;
- de drukcondities; bij normale operatie, minimum en maximum. De mogelijkheid van het optreden van een over- of onderdruk gedurende shut-down of start-up;
- de reinigingsmethode, eventueel gedurende het proces en tijdens shut-down;
- type en installatiecondities van eventuele uitwendige verwarming (tracing) en isolatie;
- snelheid en maximum hoeveelheid te transporteren vloeistof of gas;
- stabiele of variabele procescondities en de frequentie van de eventuele fluctuaties.

4.2 Selectie van liners in relatie tot de productiemethode versus vormgeving van het substraat

In de voorgaande hoofdstukken zijn de productiemethoden van de liners besproken. We kunnen twee groepen onderscheiden: Zuivere thermoplasten en PTFE. Men zou ook kunnen zeggen: Volledig, onvolledig en niet gefluoreerde kunststoffen. Indien een liner uitsluitend op grond van het gedrag in een bepaalde omgeving wordt geselecteerd, bestaat de mogelijkheid dat later blijkt dat het technisch niet mogelijk is dat bepaalde object met de gekozen kunststof te bekleden.

Men dient zich derhalve goed te realiseren welke de specifieke mogelijkheden zijn van een gekozen liner, hetgeen afhankelijk is van de wijze waarop de liner werd geproduceerd. In deze voorlichtingspublicatie wordt getracht een zo volledig mogelijke informatie dienaangaande te verschaffen, doch de techniek is evoluërend en innoverend, zodat men zich derhalve terdege dient te informeren.

4.3 PTFE

De productietechnieken voor PTFE liners zijn zoals eerder omschreven:

- geschilde folie uit cilindrische blokken;
- geperste artikelen, welke al of niet mechanisch moeten worden nabewerkt;
- isostatisch geperst;
- pasta-geëxtrudeerd;
- ram-geëxtrudeerd;
- tape gewikkeld;
- dispersie gespoten.

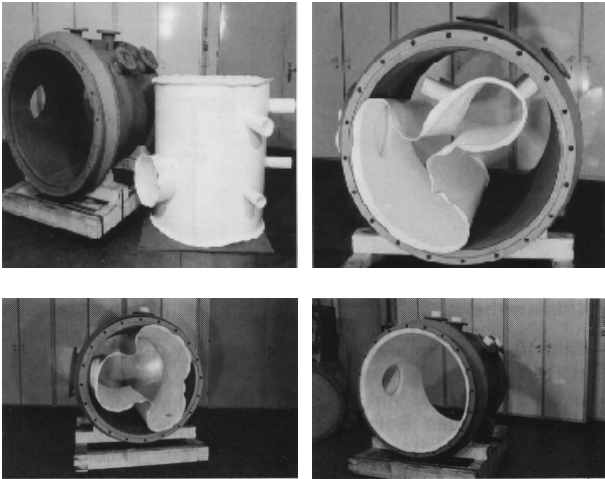
4.3.1 Geschilde folie

Deze techniek wordt toegepast wanneer de afmetingen te groot zijn voor een andere techniek, bijvoorbeeld kolomdelen met een doorsnede van 1500 mm. Geen van de overige technieken gaat op dit moment verder dan 1050 mm. Men dient zich ervan te vergewissen dat de te bekleden delen cilindrisch zijn. De bekleding van tubelures en mangaten wordt door middel van lassen verbonden aan de bekleding van het rompdeel. De folie in het rompdeel bevat afhankelijk van de afmetingen en de specificatie tenminste één doch soms meerdere lasnaden.

De vormgeving van het object om het te bekleden met geschilde folie moet dus zo simpel mogelijk zijn. De bekleding zit als een los "hemd" in het object en wordt slechts vastgehouden bij de flensvlakken en bij de tubelures e.d. De bekleding is ongeschikt voor bedrijfsvoering met enige vorm van onderdruk. Voor

onderdrukcondities dienen speciale maatregelen, in overleg met de bekledingsfirma, te worden genomen. Omdat een bekledingsfirma die dit soort bekledingen aanbrengt de moeilijke lastechniek van PTFE beheerst, is dit de enige PTFE bekleding die reparaties door middel van lassen toelaat. De lokatie van een reparatie is echter bepalend.

Resumerend: Deze techniek is typisch geschikt voor het bekleden van grote objecten van eenvoudige configuratie. Lassen in verschillende vorm moeten zijn toegestaan. Vacuümcondities zijn niet zonder kostbare maatregelen mogelijk. Het systeem is repareerbaar. Een voorbeeld van een dergelijke liner is afgebeeld in figuur 4.1.



figuur 4.1 Het inbrengen van een gelaste PTFE-liner

4.3.2 *Geperste artikelen eventueel mechanisch nabewerkt*

In sommige kleine delen, zoals appendages, komt het voor dat de vormgeving zo gecompliceerd is, dat men dit uit een blok of ruwe voorvorm moet vervaardigen (bijvoorbeeld bij nauwkeurige passingen in afsluiters). Ook zijn kleine toleranties bij instrumentatie voorstelbaar. Men perst en sintert dan een eenvoudige vorm of ruwe voorvorm die nauwkeurig mechanisch kan worden bewerkt. Omdat het een liner betreft, moet de sterkte dragende constructie, het staal, op de buitenzijde worden aangebracht. Dit kan bij de eenvoudige constructies zonder ondersnijdingen, door de liner passend in het stalen deel te schuiven, bij ingewikkelde vormgevingen dient men zich te realiseren dat de stalen constructie in twee of soms meerdere delen moet worden aangebracht.

De verbindingen in het staal zijn klemverbindingen. Het meest gebruikt zijn boutverbindingen. Lassen is onmogelijk, omdat door de hoge temperatuur de kunststof liner zou desintegreren.

Resumerend: de methode is geschikt voor kleine delen die vaak seriematig worden geproduceerd, waarbij een gedeelde stalen constructie als onvermijdelijk moet worden ingecalculleerd. Een goede kwaliteit met grote verschillen in vormgeving en wanddikten zijn mogelijk.

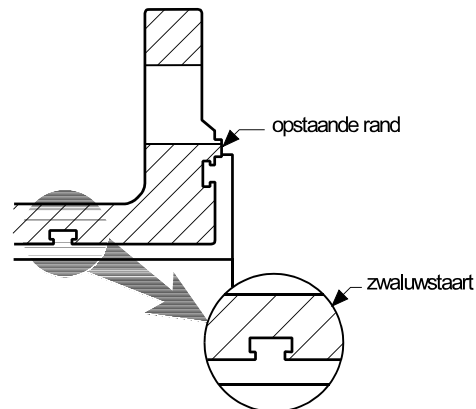
4.3.3 *Isostatisch geperst*

Indien de keuze valt op een isostatisch geperst product, dient men zich altijd te bedenken dat de afmeting van de grote objecten gelimiteerd zijn door de afmetingen van het persvat van de applicateur. Voor isostatisch persen komen in aanmerking leidin-

gen, fittingen en appendages, alsmede kleine apparaatdelen zoals kolomdelen.

Daarnaast ook gecompliceerde vormen die niet op een andere manier kunnen worden vervaardigd of buiten het productie-aanbod van een pasta-extruder vallen, zoals leidingdelen met meerdere aftakkingen, waarbij series aan elkaar geflensde T-stukken niet wenselijk zijn (in het vakjargon "headers" genoemd).

Isostatisch persen bewijst vooral zijn kracht bij holle voorwerpen met verschillende linerdikten en ondersnijdingen. Soms wordt vanwege zekere vacuümbestandheid of om andere redenen een verankering van de liner aan het substraat verlangd. Bij isostatisch persen is dit uitvoerbaar door middel van zwaluwstaarten (zie figuur 4.2). Bij PTFE is dit de enige manier van bekleden waarbij dit soort zaken uitvoerbaar zijn.



figuur 4.2 Verankering door middel van zwaluwstaarten

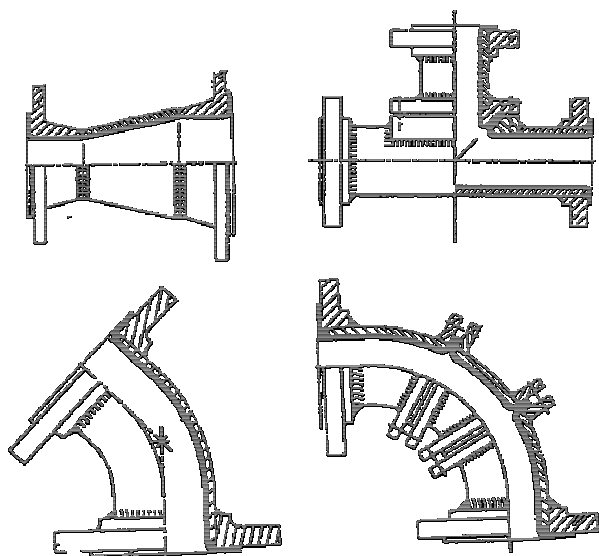
Resumerend: Bij niet al te grote objecten is overleg daarover met de applicateur gewenst. Gecompliceerde vormgeving en ongelijke wanddikten zijn mogelijk. Seriewerk wordt door hergebruik van mallen vaak gedaan. Door de arbeidsintensiviteit is dit een van de kostbaarste methoden. De kwaliteit van de op deze manier geproduceerde liners is uitstekend. Leidingdelen hebben een beperkte lengte en worden door flenzen met elkaar verbonden. Vacuümcondities zijn mogelijk, de vacuümbestandheid wordt gevonden in grote linerdikten en verankering.

4.3.4 *Pasta-geëxtrudeerd*

Pasta-extrudaat wordt het meest toegepast bij met PTFE liner voorziene delen voor de industrie. In het productieproces is reeds beschreven dat men bij pasta-extrusie altijd uitgaat van een profiel, in ons geval een hol profiel namelijk een buis. Bij de linerkeuze dient men zich goed te bedenken dat bij pasta-extrusie alle artikelen oorspronkelijk uit een buisvorm zijn vervaardigd. Pasta-extrusie leent zich daarom het best als liner van buizen. Het bekleden van T-stukken en andere meer complexe vormen moet plaatsvinden door een tussenbewerking, waardoor men gedeelde vormen verkrijgt. Figuur 4.3 laat enige voorbeelden zien die in de praktijk goed blijken te voldoen.

Toch zijn dit soort constructies in sommige gevallen ongewenst, bijvoorbeeld wanneer men zo weinig mogelijk flenzen in de installatie wil toelaten.

In dergelijke gevallen kan het aan te bevelen zijn de T-stukken en andere fittingen te laten voorzien van een andere bekleding zoals PFA of FEP. Men moet dan wel rekenen met meer soorten liner en mogelijk



figuur 4.3 Enkele voorbeelden van liners

verschillende linerdikten in één installatie. Dit soort combinaties van liners in één project hebben zich meerdere malen bewezen.

Resumerend: Pasta-extrudaat wordt het meest gebruikt voor PTFE liners, pasta-extrusie is een van de oudste manieren van linen met PTFE. Er bestaat dus bij sommige fabrikanten veel ervaring mee. Bij alle vormen van bekleding wordt uitgegaan van een buis. Eventuele vacuumbestandheid wordt gevonden in de linerdikte. Het procédé is concurrerend vanwege de massale eenvormige productiemethode, die inmiddels voor een groot deel is geautomatiseerd. De kwaliteit is goed, de keuze is qua vormgeving beperkt.

4.3.5 *Ram-geëxtrudeerd*

Net als bij pasta-extrusie een methode voor de vervaardiging van profielen. Buisprofielen in ons geval. De ramextrusie dekt echter, met betrekking tot liners, een stuk kleiner toepassingsgebied dan pasta-extrusie. De maximale diameter die bij deze methode wordt gebruikt beweegt zich rond de 100 mm. Een voordeel is dat de buizen eindeloos zijn en dat, in tegenstelling tot andere technieken, buizen van meer dan 10 meter lengte kunnen worden bekleed. Het voordeel bij ramextrusie is dat men zuiver cilindrische buizen produceert. Dit is, zoals verder besproken bij het hoofdstuk aanbrengen van liners, bijvoorbeeld bij pasta-extrusie niet het geval. Men moet ramextrusie-buizen zien als bekleding van uitsluitend buizen. Daarvan afwijkende vormen, zoals fittingen, moeten van een andere liner worden voorzien. In tegenstelling tot pasta-extrusie is ramextrudaat minder geschikt om daar bijvoorbeeld gedeelde T-stukken van te maken. De oorzaak hiervan heeft te maken met de PTFE poeder- en granulaatkeuze. Bij ramextrusie wordt een granulaat gebruikt vanwege de goede vloeieigenschappen, zoals eerder besproken. Door het continu-proces is weinig procesbeïnvloeding mogelijk. Bij pasta-extrusie heeft men een ruimere keuze in grondstoffen en kan men kiezen voor een poeder waarvan het eindproduct een grotere vervorming toelaat. Dit soort vervormingen is noodzakelijk voor de vervaardiging van T-stukken e.d.

Resumerend: Ramextrusie levert een mooie gladde cilindrische buis die zonder enig bezwaar kan worden

ingezet als liner van buizen. Voor gecompliceerdere vormen is het minder geschikt. Voor het bekleden van fittingen is een andere kunststof nodig.

De prijs van ramextrudaat is gunstig vanwege het weinig arbeidsintensieve geautomatiseerde continu-proces. De kwaliteit is heden ten dage goed, doch in het verleden werden wel producten aangetroffen met inhomogene structuur vanwege tabletvorming. Om zich te vrijwaren van dit eventuele probleem, kan men, indien dit nodig wordt geacht, de inspectie daarop afstemmen.

Bij het hoofdstuk aanbrengen van liners zal blijken dat een bepaalde fabrikant een geheel eigen methode van het bekleden met ramextrudaat heeft ontwikkeld, waarbij een volkomen cilindrische linerbuis is vereist.

4.3.6 *Tape gewikkeld*

Deze methode laat afwijkende vormen en wanddikten toe, echter met dien verstande dat ondersnijdingen, vanwege de productiemogelijkheden, slechts beperkt kunnen worden toegepast. Voor cilindrische buizen wordt een cilindrische mal gebruik. Ook conische vormen zijn eenvoudig mogelijk, zolang de mal zelflossend is. Voor ingewikkelder vormen met ondersnijdingen wordt gebruik gemaakt van gedeelde mallen. Men kan hier vanzelfsprekend vanwege de constructie en de financiële consequenties niet eindeloos mee doorgaan. Tape wikkelen wordt veel gebruikt als buis waar later gegolfde slangen uit worden vervaardigd. Als buisbekledingsmateriaal is het minder in zwang. Ook voor speciale en vooral grote vormstukken is het een geschikte methode. Vanwege de productiemethode heeft men in het verleden wel eens te kampen gehad met delaminaties in de liner. Recentelijk is aan dit fenomeen veel aandacht besteed en zijn verbeteringen aangebracht. Heeft men echter twijfels, dan zijn adequate testmethoden voorhanden om dit fenomeen te signaleren.

Resumerend: Vele configuraties zijn mogelijk met de tape wikkelmethode en is in overweging te nemen bij afwijkende vormen en dikten. Bij buisbekledingen kan men zich afvragen of de prijs concurrerend zal zijn met bijvoorbeeld pasta-extrusie. Het product is kortelings in kwaliteit verbeterd. Eventueel kunnen testen worden uitgevoerd die op het product zijn toegesneden.

4.3.7 *Dispersie gespoten*

De enige spuittechniek van PTFE die geschikt is voor de petrochemie. Voor zover bekend is er slechts één concern dat deze techniek op de markt brengt. Veel van de productiemethode wordt angstvallig geheim gehouden. Bij navraag en testen blijkt dat in voorkomende gevallen niet met zuiver PTFE is gespoten, doch dat mengsels en/of copolymeren van PTFE zoals ECTFE of ECTFE zijn gebruikt of bijgemengd. Het is dus zaak hierop alert te zijn. Het grote voordeel van de methode is de mogelijkheid vele vormgevingen te bespuiten, waarbij de limiet ligt in de maximale afmeting die de sinteroven kan bevatten.

Zo is de bekleding op deze wijze van redelijk grote vaten mogelijk. Zoals eerder omschreven, is het bij de applicatie in combinatie met een gas mogelijk een vacuüm vaste goed gehechte liner aan te brengen. PTFE is een materiaal dat bepaalde stoffen en gassen in geringe hoeveelheden doorlaat (permeatie).

Bij de andere methoden zijn hiervoor voorzieningen getroffen waarover later meer.

Bij dispersie spuiten kan dit niet. Men dient er zich dus goed van te vergewissen dat absoluut géén permeatie kan plaatsvinden. Dit ligt aan de stoffen die in het proces worden gebruikt en aan de temperatuur en druk waarbij dit plaatsvindt. Tevens is de temperatuur aan de buitenzijde van het object van eminent belang.

Resumerend: Dispersie spuiten is een techniek met vele mogelijkheden die zich echter in het verleden bij sommigen een minder goede reputatie heeft verworven. In voorkomende gevallen is het echter met eclatant succes toegepast.

Falen van het systeem is in hoofdzaak toe te schrijven aan permeatieproblemen. Men dient dit probleem bij de linerkeuze duidelijk voor ogen te hebben. De ervaring leert dat het geen goedkope methode betreft.

4.4 PP, PVDF, FEP, PCTFE en PFA

Alle bovengenoemde kunststoffen zijn pure thermoplasten en laten zich ook als zodanig behandelen. Al eerder is de aandacht gevestigd op het verschil tussen PTFE en de anderen, hier kan men bij de materiaalkeuze gebruik van maken. Ingewikkelde vormen die niet met PTFE kunnen worden bekleed komen wellicht in aanmerking voor bekleding met een andere kunststof. Bij de keuze voor een ander type is de nodige attentie vereist in verband met verminderde chemische- en/of temperatuuresistentie.

Alle bovenstaande kunststoffen komen in aanmerking als liner van het soort zoals ook wordt uitgevoerd bij PTFE. Daarnaast zijn er applicatietechnieken voor thermoplasten voorhanden die eenvoudiger zijn. In een van de eerste hoofdstukken zijn deze technieken reeds summier besproken en in een van de volgende hoofdstukken komen ze nog stuk voor stuk aan bod.

Nemen we als voorbeeld een T-stuk met afwijkende maat en configuratie, dat men inwendig wil laten bekleden en PTFE komt daarvoor niet in aanmerking. De keuze zou kunnen vallen op de eerstvolgende in het rijtje qua resistentie; dat is PFA. Men kan dit dan spuitgieten, transferspuiten, rotatiegieten en eventueel bekleden door beplakken met sheets.

4.5 Het bekleden met gelijmde folie

Dit is een mogelijkheid die nog niet aan de orde is geweest en meestal wordt gebruikt voor grote objecten, zoals bijvoorbeeld opslagvaten, maar ook bij een groot T-stuk. Het is een handmatige applicatie. Het stalen oppervlak van het te bekleden deel wordt, na stralen tot SA 2½, met een lijm bestreken, meestal een epoxylijm.

De bekledingsfolie is aan de zijde die tegen het substraat komt, meestal voorzien van een gedeeltelijk ingesmolten glasweefseldoek. Het deel van het weefsel dat uit de folie steekt doet dienst als een mechanisch intermediair ter verbetering van de hechting tussen folie en substraat.

De folie wordt in banen op het substraat gelijmd. De banen dienen met zodanige precisie opgebracht te worden, dat ze vrijwel stotend tegen elkaar liggen. De naden worden door middel van de heetglasas-methode met toevoegmateriaal dichtgelast. Het toevoegmateriaal is hetzelfde als het liner materiaal. Aan de lassen moeten hoge eisen worden gesteld. Dergelijke eisen zijn neergelegd in de desbetreffende VM-publicaties. Vaak wordt, als extra versterking, over de las nog een strook van hetzelfde materiaal gelast.

Deze bekledingsmethode vereist een volledige afwezigheid van permeatie.

4.6 Selectie in relatie tot de chemische en thermische belasting

Eigenschappen die onafhankelijk zijn van de productie, materiaalspecifieke eigenschappen:

- chemische bestandheid;
- bestandheid tegen atmosferische omstandigheden;
- slijtvastheid;
- wrijvingscoëfficiënt;
- brandbaarheid;
- thermische eigenschappen;
- elektrische eigenschappen.

Eigenschappen die afhankelijk zijn van de verwerking van het materiaal:

- dichtheid;
- kristalliniteit;
- treksterkte;
- stijfheid;
- E-modulus;
- flex-gedrag;
- rek;
- slagtaaiheid;
- herstellend vermogen;
- koudvloeï of kruipvastheid;
- elektrische doorslagvastheid;
- diffusievastheid of permeabiliteit.

In tabel 4.1 wordt een vergelijking gegeven tussen de liners met betrekking tot enkele eigenschappen.

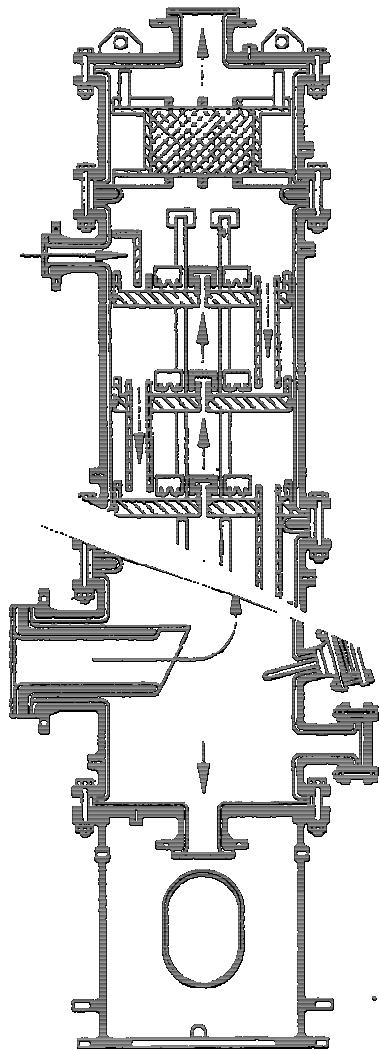
tabel 4.1 Een vergelijking van de eigenschappen van enige linersorten

eigenschappen	PTFE	PFA	FEP	PVDF	PCTFE	PP
chemische resistentie	3	3	3	2	2	1
temperatuurbestendigheid (+)	3	3	2	2	2	1
temperatuurbestendigheid (-)	3	3	3	1	1	1
wrijvingscoëfficiënt	3	2	2	2	2	2
aanhechting	3	2	2	2	2	2
weerstand tegen corrosie	3	2	2	3	2	2
verkrijgbaarheid	3	1	2	2	1	3
verlijmbaarheid*	1	2	2	2	2	2
verwerkbaarheid	1	2	2	3	3	3
fysiologische eigenschappen	3	3	3	3	2	2
brandbaarheid	3	3	3	2	2	1
treksterkte	2	2	1	3	3	2
rek	3	3	3	1	2	2
stijfheid	1	1	1	2	2	2
slijtvastheid	1	1	1	2	2	2
spanningscorrosiebestendigheid	2	3	3	1	2	1
3 = goed, zeer goed, hoog tot zeer hoog 2 = matig 1 = slecht						
*: met ingesmolten glasweefsel aan de lijmzijde.						

4.7 Selectie in relatie tot de mechanische belasting

Behalve door cavitatie en erosie en als gevolg van druk en onderdruk, waarover later, kan een liner nog op andere wijze mechanisch worden belast, bijvoorbeeld bij de flensvlakken. Vooral PTFE vereist in dit opzicht de nodige aandacht. Veel voordelen en beperkingen van PTFE zijn reeds de revue gepasseerd. Een ander nadelig aspect betreft de neiging tot kruip of koude vloeï. Dit is de vervorming van PTFE onder gelijkblijvende condities.

Het is dus zaak bij de selectie er rekening mee te houden dat men onder de kruipgrens van PTFE blijft. De kruipgrens wordt lager naarmate de temperatuur stijgt. Bij pakkingvlakken heeft dit tot gevolg dat de pakkingdruk afneemt en op den duur lekkage het gevolg kan zijn. Wanneer men in apparatuur gebruik maakt van roosters, screens, schotels e.d., wordt ter ondersteuning, bij PTFE, vaak gebruikgemaakt van eveneens beklede opleggingen. Deze opleggingen zijn meestal ingeklemd tussen twee apparaatflenzen. Een voorbeeld hiervan vindt U in figuur 4.4. Het spreekt voor zich dat ook de vlaktedruk op de opleggingen door het gewicht erboven niet te groot mag worden.



figuur 4.4 Schets van een met PTFE beklede kolom

Het is voorgekomen dat de oplegging van een schotelpakket op een oplegging zoveel vloeï veroorzaakte, dat ter plekke de bekleding lek raakte. De gevolgschade was groot. Een remedie is vermindering van de belasting en een zo groot mogelijk draagvlak.

Een andere vorm van mechanische belasting bij PTFE doet zich voor bij de bekleding van grote verticale objecten met geschilde folie. De folie bevindt zich als losse liner in bijvoorbeeld een kolomdeel en door het grote gewicht van de liner gecombineerd met hoge gebruikstemperaturen, kunnen hier als gevolg van vormverandering problemen ontstaan. In overleg met de applicateur kunnen hiervoor oplossingen worden aangedragen.

Bij (isostatisch) geperste kleine delen, zoals appendages, is koude vloeï van PTFE tegen te gaan door in de PTFE grondstof een andere stof te mengen die dit gedrag tegengaat. Men noemt dit een PTFE compound. Er zijn vele compounds op de markt. De meest gebruikte zijn: Glas, koolstof, grafiet, roestvast staal, brons en mica. Behalve dat deze stoffen de koude vloeï-eigenschappen sterk verbeteren, bezitten ze vaak een tweede voordeel en dat is verbetering van de loopeigenschappen bij bijvoorbeeld glijlagers. Koolstof wordt bijvoorbeeld ook gebruikt om PTFE elektrisch geleidend te maken. Bij de selectie dient men er op te letten dat de vulling in het PTFE compound resistent is tegen het medium waar het mee in aanraking komt. Bij niet resistente compounds wordt het additief uitgeloozd.

Niet alleen vertonen PFA, FEP, PVDF, PCTFE en PP het kruipgedrag in een mindere mate als PTFE, doch door hun thermoplastische verwerkbaarheid kan er ook meer tegen gedaan worden. Bij de bekleding van appendages is het gebruikelijk dat de bekleding zoveel mogelijk aan het substraat wordt verankerd door het mee volspuiten van boorgaten. Ook brengt men zwaluwstaarten in de drager aan (zie figuur 4.2). Bij flenzen wordt koude vloeï van de bekleding vaak tegengegaan door aan de flensrand een opstaande rand in het metaal te draaien waardoor de bekleding daar niet kan vloeïen. Samen met een zwaluwstaart biedt deze optie een goede waarborg. Ook onder-snijdingen die in gespuïtgietten artikelen mogelijk zijn, vormen een goede mechanische barrière tegen vloeï.

4.8 Druk en onderdruk

Druk is niet het grootste probleem bij kunststofbekledingen. Door de inwendige druk wordt de bekleding slechts vaster tegen de substraatwand gedrukt. Hogere druk betekent echter wel hogere boutspanningen bij de flenzen met als gevolg hogere pakkingdrukken. Ook bij afsluiterorganen waar in dichte toestand vaak grote drukverschillen optreden kan de eenzijdige druk een vloeïprobleem oproepen.

Het onderdrukprobleem is echter groter dan het drukprobleem. Naarmate de onderdruk hoger wordt, heeft de bekleding de neiging om los te komen van het substraat. Er zijn enkele manieren om dit tegen te gaan.

Volledige vacuümvastheid is echter lastig bereikbaar.

Maatregelen die men kan nemen zijn:

- < het lijmen van de bekleding op het substraat;
- < mechanische verankering door bijvoorbeeld zwaluwstaarten;
- < het kiezen van een dikkere bekleding;
- < het aanbrengen van drukspanning in de bekleding;
- < de configuratie van het substraat aanpassen;
- < het aanbrengen van steuningen of vulmiddelen.

Applicateurs kiezen soms voor een combinatie van technieken. Als voorbeeld kan genoemd worden de keuze voor een dikkere bekleding in combinatie met het aanbrengen van drukspanningen in de liner.

4.8.1 *Lijmen van de bekleding*

Indien men kiest voor lijmen, moet men bij de materiaalkeuze bedenken dat dit slechts mogelijk is voor de thermoplasten met een ingesmolten weefsel, dus niet zonder meer voor PTFE. Het lijmen van geëtste folies wordt ook gedaan, maar het is een lastige zaak om met deze methode een goede kwaliteit te halen. De uiteindelijk te bereiken vacuümvastheid is afhankelijk van de hoeveelheid lucht die tijdens het lijmen wordt geïncorporeerd.

Het geheel vermijden van lucht is bij het handmatig aanbrengen van dit type bekleding schier onmogelijk. De vacuümvastheid is bovendien afhankelijk van de permeatiecoëfficiënt van de bekleding. Bij voortschrijdende permeatie neemt de vacuümvastheid dramatisch af. In het ontwerp moet worden meegenomen dat lassen in een dergelijk systeem onvermijdelijk zijn.

4.8.2 *Mechanische verankering*

Mechanische verankering is al uitgebreid besproken. Zwaluwstaarten, inkamers, ondersnijdingen e.d. bieden oplossingen.

Een andere vorm van verankering kan gebeuren door het aanbrengen van een insert.

Bijvoorbeeld: Bij een kogelkraan wordt de bekleding voor een groot deel op zijn plaats gehouden door de zittingen voor de kogel, bij de spindelvoorvoer kan de bekleding ook geen kant op.

4.8.3 *Dikkere bekleding*

Vooraf bij de buisbekledingstechnieken wordt deze techniek gebruikt. Men moet dus denken aan de geëxtrudeerde typen, gewikkelde tape en isostatisch persen. De hiervoor het meest in aanmerking komende bekleding is PTFE en eventueel PP. Hoe dikker de bekleding hoe vacuümvaster. De rondheid en gelijke wanddikte is voor de vacuümvastheid eveneens van belang. Dit kan te wensen overlaten en staat beschreven in hoofdstuk 5 "De verschillende technieken om liners aan te brengen op het substraat".

4.8.4 *Het aanbrengen van drukspanning in de bekleding*

Dit is een techniek die bij PTFE wordt toegepast. Bijvoorbeeld: Kies een buisbekleding met een uitwendige diameter die een fractie groter is dan de buis waar deze ingetrokken wordt. Eenmaal aangebracht staat de bekleding onder drukspanning.

Een andere methode is het verkleinen van de diameter van de stalen buis waarin de bekleding reeds is aangebracht. Verdere bespreking in hoofdstuk 5 "De verschillende technieken om liners aan te brengen op het substraat".

4.8.5 *Het aanpassen van de configuratie*

De bekleding van T-stukken is al gauw vacuümvast. Dit komt omdat een losse bekleding op relatief veel plaatsen wordt vastgehouden door de flenzen.

Kiest men voor korte buisdelen, dan bereikt men hetzelfde effect. Wellicht een kostbare oplossing, doch voor kleine objecten vaak een uitkomst.

Bij geperste kleine delen kan dikwijls de wanddikte worden vergroot door de mechanische nabewerking te wijzigen.

4.8.6 *Het aanbrengen van steunringen of vullingen*

Vanwege het grote oppervlak zijn beklede kolommen e.d. gevoeliger voor onderdrukcondities dan buizen van kleine diameter. Indien vacuüm kan optreden in een kolom, dan zijn er drie methoden om toch te opereren onder vacuümcondities:

- ▶ het aanbrengen van een vacuüm tussen liner en stalen wand (beschreven in hoofdstuk 5.6 "Voorzietingen ten behoeve van permeatie").
- ▶ men kan steunringen aanbrengen van een resistent materiaal; in de zware petrochemie wordt in de regel voor grafiet gekozen. In de kolom wordt als het ware nog een kolom van grafiet ringen gebouwd, zodat de PTFE liner geheel opgesloten zit tussen de stalen buitenwand en de grafiet binnenwand. De liner kan nu ook onder vacuüm geen kant meer op (zie figuur 4.5). Bij het ontwerp dient rekening te worden gehouden met een diameterverkleining van de kolom door de steunringen.
- ▶ een andere methode die op hetzelfde principe berust, is het opvullen van de kolom met een kolomvulling zoals bijvoorbeeld korte koolstof of grafiet pijpjes. Daar waar de kolom is gevuld met deze pijpjes, wordt de PTFE liner behoed voor het naar binnen zuigen, doordat ze wordt tegengehouden door de kolomvulling. In de ontwerpfase dient te worden bezien of een kolomvulling procestechnisch tot de mogelijkheden behoort.



figuur 4.5 Opsluiten van de PTFE liner door middel van een grafieten binnenwand

4.9 *Erosie en cavitatie*

Het is zeer moeilijk zo niet onmogelijk een liner te selecteren die bestand is tegen erosie of cavitatie. Men kan van tevoren niet zeggen of een bepaalde kunststof zal voldoen.

Meestal ondervindt men bij rechte buislengten geen problemen, de aantasting begint meestal bij oneffenheden zoals flensovergangen, vernauwingen en obstakels. Hier ontstaan wervelingen en daardoor slijtage. Bij cavitatie bijvoorbeeld in pompen dienen vaak beter aan de oorzakelijke kant oplossingen te worden gezocht. Sommige liners komen tot een redelijke standtijd, terwijl andere buiten verwachting heel snel versleten zijn. In dergelijke gevallen is het zaak voor de goedkoopste versie te kiezen ook al is deze niet geheel resistent, de afbraak door erosie is er dan eerder als het teniet gaan door chemische aantasting. Soms wordt een liner gebruikt als een opofferingsbarrière voor een onderliggend kostbaarder substraat, deze methode kan men ook toepassen voor kostbare en kwetsbare liners. Empirische ervaring van fabrikanten en/of medegebruikers kunnen in dergelijke gevallen goede raadgevers zijn.

4.10 *Elektrische geleiding en statische elektriciteit*

In de industrieën waar liners worden gebruikt, gebeurt het met regelmaat dat de te transporteren vloeistoffen elektrisch niet geleidend zijn. Deze vloeistoffen zijn niet in staat hun eventuele elektrische lading af te staan aan een metalen deel omdat dit door middel van de liner eveneens is geïsoleerd. In tegendeel, de procesvloeistof krijgt een nog hogere lading omdat deze wrijving ondervindt langs een niet geleidende kunststof. PTFE is famous vanwege het elektrisch opladend vermogen. Als de vloeistof vervolgens in contact komt met een stof van andere elektrische potentiaal, dan volgt vaak een ontladingsvonk hetgeen zeer gevaarlijke situaties kan opleveren. Men dient zich hierbij te bedenken dat bij een bekleed buissysteem de procesvloeistof over de gehele lengte van het systeem niet de kans krijgt zich te ontladen. De liner zorgt er immers voor dat buis na buis geïsoleerd blijft. Hierdoor kan de lading zeer hoog oplopen. Een oplossing voor dit probleem is door middel van additieven de liner elektrisch geleidend te maken door bijvoorbeeld koolstof toe te voegen. Een fabrikant heeft op dit probleem inventief ingespeeld en brengt koolstof c.q. grafiet ringen op de markt die moeten worden gemonteerd tussen de flenzen. Deze elektrisch geleidende ringen kunnen worden aangesloten op een geaarde draad. Bij de materiaalkeuze dient het fenomeen van de elektrische oplading door isolatie de nodige aandacht te krijgen. Door ongelukken met statische elektriciteit hebben zich bij verschillende bedrijven catastrofes voorgedaan.

4.11 *'Specials'*

Het is zeer wel mogelijk dat men een object wenst te laten bekleden, dat niet in de prospecti en catalogi van de fabrikanten voorkomt. In dat geval spreken we van een "special". Het is dan zaak zelf een voorontwerp te maken, een liner te selecteren op basis van de beschikbare gegevens en dit te overleggen met de fabrikant/applicateur.

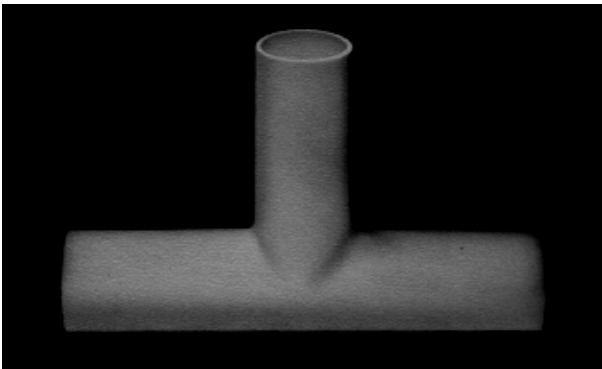
Een doe het zelf actie kan soms zeer kostbaar zijn en binnen zeer korte tijd falen. Leg het probleem, indien nodig, voor aan de grondstoffabrikant. Zij hebben vaak een voortreffelijke servicedienst voor dit soort gevallen.

Hoofdstuk 5

De verschillende technieken om liners aan te brengen op het substraat

5.1 *Persen*

Het persen is de eenvoudigste techniek om een liner indirect aan te brengen in een stalen object. Als het substraat een eenvoudige vorm bezit, bijvoorbeeld een buis, dan kan men zich indenken dat er een massief stuk kunststof wordt geperst hetgeen, indien nodig, met mechanische hulpmiddelen zoals draaien of frezen passend wordt gemaakt. Het kunststof deel dat nu "op maat" is kan als zodanig worden gebruikt, bijvoorbeeld als passtuk in een leidingsysteem. Doch het komt ook voor dat op dit moment het substraat om de liner wordt heengebracht. Dit gebeurt bij sommige T-stukken zie (figuur 5.1), of bij zogenaamde "split body" afsluiters, filters en andere appendages. Deze "split body"-techniek kan ook worden toegepast bij het bekleden waarbij andere productietechnieken zijn gebruikt, doch het komt het meest voor bij geperste artikelen.



figuur 5.1 T-stuk

5.2 *Extrusietechnieken*

We kennen de pasta- en ramextrusie voor PTFE, doch deze technieken worden niet gebruikt om liners rechtstreeks in het staal aan te brengen. Hier is bedoeld de extrusie van vol thermoplastische liners rechtstreeks in het substraat. Deze techniek wordt vooral toegepast bij appendages. Hiervoor worden de eerder besproken typen extruders gebruikt.

5.3 *Transfer-moulding*

Het transfer-moulden of transferpersen is een handmatige, eenvoudige en betrouwbare techniek. Als voorbeeld kan een T-stuk worden genomen (zie figuur 3.3). In het T-stuk wordt een mal bevestigd zodat uitsluitend daar waar de bekleding moet komen een spleet overblijft. Boven op dit geheel wordt aan de inspuishopening een cilinder bevestigd. De cilinder wordt met (thermoplastisch) kunststofgranulaat gevuld. Het vulgewicht moet overeenkomen met het totale gewicht van de liner. Boven op het granulaat komt een onbelaste zuiger te staan. De gehele constructie wordt nu in een oven geplaatst. De oventemperatuur komt overeen met het smeltpunt van het gebruikte granulaat.

Na bepaalde verblijftijd in de oven, waarbij het granulaat geheel in de smelt is gekomen en de constructie dezelfde temperatuur heeft aangenomen als de smelt, wordt het geheel uit de oven genomen. Meteen daarna wordt met behulp van een hydraulische pers de zuiger in de cilinder gebracht en daarmee het gesmolten granulaat geïnjecteerd. De constructie wordt afgekoeld aan de lucht of in een temperoven. Men bereikt hiermee een spanningsvrije bekleding. Objecten die op deze relatief kostbare manier worden bekled, zijn meestal fittingen en appendages.

5.4 *Het aanbrengen van liners in stalen buizen*

Te beginnen met PTFE.

Dit betreft ram- en pasta-extrusie. Ramextrusie levert eindeloze cilindrische buis, die in deze vorm geschikt is om meteen als liner te gebruiken. Bij pasta-extrusie echter is de liner, als hij de sinteroven verlaat, bobbelig en vaak ovaal en kan in deze vorm niet als liner worden gebruikt. De vervorming is het gevolg van de slapheid van het PTFE extrudaat dat na de extruder al vóór de sintering vervormt door zijn eigen gewicht.

Om de pasta-extrusiebuizen rond te maken, is een nieuwe processtap nodig, de zogenoemde calibratie. Deze kan op verschillende manieren plaatsvinden. De eenvoudigste maar niet de meest elegante manier is de overmaatse liner met veel kracht in de stalen buis te trekken. Gevolgen kunnen zijn: verschillen in wanddikte, beschadiging, locaties waar de liner niet tegen het substraat ligt, enz. Deze manier van applicatie vereist veel aandacht om geen afbreuk te doen aan de kwaliteit. Bij inspectie is later altijd visueel waarneembaar dat de liner op deze wijze werd geapliceerd.

Bij ramextrusiebuis ligt het genuanceerder. De buis is volkomen rond en mits deze een niet te grote overmaat bezit, kan hij op deze wijze in de stalen buis worden gebracht.

De calibratiebewerking voor pasta-extrusiebuis komt er op neer, dat men een buis na het sinterproces door een treksteen trekt om voldoende rondheid te bewerkstelligen. Deze bewerking wordt zowel warm als koud gedaan. Warm is beter. Bij de calibratiestap is een waarschuwing op zijn plaats. Calibratie is in eerste aanleg bedoeld om oneffenheden uit de linerbuis te verwijderen. In voorkomende gevallen is gesignaleerd dat fabrikanten van de calibratiemethode gebruik maakten om verschillende diameters linerbuis te maken. Door herhaalde treksteenbewerkingen lukte het bijvoorbeeld om van een oorspronkelijk 40 mm diameter buis een 25 mm buis te fabriceren. Dat dit ten koste gaat van de kwaliteit laat zich raden.

Een derde methode die goede resultaten afwerpt, is een methode die gebruikmaakt van het zogenoemde geheugen van kunststoffen. Men gaat uit van een overmaatse linerbuis welke, om passend in de draagbuis te passen, meer moet worden verkleind dan in de vorige gevallen. Daarom gaat deze diameterreductie onder toevoer van warmte (deze bewerking kan eventueel gelijktijdig met de calibratiestap plaatsvinden). De temperatuur wordt echter niet zó hoog opgevoerd dat het materiaal zijn geheugen verliest. Na de verjonging wordt de buis snel gekoeld (bijvoorbeeld met water) om de verkregen polymeerconfiguratie in te vriezen. Na deze bewerking kan de liner vrijwel passend in de stalen buis worden gebracht. Nadat de liner in het stalen object is geschoven, volgt

wederom verwarming, waardoor de liner zijn oude diameter weer wil aannemen, maar wordt tegengehouden door het substraat. Het gevolg is dat de liner overall perfect tegen het staal aan komt te liggen. De relaxatie heeft verder tot gevolg dat zich in de liner drukspanningen manifesteren. Deze geven o.a. het voordeel dat de vacuümvastheid wordt verhoogd.

Voor FEP als buisliner geldt hetzelfde als voor ram-extrudaat.

PP als buisliner wordt vaak gebruikt wanneer een milde chemische- en temperatuurbelasting aanwezig zijn. Men kan dan volstaan met het relatief goedkope PP. PP is echter uitsluitend in de handelsdiameters op de markt. Deze diameters komen vaak niet overeen met binnendiameters van standaard stalen buizen. Daarom komt het voor dat PP buis zonder meer los in de stalen buis wordt gebracht en er enige ruimte overblijft tussen staal en liner. Dit kan bezwaarlijk zijn, doch bij zeer milde toepassingen, zoals in de afvalwaterverwerking, is deze methode een succesvolle goedkope oplossing gebleken.

Er is tot op heden één fabrikant die een afwijkend procédé volgt en dat is het inbrengen van een liner in een stalen buis, waarbij vervolgens via een soort "Mannesman"methode de stalen buizen in diameter worden verkleind. Deze bewerking wordt "swaging" genoemd. De diameterreductie is dusdanig, dat de kunststof liner onder drukspanning komt te staan. De stalen buis is aan de binnenzijde niet glad. Voor PTFE liners is de binnenzijde voorzien van groeven die met een zekere spoed zijn aangebracht zodat een wafelvormig patroon ontstaat. Voor alle andere liners is de stalen buis inwendig over het gehele oppervlak voorzien van mechanisch aangebrachte uitstulpingen (zogenoemde dimpels) van ca. 1 mm hoog met een onderlinge afstand van ca. 5 mm. Als de diameter is verkleind, wordt de liner in het staal vastgehouden door de talrijke groeven of door de dimpels. De groeven, speciaal voor PTFE liners, zorgen er tevens voor dat eventueel gepermeëerde gassen zich niet tussen liner en substraat kunnen verzamelen, doch via de groeven aan de achterzijde van de flens kunnen verdwijnen. Na het aanbrengen van de liner steekt een stuk van de liner uit het staal. Dit stuk wordt later gebruikt om de flens te bekleden. Op beide einden van de stalen buis wordt een speciale schroefdraad gesneden, waarop een flens wordt geschroefd.

Bij alle andere systemen zijn de flenzen van tevoren aangebracht en steekt een stukje buisvormige bekleding buiten de flens. Dit stukje buis wordt op de juiste lengte gebracht en haaks omgezet met behulp van warmte en de nodige apparatuur. Het onder toevoeging van warmte omzetten van de flensbekleding wordt in het vakjargon "Flaren" genoemd.

5.5 *Vergelijking tussen de verschillende methoden*

Het zonder meer los inbrengen van de liner, zoals in sommige gevallen bij PP wordt gedaan, is een methode die slechts bij uitzondering en voor zeer milde situaties kan worden toegelaten. Er kan immers snel schade ontstaan bij temperatuurfluctuaties, omdat alle spanningen van de gehele buislengte, bijvoorbeeld als gevolg van uitzetting en krimp, worden verplaatst naar de flenzen, waar de liner is gefixeerd.

Het koud inbrengen van de liner met geringe over-

maat in de stalen buis is een wat betere methode, doch omdat de linerdiameter wordt verkleind door de stalen flens die op het buiseinde is aangebracht (welke de functie van trekspleet vervult), kunnen oneffenheden en beschadigingen ontstaan.

Immers een stalen flens, vooral een "slip-on-flens" die aan de voorzijde wordt gelast heeft nooit de ideale vorm van een treksteen. Afronding is in dit geval uitermate belangrijk. Deze methode kan worden gebruikt bij volkomen ronde buis, zoals van bijvoorbeeld ramextrusie.

Bij pasta-extrusieproducten kan deze methode slechts met succes worden toegepast door applicateurs met veel ervaring en adequate kwaliteitscontrole.

Bij pasta-geëxtrudeerde buis kan eerst calibratie plaatsvinden, zoals eerder omschreven. Deze werkwijze is kostbaarder en arbeidsintensiever, doch kan veel kwaliteitsvoordeel bieden.

Als laatste de "swaging" methode. Een manier die, zoals in de praktijk is gebleken, goed voldoet. De oorzaak moet worden gezocht in de drukspanningen die in de liner door het 'swagen' zijn aangebracht. Bovendien houden de dimpels de liner om de paar millimeter gefixeerd, waardoor eventuele in de liner aanwezige spanningen goed worden verdeeld en geen kans zien zich voort te planten naar de flenzen. Deze methode bezit maar één nadeel en dat zijn de schroefdraadflenzen. Sommige petrochemische bedrijven en controlerende overheidsinstanties nemen slechts genoegen met gelaste flenzen en laten schroefdraadflenzen niet toe.

5.6 *Voorzieningen ten behoeve van permeatie*

Van alle liners bezit PTFE de hoogste permeatiecoëfficiënt. Vooral kleine moleculen hebben de neiging door de PTFE wand te permeëren. De gepermeëerde gassen komen tussen liner en stalen wand terecht en indien ze niet zouden worden verwijderd, kunnen ze zich daar ophopen en een zekere druk opbouwen. Mocht onverhoopt de druk in het buissysteem verminderen, dan is het niet denkbeeldig dat door de druk tussen liner en staal de bekleding naar binnen wordt gedrukt. In het vakjargon wordt dit "Liner-Collapse" genoemd. Een andere reden om sommige gediffundeerde gassen snel af te voeren is, omdat ze corrosief zijn. Bij een langere verblijftijd tussen liner en staal kan dan corrosie ontstaan.

Er zijn simpele manieren om te zorgen dat de gassen kunnen ontwijken. De meest eenvoudige is het boren van gaatjes in de stalen buis, meestal twee per buis meteen achter de lasnaad van de flens, met een diameter van ca. 2 mm. Deze gaatjes worden ontluchtings- of ventilatiegaatjes of "ventholes" genoemd. Een benaming die iets verder van de waarheid ligt is "verklikkergaatjes".

Het zou de bedoeling zijn via deze verklikkergaatjes een lekkage van de liner vroegtijdig te kunnen constateren, dit is echter een bijkomstigheid.

Indien de gediffundeerde gassen gevaarlijk zijn of om andere redenen, wordt vooral bij grotere objecten wel gebruikgemaakt van een secundair afvoersysteem. Dit afvoersysteem is van zeer kleine diameter en vaak in kunststof uitgevoerd. Meestal wordt hier een instrument-tubing systeem voor gebezigd.

In dit kader is het voorgekomen dat een gebruiker de liner een extra vacuümvastheid wilde geven, door het

afvoersysteem onder vacuüm te houden. Dit is een bijkomend voordeel en heeft tot gevolg dat de liner op alle locaties goed tegen het substraat aan komt te liggen, waardoor eventuele spanningen beter kunnen worden geëlimineerd. De gepermeëerde gassen worden snel afgevoerd en eventueel geneutraliseerd. Vacuüm onderhouden kost energie, doch vanwege de geringe inhoud van het systeem kan dit worden beperkt tot een kleine vacuüm-unit.

Bij de buizen van het swage-type ontwijken de gassen via de groeven naar de flens. Tussen de flens en de bekleding is een gaas gemonteerd, waardoor de gassen kunnen ontsnappen. Doordat de groeven zich op alle plaatsen in de buis bevinden, kan het permeaat een gemakkelijke weg naar buiten vinden. Dit systeem heeft zich in de praktijk op gunstige wijze onderscheiden.

5.7 Lasmethoden voor thermoplasten en PTFE

Voor thermoplasten wordt doorgaans de heetgaslasmethode toegepast. Zoals eerder beschreven, dienen de in het object gelijkde platen onderling porievrij te worden verbonden door middel van lassen. Heetgaslassen is een eenvoudige methode. De richtlijnen hiervoor zijn terug te vinden in de VM-publicatie VM 100 "Heetgaslassen van thermoplastische kunststoffen".

Omdat tijdens het lassen onvermijdelijk spanningen in het materiaal worden gebracht, is men soms bevreesd voor scheuren van de las. Voor kritische toepassingen wordt dan over de V-naad een strook van dezelfde kunststof gelast die de hele lasnaad afdekt.

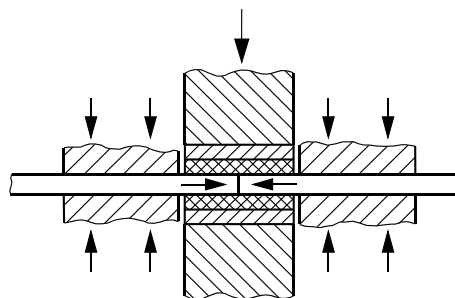
Ook deze strook wordt met heet gas gelast. Heetgaslassen wordt ook gebruikt om reparaties te verrichten in alle thermoplastische liners. Bij het bekleden komt het voor dat aanpassingen moeten worden gemaakt. Enkele applicateurs neigen ertoe dit door middel van heetgaslassen uit te voeren. Om een voorbeeld te noemen: Wanneer er te weinig materiaal bij een flens is overgebleven om het gehele pakkingoppervlak te bedekken, is het voorgoed komen dat men er een ring aan laste om tot voldoende pakkingvlak te komen. Deze methode dient met de nodige scepsis te worden benaderd. Een kritische inspectie is aan te bevelen.

Grote platen kunnen, indien dit technisch mogelijk is, vóór ze in een object worden gebracht, eerst worden gelast door middel van stuiklassen. Voor het verloop en de eisen te stellen aan stuiklassen in de diverse thermoplasten, verwijzen wij naar de publicatie VM 98 "Stuiklassen van thermoplastische kunststoffen".

Het lassen van PTFE verdient aparte aandacht. Deze bewerking vindt uitsluitend plaats bij het bekleden van grotere objecten met geschilde PTFE folie. Het lassen van PTFE voor liners kent twee uitvoeringsvormen, te weten de stuiklas en de overlapas.

De eerste methode kan zonder toevoegmateriaal, de tweede vindt plaats met toevoegmateriaal. Stuiklassen van PTFE is eigenlijk analoog aan het stuiklassen van andere platen van thermoplastisch materiaal. Figuur 5.2 laat een principeschets zien. De drukken en temperaturen liggen echter op een ander niveau dan bij "reguliere" thermoplasten.

Er zijn slechts enkele applicateurs die deze techniek goed beheersen en zij geven geen temperaturen en



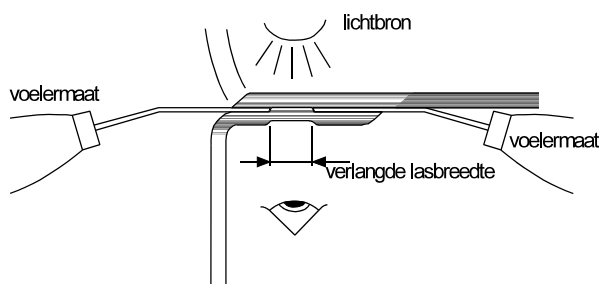
figuur 5.2 Principeschets voor het stuiklassen van PTFE

drukken vrij. Ook mag men in de regel niet aanwezig zijn bij het lassen. De stuiklasmethode vergt meer precisie en vakmanschap dan het overlappen. Het is echter uit de literatuur duidelijk, dat de lastemperatuur op 380 à 390°C moet liggen. De lasdruk zou in de orde van 2 à 3 bar moeten zijn.

Het resultaat is een stuiklas met lasril. De lasril wordt in de meeste gevallen en zeker aan de substraatzijde voorzichtig verwijderd. Alle langsnaden worden op deze manier vervaardigd.

Op die plaatsen waar dat mogelijk is, wordt bij voorkeur met overlappen gewerkt. In de meeste gevallen wordt met een toevoegmateriaal gewerkt. Dit kan bijvoorbeeld PFA folie zijn of een ongesinterde tape van PTFE emulsiepolymerisaat.

De werkwijze is eenvoudig. De te lassen delen worden ter plaatse van de las met de vereiste overlap op elkaar gelegd. Daartussen heeft men het toevoegmateriaal in de vorm van een folie gelegd. Druk en temperatuur worden aangelegd en als de folie na verloop van tijd geheel is doorgewarmd, vindt een zekere versmelting van de materialen plaats. Figuur 5.3 laat een gereede overlapas zien. Tot slot is het nog vermeldenswaard dat er een methode is ontwikkeld om reparaties uit te voeren aan geschilde folie.



figuur 5.3 Visuele controle van de lasbreedte van een overlapas in PTFE

Deze reparatiemethode is speciaal ontwikkeld, omdat het in folies met afmetingen die meerdere vierkante meters kunnen beslaan, het in de praktijk meer dan eens voorkomt, dat zich in zo'n groot oppervlak één porie of één ontoelaatbare vuilinsluiting of één beschadiging bevindt. In deze situaties wordt de folie afgekeurd voor gebruik en wordt een reparatie door middel van lassen uitgevoerd. Het betreft een zogenaamde "patchlas". Aan de voor- en achterkant van de afgekeurde locatie wordt een ronde stempel aangebracht, die onder druk kan worden gebracht. In de stempels is een elektrisch verwarmingselement ingebouwd. De bekledingsfolie is dus ingeklemd tussen de stempels. Eventueel kan lastoevoegmateriaal worden gebruikt. De rest van het lassen gebeurt op dezelfde wijze als eerder omschreven.

Dit type reparaties kan met draagbare apparatuur in het veld worden uitgevoerd. Bij aan media geëxposeerde folie is lassen soms niet meer mogelijk, vanwege componenten die in het PTFE zijn gepermeëerd.

5.8 Lining met geschilde PTFE folie

In het vorige hoofdstuk is het lassen van liners van geschilde PTFE folie besproken. Allereerst wordt het stalen deel qua afmeting en configuratie nauwkeurig in kaart gebracht. De folie wordt eerst langsnaad gelast. Zodoende wordt er een cilindrische bekleding gevormd, die gepast wordt in het stalen rompdeel. Bij goede passing worden de tubelures afgetekend en uitgesneden. Vervolgens worden door middel van overlappen de tubelurebekledingen aan de rompbekleding gelast. De gehele bekleding wordt dus buiten het substraat gelast. De bekleding wordt nu als geheel (zie figuur 4.1) in het stalen deel gebracht. Afwerking van alle flenzen vindt nu plaats door ze, op de eerder beschreven manier, met inbreng van warmte en speciaal gereedschap te "flaren", zodat alle flenzen met PTFE bekleding zijn bedekt. Deze kolomdelen hebben een maximale hoogte van ca. 1500 mm. dit is het gevolg van de beperkte hoogte van het blok waaruit de folie is geschild. Met de bestaande afmetingen van pers- en lasapparatuur is het niet mogelijk om PTFE bekledingen voor hogere kolomdelen te vervaardigen.

Men dient te bedenken dat de bekleding los in het stalen deel zit en slechts door de flenzen wordt vastgehouden, hierdoor kan de bekleding vrij uitzetten. Bij een situatie waar de bekleding tevens onder druk staat, kunnen daardoor vouwen in de bekleding ontstaan (zie figuur 5.4).

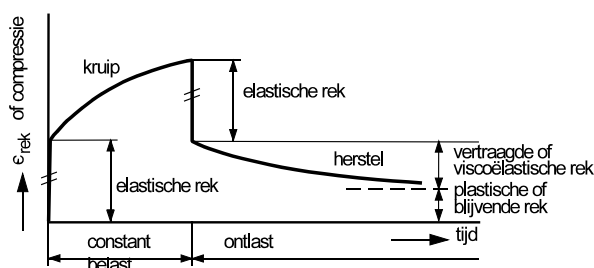


figuur 5.4 Vouwen in de bekleding t.g.v. uitzetting

Ook bij de flenzen ontstaan vouwen. Nadat het object is afgekoeld komt, de bekleding niet in zijn geheel weer terug in zijn oude positie. Een deel van de vouwen resteert en dit is blijvende vervorming. Steeds als de temperatuur wordt verhoogd, worden de vouwen iets groter en blijft na afkoeling een iets grotere vervorming over. De vouwen groeien dus!

Het ontstaan van vouwen in de bekleding heeft echter geen aanleiding te zijn tot disfunctioneren. Het ontstaan van vouwen en de groei daarvan laat zich door de grafiek in figuur 5.5 verklaren. Brengen we bijvoorbeeld een kolomdeel onder druk bij verhoging van de temperatuur, dan zien we dat de PTFE bekleding zal uitzetten. Hierdoor komt de bekleding in

beweging. Een deel van de ontstane ruimte verplaatst zich naar de flenzen waar de bekleding wordt vastgehouden. Bij grotere objecten ontstaan ook elders vouwen waarvan de locatie niet voorspelbaar is. Na het wegnemen van de belasting na zekere tijd, herstelt het deel elastische deformatie zich vrijwel onmiddellijk, de deformatie door kruip herstelt slechts ten dele en resulteert in een stuk plastische of blijvende deformatie.



figuur 5.5 Kruip en herstel

Hoe groot deze deformatie is hangt af van de procesomstandigheden, zoals temperatuur en druk. Tevens speelt de ruwheid van de substraatwand een rol. Bij elke temperatuurwisseling ontstaat dus een deel(tje) plastische deformatie, waardoor vouwen in de bekleding groeien. In de praktijk is vastgesteld dat deze vouwen lang niet altijd een effect op de levensduur behoeven te hebben. Bij tussentijdse inspecties dient men zich te bedenken dat zich ter plaatse van de hoogste (buigspanning) het eerste scheuren zullen manifesteren. Het ontstaan van scheuren kan tevens worden beïnvloed door het medium. De vorming van vouwen kan worden tegengegaan door de eerder beschreven maatregelen te nemen om schade door vacuüm tegen te gaan. Deze maatregelen zorgen ervoor dat de bekleding zich niet zo gemakkelijk kan verplaatsen.

Hoofdstuk 6

Eisen te stellen aan het substraat

6.1 Constructie-aspecten en oppervlakte-gesteldheid

6.1.1 Algemeen

Reeds in de ontwerpfase dient rekening te worden gehouden met de in een later stadium aan te brengen liner. Reinheid en grondige voorbereiding zijn essentieel voor het functioneren van de liner. Lassen dienen glad te zijn afgewerkt, high-low is niet toegestaan, evenals inkarteling en lasspetters. Gietijzer of gietstaal dient aan de binnenzijde volkomen glad en SA 2½ te zijn. Bij nadere beschouwing van de diverse productietechnieken kan het volgende worden opgemerkt (aandachtspunten):

6.1.2 Extrusie en spuitgieten

Bij extrusie- en spuitgietmethoden betreft het in de regel de minder grote objecten die in series worden vervaardigd en waar het de meest gebruikte techniek is, om rechtstreeks de liner via de extruder in het stalen deel te injecteren. In deze categorie vallen: pompen, appendages, fittingen, instrumentatie e.d.

Allereerst dient het te bekleden object de hoge druk en temperatuur te kunnen verdragen, waarmee bij deze techniek wordt gewerkt. Men moet er tevens voor zorgen dat de te bekleden oppervlakken schoon zijn en SA 2½ gestraald. Bij onreinheid van de bekleding, als gevolg van vuil afkomstig van het substraat, kan schade optreden tijdens gebruik. Bovendien is dit een reden voor afkeur tijdens inspectie. Afrondingen afhankelijk van de grootte van het object van 3 tot 5 mm. Van zwaluwstaarten en verankeringsboringen dienen de kanten te zijn gebroken.

6.1.3 Geperste PTFE artikelen

In grote lijn geldt hiervoor hetzelfde als voor extrusie en spuitgieten van thermoplastische materialen. Men onderscheidt de volgende technieken:

- 1) geperste artikelen die later als bekleding worden gebruikt;
- 2) persingen die analoog aan de extrusie meteen in de stalen drager plaatsvinden.

De vormgeving voor de eerste methode dient vanzelfsprekend te zijn aangepast. Voor de tweede manier kan de vorm, in verband met de vulling met PTFE poeder of granulaat, niet gecompliceerd zijn. Omdat dit soort artikelen meestal nog mechanisch moet worden nabewerkt, ligt het toepassingsgebied in de fabricage van kleine delen.

6.1.4 Isostatisch persen

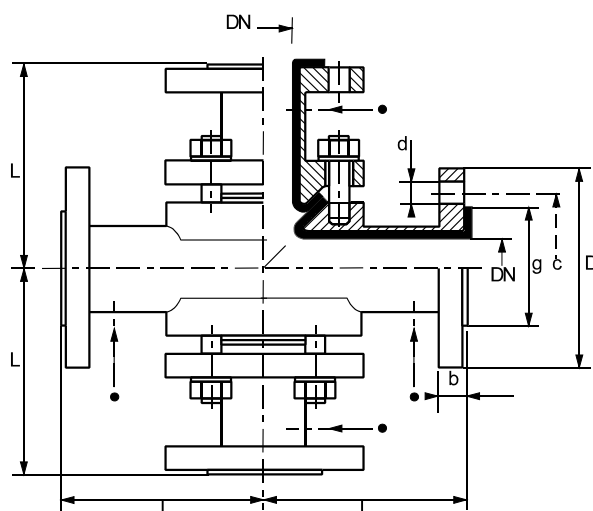
Voor afrondingen en andere voorbereidingen, zie boven. De sterkte en constructie van de te bekleden objecten is afhankelijk van de methode welke men gaat gebruiken. Onderwerpt men het object éézijdig aan de persdruk, dan dient de constructie van voldoende sterkte te zijn. Bij de methode waarbij het voorwerp in zijn geheel in het drukkassin wordt gedompeld, kan de constructie lichter zijn. De omvang

van het voorwerp dient aangepast te zijn aan de inhoud van het drukvat. De constructie dient de sinter-temperatuur $\leq 400^\circ\text{C}$ te kunnen verdragen. Bij geval van twijfel is overleg met de bekledingsfirma aan te bevelen.

6.1.5 Pasta- en ramextrusie

Dit zijn buisextrusietechnieken, waarbij moet worden bedacht dat alle bekledingen uit een buis dienen te worden vervaardigd. Voor bochten, T-stukken e.d. is dit, soms via speciale aanpassingen, mogelijk (zie figuur 6.1). Wanneer echter het substraatdeel te gecompliceerd of te groot wordt, kan het niet worden bekleed met dit type liner. Alle gerenommeerde fabrikanten geven catalogi uit met de standaard afmetingen van hun producten.

Reinheid SA 2½, afrondingsstralen 5 mm.



figuur 6.1 Voorbeeld van een gecompliceerd werkstuk met pasta-geëxtrudeerde PTFE-bekleding

6.1.6 Geschilde PTFE folie

Deze vorm van bekleding vereist grote objecten van zeer eenvoudige vormgeving en geen grote series. Er dient altijd de mogelijkheid te bestaan de folie in complete gelaste toestand in het object te brengen. Reinheid SA 2½, afrondingsstralen minimaal 5 mm.

6.1.7 Tape wikkelmethode

Hier kan men op dezelfde wijze te werk gaan als bij geschilde PTFE folie. Dat wil zeggen een bekleding te vervaardigen buiten het substraat, waarbij met het tape wikkelen wat gecompliceerder vormgeving mogelijk is. In dat geval gelden dezelfde eisen als voor de geschilde folie technieken. Gebruikt men deze methode voor buisvervaardiging, dan wordt voor de bijzonderheden verwezen naar pasta- en ramextrusie.

6.1.8 Rotatietechnieken

Indien de applicateur in staat is de te bekleden voorwerpen qua omvang en gewicht te verwerken, is vrijwel elke configuratie mogelijk. In de regel kan, omdat tijdens de applicatie vrijwel geen krachten op het voorwerp worden uitgeoefend, de constructie licht zijn. Als eis geldt dezelfde voorbereiding als bij spuitgieten.

6.1.9 *Elektrostatistische en spuit- en dompeltechnieken*

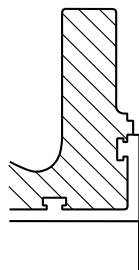
De voor deze techniek te stellen eisen zijn nagenoeg gelijk aan de voorgaande. Vooral bij de grote inwendig te behandelen objecten is het aan te bevelen met zo groot mogelijke afrondingen te werken. Scherpe hoeken en overgangen in materiaaldikte dienen te worden vermeden.

6.2 *Conservering*

Hier is bedoeld de conservering aan de binnenzijde van een te bekleden voorwerp, dus op het staal voordat de bekleding wordt aangebracht. Het spreekt voor zich dat bij voorwerpen die nog een ovenbehandeling moeten ondergaan, of waar hechting een rol speelt, deze techniek niet kan worden toegepast. Voor conservering van het substraat zijn slechts de volgende bekledingstypen geschikt: geschilde folie-, tape wikkels-, pasta- en ramextrusiebekleding. Zoals besproken is PTFE gevoeliger voor permeatie dan de andere liners. Het permeaat kan de stalen drager aantasten. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een medium als HCl (zoutzuur). Behalve de aantasting vormt het corrosieproduct, in dit geval ijzerchloride, een probleem, omdat het zich ophoopt tussen liner en drager. Het drukt de liner van het staal en kan de ontluuchtingsmogelijkheid verstoppen. Inwendige conservering van het staal kan in dergelijke gevallen een oplossing bieden. Het conserveringssysteem dient uiteraard resistent te zijn tegen het permeaat en de bedrijfstemperatuur.

6.3 *Flensconstructies en oppervlakteruwheid van flensvlakken*

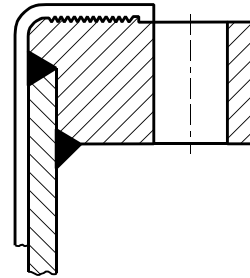
Over het algemeen zijn alle flensconstructies mogelijk, zowel in flat face als raised face uitvoering. Zoals reeds opgemerkt, kan bij een techniek als transfermoulding een voorziening worden getroffen om de vloeit aan de buitendiameter van de flensbekleding tegen te gaan door middel van een opstaande rand (zie figuur 6.2).



figuur 6.2 Tegengaan van vloeit door middel van een opstaande rand, gecombineerd met verankeringsplaatsen

Bij raised face flenzen is een spiraalvormige draagroef ingebracht, in het vakjargon de "grammofoonplaat" genoemd (zie figuur 6.3). De grammofoonplaat helpt mee de kruip van de bekleding tegen te gaan. Men dient er echter voor te waken de grammofoonplaat niet van te diepe scherpe groeven te voorzien. In de praktijk is gebleken dat hierdoor schade kan ontstaan in de vorm van scheuren. Vooral bij grote apparaatflenzen die met folie worden bekleed, is in dit opzicht waakzaamheid geboden. In geval van twijfel is over-

leg met de applicateur noodzakelijk. Indien de applicateur zelf voor de fabricage van de stalen flenzen zorg draagt, ligt de verantwoordelijkheid bij hem.



figuur 6.3 Tegengaan van vloeit door flensbewerking

Hoofdstuk 7

Kwalificatie- en acceptatiecriteria

7.1 Algemeen

Kwalificatie en acceptatie zijn verschillende zaken. Bij de kwalificatie van een bedrijf gaat het erom, uit te zoeken of een bedrijf in staat moet worden geacht een kwaliteit te produceren, die voldoet aan de eisen van de afnemer/gebruiker. Dit kan per gebruiker verschillend liggen. Acceptatiecriteria zijn de minimale eisen waaraan moet worden voldaan. Men dient de eisen of acceptatiecriteria af te stemmen op het gebruiksdoel van het te fabriceren object. Stelt men de eisen te hoog, dan betaalt men teveel. Zijn de eisen te laag, dan kan de kwaliteit te laag zijn, waardoor vroegtijdig falen van een object mogelijk is. Sommige bedrijven zijn gecertificeerd volgens een bepaald kwaliteitssysteem. Men kan dan de kwaliteitsdocumentatie, waaronder de klachtenprocedure, inzien en een indruk krijgen van het aantal klachten en de behandeling daarvan.

7.2 Kwalificatie en certificering

Het is als afnemer niet altijd noodzakelijk zelf een kwalificatie uit te voeren. Men kan zich (laten) informeren over eerder uitgevoerde kwalificaties. Er bestaan gespecialiseerde bedrijven die dit soort taken op zich nemen. Sommige producenten zijn op deze wijze gecertificeerd.

Men dient zich ervan te overtuigen op welke kwalificatie en onder welke acceptatiecriteria de certificering heeft plaatsgevonden. In sommige gevallen is het nodig dat men zelf de kwalificatie ter hand neemt. Men neemt de leverancier als het ware een proeve van bekwaamheid af. Dit gebeurt door middel van testen. Aantal en soort testen en de daarbij behorende acceptatiecriteria dienen vooraf duidelijk te zijn voor leverancier en afnemer. Indien in het ontwerp of fabricagemethode bij de fabrikant zich een wijziging voordoet, moet worden bezien of een nieuwe kwalificatie nodig is.

7.3 Kwalificatietesten

Het aantal kwalificatietesten en de testcondities moeten van tevoren worden vastgesteld. Het is raadzaam de kwalificatietesten te doen plaatsvinden op testmateriaal dat rechtstreeks afkomstig is uit de normale productie. Het te testen materiaal dient in ieder geval representatief te zijn voor de producten van de vervaardiger. De kwalificatietesten dienen of door de opdrachtgever, of een door hem aan te wijzen instantie te worden bijgewoond, eventueel door een kwalificerend bedrijf dat geautoriseerd is om te certificeren. Op het certificaat dient te worden vermeld op grond van welke testen en testresultaten het certificaat is afgegeven. Het type test dat als kwalificatietest wordt gebruikt en het niveau van beproeving dient tussen leverancier en afnemer overeengekomen te worden. Een kwalificatie vindt in de regel plaats vóór de eerste levering van de fabrikant.

Typische kwalificatietesten zijn:

- ▶ microscopisch onderzoek, eventueel met micro-

toom, waarbij bij een 10-voudige vergroting geen defecten zoals voids, insluitingen e.d. mogen worden waargenomen;

- ▶ het nemen van een trekproef van het liner materiaal;
- ▶ cyclische thermische test waarbij afwisselend stoom en water in het testobject worden toegelaten (deze test is zeer selectief);
- ▶ vacuümtest, eventueel bij verhoogde temperatuur;
- ▶ expositietesten;
- ▶ constant load testen in verschillende media bij verhoogde temperatuur.

7.4 Identificatie

Zoals in het begin van de publicatie is beschreven, lijken de behandelde liners uiterlijk veel op elkaar. Vooral als men er niet dagelijks mee werkt is verwisseling mogelijk. Sommigen, zoals FEP en PFA, lijken sterk op elkaar. Een verwisseling kan catastrofaal zijn. Identificatie vindt plaats door middel van onderscheid in:

- ▶ soortelijk gewicht;
- ▶ melt flow index;
- ▶ locatie op een smeltbank;
- ▶ infra rood analyse;
- ▶ thermische analyse.

7.5 Testen en proeven voor het nog niet verwerkte liner materiaal

De applicateur dient het door hem aangekochte materiaal te testen op de geleverde kwaliteit. Voor de "melt processable" liners, dus alles behalve PTFE, wordt van het maagdelijke materiaal een melt flow index genomen, eventueel een DSC proef (differential scanning calorimetrie).

PTFE wordt op standaard wijze geperst en gesinterd, daarna worden treksterkte, rek en soortelijk gewicht vastgesteld. Men kan eisen de resultaten van dergelijke testen op certificaat te ontvangen, alvorens toestemming te verlenen met de productie aan te vangen.

7.6 Testen en proeven voor het gereede product

Als het product gereed is, zal de afnemer zich ervan willen vergewissen dat de overeengekomen kwaliteit wordt geleverd. Hiertoe is een aantal functionele testen in het leven geroepen. Deze testen worden in de regel bij de afname-inspectie uitgevoerd. Afhankelijk van de afspraken worden ze op 100% van de materialen of steekproefsgewijs gedaan. Om niet met verrassingen te worden geconfronteerd, dient men altijd met de leverancier overeen te komen welke en hoeveel testen worden gedaan en wat het testniveau zal zijn. Deze afspraken dienen vast te liggen in de acceptatiecriteria. Hieronder volgen enkele testen die kunnen worden uitgevoerd bij de afname. Bij grote projecten kan het voorkomen dat de afnemer een tussentijdse inspectie wil uitvoeren.

7.7 De druktest

De druktest wordt uitgevoerd om de liner te testen. Bij lekkage is dit bij PTFE waar te nemen via de ventilatiegaten. Overheidsinstanties eisen in voorkomende gevallen dat vóór het aanbrengen van de liner een sterktepersing van de stalen drager plaatsvindt. In verband met het boren van de ontluuchtingsgaten

dient daar rekening mee te worden gehouden. Bij enkele fabrikanten perst men af met lucht onder water. Een lekkage van de liner is dan gemakkelijk vast te stellen. Het testen, zeker op hoge druk, met een gas brengt risico's met zich mee en is door sommige bedrijven strikt verboden.

De hoogte van de persdruk wordt vooraf vastgesteld en kan bijvoorbeeld $1,5 \times$ de werkdruk bedragen. De tijd die een dergelijke persing duurt kan bijvoorbeeld 4 uur bedragen.

7.8 Poriëndetectie, de hoogspannings- (spark)test en de laagspannings- of natte test

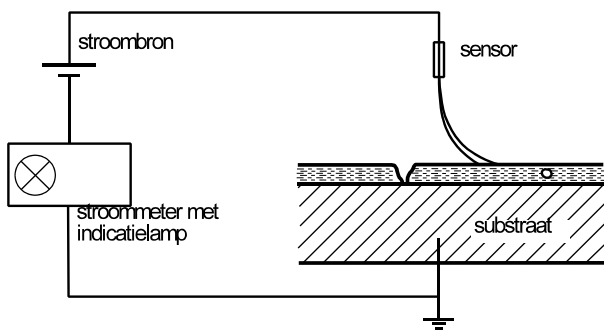
Bij alle objecten die van een bekleding zijn voorzien, wil men er zeker van zijn dat ze vrij zijn van poriën. Poriën kunnen worden gedetecteerd met een hoogspanningstestapparaat. Een hoogspanningstest doet echter meer.

Bij een hoogspanningstest kunnen, behalve poriën die dwars door de gehele bekledingdikte lopen, ook andere defecten worden opgespoord:

- zwakke plaatsen in de bekleding, zoals lokale zeer geringe wanddikten, poriën die net niet de gehele wanddikte van de liner doorlopen;
- insluitingen, zeker als ze elektrisch geleidbaar zijn.

In de inspectieprocedure, die bekend dient te zijn bij leverancier en afnemer, dient eenduidig te zijn omschreven:

- welk soort en type testapparaat zal worden gebruikt;
- welke testspanning zal worden aangelegd;
- volgens welke procedure zal worden getest (de testsnelheid is van belang). Een principeschets is afgebeeld in figuur 7.1.



figuur 7.1 Schematische voorstelling van de hoogspanningsmethode

De hoogspanningstest is een omstreden test. Sommige applicateurs beschouwen de hoogspanningstest als een destructieve test, omdat vaak blijkt dat poriën worden ontdekt die voorheen niet waarneembaar waren en ook bij de druktest niet werden gesignaleerd. Een discussiepunt vormt dan meestal de hoogte van de testspanning en/of het type testapparaat. Bij voorkeur gebruikt men dan een methode, waarbij men met een speciaal meetapparaat de vonklengthe meet. De vonklengthe moet minimaal overeenkomen met de wanddikte van de bekleding.

Bij de op deze wijze gevonden spanning moet men nog een bepaald aantal kilovolts optellen, omdat het slechts zelden voorkomt dat een eventuele porie volkomen recht door de liner loopt.

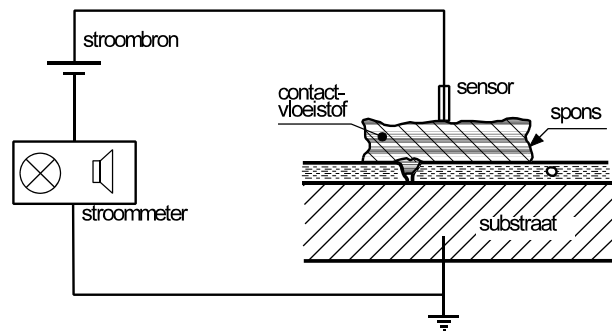
Een door verschillende fabrikanten geaccepteerde

formule luidt: $(D + 1) \times 6 = \dots$ kV testspanning, waarbij D overeenkomt met de laagdikte van de bekleding.

Er bestaan in principe twee soorten vonktestapparaten, voor wisselspanning en gelijkspanning.

Door onderzoek is komen vast te staan dat apparaten die met wisselspanning werken, een destructief effect op een bekleding zouden kunnen hebben als de spanning extreem hoog is en de spanning gedurende zeer lange tijd op een plaats wordt gehouden. In de regel worden voor liners van 3 à 4 mm dikte testspanningen gebruikt van 15 à 25 kV. Als men weet dat de doorslagspanning van de besproken kunststoffen op ca 50 kV/mm ligt is te begrijpen dat 25 kV nauwelijks in staat is echte schade aan te richten. Bovendien is men volgens het voorschrift eraan gehouden een testsnelheid aan te houden die rond 30 cm/sec ligt. De testborstel is dus slechts heel kort op één plaats.

Behalve wisselspannings- worden ook gelijkspanningsapparaten gebruikt. Deze zijn vaak zwaarder en groter dan de wisselspanningsapparaten en soms niet draagbaar, omdat ze in voorkomende gevallen afhankelijk zijn van het lichtnet. Het kan voorkomen dat applicateurs van dunne liners de zogenoemde natte test gebruiken volgens het principe van figuur 7.2.



figuur 7.2 Schematische voorstelling van de laagspanningsmethode

De spanning is slechts een fractie van de hoogspanningstest en ligt meestal onder de 50 V gelijkspanning. Omdat deze spanning te laag is om een vonkoverslag door de lucht te veroorzaken, wordt een elektrisch geleidende vloeistof gebruikt, vandaar de naam "natte test". Indien een elektrische verbinding tot stand wordt gebracht tussen de testspons via de porie naar het substraat, met als medium de geleidende vloeistof, vindt een kortsluiting plaats in een elektrisch circuit, waarin een akoestische signaalgever is opgenomen.

7.9 Thermisch (cyclisch) testen

Het kan voorkomen dat een systeem met liner zwaar wordt belast en men zeer zeker wil zijn van een langdurige storingvrije werking. In dat soort gevallen kan één of enkele buisstukken worden geselecteerd uit de partij om een thermisch cyclische test te ondergaan. Deze test wordt meestal als volgt uitgevoerd:

- ▶ 100 cycli met stoom en vervolgens koud water waarbij elke cyclus bestaat uit:
 - 165 minuten stoom van 180°C bij 10 bar druk;
 - condensaat afvoeren;
 - gedurende 14 minuten spoelen met koud water van max. 20°C.
 - spoelwater afvoeren.

en/of

- ▶ 500 cycli met stoom en koud water waarbij elke cyclus bestaat uit:
 - 3 minuten stoom 180°C/10 bar;
 - condensaat afvoeren;
 - 3 minuten koud water maximaal 20°C;
 - spoelwater afvoeren.

Vanzelfsprekend moet overeenstemming zijn met de fabrikant over dit soort testen. Voor PP wordt water met een temperatuur van 80°C gebruikt bij 5 bar. PVDF ondergaat de test met 110°C en 1,5 bar. Voor PTFE, PFA, FEP en PCTFE gelden de normale testcondities (180°C/10 bar).

Het staat de afnemer en fabrikant uiteraard vrij om in overleg met elkaar een andere procedure overeen te komen. Na de temperatuurwisseltesten vindt in ieder geval visuele inspectie plaats en doet men een poriën-test met hoogspanning.

Deze testmethode is zeer selectief en het is gebleken dat het aan de liner goed waar te nemen is dat ze de test heeft ondergaan. In de liner mogen zich geen bulten, cracks, scheuren of andere defecten hebben gevormd met uitzondering van enkele kleine blisters. De blisters mogen een afmeting van maximaal 5 mm diameter en 0,5 mm hoogte bezitten.

Behalve de stoomwisseltesten kan men ook gecombineerde druk-/temperatuurtesten laten uitvoeren met lucht. De testresultaten dienen hetzelfde te zijn als eerder omschreven. De testcondities zijn zoals in tabel 7.1 aangegeven.

tabel 7.1 Testcondities voor verschillende kunststoffen

testcondities voor:	temperatuur [°C]	inwendige druk [bar]
PP	105	6,2
PVDF	135	5,7
PCTFE	175	5,1
FEP	200	4,7
PFA	260	4,1
PTFE	260	4,1

7.10 *Vacuümtest*

Om de vacuümcondities te verifiëren die de fabrikant opgeeft, kunnen bijvoorbeeld de volgende testen worden uitgevoerd:

Men dient een keuze te maken uit de te leveren objecten. Eerder is al betoogd dat korte buizen en fittingen een grotere vacuümvastheid bezitten dan langere. De uitgekozen testbuizen moeten daarom een minimale lengte bezitten van $10 \times$ de diameter van de buis. De test wordt uitgevoerd onder de maximale condities die de leverancier garandeert. De vacuümcondities worden met 50 mbar verhoogd en deze condities worden gedurende 24 uur aangehouden. Na de test mogen geen visuele veranderingen aan de liner waarneembaar zijn, zoals bobbeling en eventueel collapse. Er bestaan op dit gebied uitgebreidere testen, doch die zijn meer geschikt voor de kwalificatie.

7.11 *Inspectie, visuele aspecten en oppervlakte defecten*

Voert men testen uit, dan dienen de testresultaten vaak visueel te worden beoordeeld. Meestal zijn de visueel waarneembare defecten omschreven als: Poriën, blisters, cracks, krassen of kerven, scheuren, insluitingen en beschadigingen.

Sommige fabrikanten geven hun product een kleur of doen roet in hun product, waardoor het zwart wordt. Dit bemoeilijkt de visuele inspectie. Toevoegingen in de vorm van pigment of roet behoeven de kwaliteit niet te beïnvloeden, zolang de toevoegingen de 0,2 gewichts% niet te boven gaan. Het behoeft geen betoog dat het visueel beoordelen van een liner een kwestie van veel ervaring is.

7.12 *Microscopie*

Sommige defecten zoals kleine cracks zijn beter te detecteren met een microscoop. Men moet altijd van tevoren overleggen welke vergroting wordt ingesteld. Een te sterke vergroting signaleert vele vermeende defecten. Men dient zich te bedenken dat men een "ruw" ongeprepareerd oppervlak bestudeert. Een vergroting van $10 \times$ is in de regel voldoende.

Bij de methode met doorvallend licht behoort de vervaardiging van een professioneel microtoom. Indien men over de hiervoor benodigde apparatuur beschikt, is dit een goede beoordelingsmethode. Men kan op deze wijze kristallisatie, oriëntatie, pigmentverdeling en eventuele defecten waarnemen.

7.13 *Verlangde linerdikten en meetmethoden*

De linerdikten verschillen per leverancier. De meeste leveranciers kunnen de bekleding uitvoeren in meerdere dikten. Bijvoorbeeld een dikke bekleding voor vacuüm gebruik of voor zogenoemde heavy duty en een dunnere bekleding voor gebruik onder druk of milde service. Bij de specificatie dient de vereiste minimum linerdikte te zijn vermeld. De linerdikte is bij de flensbekleding te meten met een schuifmaat. De flensbekleding kan dunner zijn dan de nominale buisbekleding. Dit is het geval wanneer de flensbekleding is aangebracht door warme vervorming (flaren), zoals eerder omschreven. De flensbekleding mag, tenzij anders vermeld, nooit dunner zijn dan $0,8 \times$ de nominale bekledingdikte. De bekledingdikte voor liners uit extrudaat zoals PTFE, FEP, PFA en PP (de zogenoemde ingetrokken liners) beginnen bij ca. 1,5 mm voor een buisdiameter van 25 mm, tot 7,5 mm en meer voor grote diameters en vacuümvaste bekledingen. Gelijkde systemen zowel als poedertechnieken en de dispersie typen zijn vaak dunner.

In voorkomende gevallen kan inwendig de laagdikte worden gemeten met een laagdiktemeter. Dit kan een instrument zijn dat volgens het principe van het magnetisme werkt, doch er zijn ook wervelstroom- en ultrasone apparaten in de handel. Bij het meten met een dergelijk instrument dient altijd te worden geijkt met een monster van de bekleding op een stalen ondergrond. De dikte van het ijkmonster moet ongeveer gelijk zijn aan de te meten bekledingdikte.

7.14 *Afmetingen van flensbekledingen*

Om een goede afdichting te verzekeren, is een pakkingdruk nodig. Indien de bekleding van de flenzen te klein is, verkrijgt men bij gegeven boutspanning een te grote pakkingdruk. Dit zal (vooral bij PTFE) leiden tot koude vloeï en vervorming van de bekleding van het pakkingvlak. De boutspanning loopt hierdoor terug, hetgeen ondichtheid van de flensverbinding tot gevolg kan hebben. In tabel 7.2 wordt een voorbeeld voor minimum flarediameters gegeven.

tabel 7.2 Minimale flarediameter voor diverse buisdiameters

buisdiameter		minimum flarediameter [mm]
inch	mm	
1	25	47,6
1 ½	40	68,3
2	50	87,3
3	80	117,5
4	100	150,8
6	150	201,0
8	200	255,6
10	250	311,2
12	300	365,1
14	350	423,5
16	400	470,0
18	450	!

7.15 *Bescherming ter voorkoming van transport- en opslagschade*

Kunststoffen en dus ook liners zijn kwetsbaarder dan het stalen omhulsel. Teneinde schade te voorkomen, dienen beklede objecten op die plaatsen waar beschadiging mogelijk is, in de praktijk zullen dit meestal de flensvlakken zijn, van deugdelijke beschermplaten te zijn voorzien.

De beschermplaten, bij voorkeur van massief hout of multiplex, dienen strak tegen de bekleding te zijn gemonteerd en ongeveer de afmeting te hebben van een blindflens met dezelfde diameter als de beklede flens.

Wanneer de platen moeten worden verwijderd, voor bijvoorbeeld inspectie, dienen ze daarna onmiddellijk weer te worden gemonteerd.

Elke buis, fitting of anderzijds dient bij voorkeur te zijn voorzien van een identificatielabel met daarop vermeld:

- ▶ naam van de fabrikant/leverancier;
- ▶ type bekleding;
- ▶ afmeting en lengte;
- ▶ aanhaalmoment voor de bouten;
- ▶ maximum/minimum druk;
- ▶ maximum temperatuur.

Hoofdstuk 8

Installatie en verwerking

8.1 Montage-aspecten

Omdat installaties welke zijn voorzien van een liner vrijwel altijd bovengronds worden gebruikt, kunnen ze worden gemonteerd op de wijze waarop onbeklede installaties worden gemonteerd. Dat wil zeggen met inachtneming van de vereiste ondersteuning en expansiemogelijkheden. De montage dient met zorg plaats te vinden, zodat geen schade wordt toegebracht aan de beklede flensvlakken. Als een beklede buis moet worden gemonteerd tussen twee reeds beklede objecten, zoals voorkomt bij paslengten, dan dienen ter voorkoming van beschadiging ca. 1 mm dikke stalen geleideplaten te worden gebruikt. De geleideplaten moeten aan beide zijden een glad oppervlak bezitten. Flensvlakken moeten vóór installatie worden schoongemaakt. De beschermplaten voor de flenzen dienen pas op het laatste moment voor montage te worden verwijderd.

8.2 Aanhaalmomenten

Omdat alle behandelde typen liners een zekere mate van koude vloeï bezitten, dient men ervoor te waken dat dit zich meteen al voordoet bij het vastdraaien van de boutverbindingen. Om zeker te zijn is het aan te bevelen de boutspanning na 24 uur te controleren. Alle gerenommeerde fabrikanten publiceren in hun handleiding of prospectus een lijst met aanhaalmomenten voor de flensverbindingen. Indien deze niet voorhanden is, dient men een dergelijke lijst bij de fabrikant op te vragen. Een dergelijke lijst kan niet in deze publicatie worden opgenomen, omdat de aanhaalmomenten van fabrikant tot fabrikant verschillen. Dit is het gevolg van: Type liner, linerdikte en fabricagemethode.

8.3 'Hot Bolting'

Hot bolting betekent: Warm natrekken. Sommige fabrikanten schrijven dit voor. Meestal gebeurt Hot Bolting slechts bij grotere objecten, zoals vaten en kolommen na 24 uur gebruiksperiode. Men dient zich strikt te houden aan de voorgeschreven aanhaalmomenten en de daarbij behorende temperatuur. De fabrikant of leverancier dient hiervoor de benodigde gegevens te verschaffen.

8.4 Het gebruik van pakkingmaterialen

Ook hier dient men de voorschriften van de diverse fabrikanten op te volgen. Bij het gebruik van bijvoorbeeld PTFE is het de gewoonte dat bij éérste montage geen pakkingen worden gebruikt. Het PTFE vervormt zich zodanig dat het als het ware zijn eigen pakkingmateriaal vormt. Pas bij een eventuele tweede montage, wanneer de pakkingvlakken zich enigszins hebben vervormd, wordt een pakking gebruikt. Vaak is dit een PTFE enveloppakking. Wordt het ene linertype tegen het andere linertype gemonteerd (om een voorbeeld te noemen wat vaak voorkomt: PTFE tegen PFA of PTFE tegen Email), dan dient bij de pakkingkeuze te worden uitgegaan van het materiaal met de laagste

E-modulus. In dergelijke gevallen geldt ook: Raadpleeg de fabrikant.

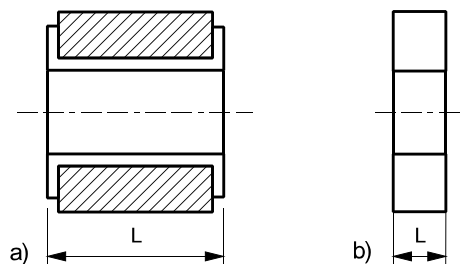
8.5 Field-Flaring en Passtukken ('spacers')

"Flaren" is, zoals reeds besproken, het bekleden van een flensvlak. Dit vindt plaats door het onder toevoeging van warmte omzetten van een stuk liner dat buiten de flens steekt. Het verdient de voorkeur zoveel mogelijk fabrieksmatig beklede flenzen te installeren. De omstandigheden in een fabriek zijn gecontroleerd en beter dan in het veld. Het kan echter voorkomen dat door omstandigheden field-flaring niet te vermijden is. Field-flaring dient zich te beperken tot beklede buizen. Het komt in de regel voor bij passtukken. Dit zijn buisstukken die pas in het laatste stadium van de montage (kunnen) worden gemeten.

De werkwijze is als volgt:

Na nauwkeurige lengtebepaling van het (laatste) buisdeel, wordt het staal vervaardigd inclusief beide flenzen. Hierin wordt ter plaatse een liner gebracht. Bij beide flenzen laat men een stuk liner uitsteken. De lengte van het uitstekende deel moet overeenkomen met de pakkingvlakdiameter. Onder toevoeging van warmte en met speciale apparatuur wordt vervolgens het pakkingvlak omgezet. Om dit te kunnen doen is de nodige kennis en ervaring vereist. Meestal zal een monteur van de fabrikant een dergelijk karwei voor zijn rekening nemen. Sommige fabrikanten verzorgen een opleiding.

In een enkele situatie kan het voorkomen dat de paslengte zo kort wordt, dat het niet meer mogelijk is deze als pijp met twee flenzen uit te voeren. In dat geval kan men zogenaamde Spacers of passtukken toepassen. Ze zijn in tal van inbouwmaten te verkrijgen. Voorbeelden zijn te zien in figuur 8.1. Zo'n passtuk wordt gemonteerd tussen twee flenzen en men dient bouten van voldoende lengte te gebruiken. Dat dit geen ideale situatie betreft laat zich raden. Vooral als men het zich met het inmeten van een installatie gemakkelijk heeft gemaakt en het object veel passtukken herbergt.



figuur 8.1 Passtukken: a) metaal met kunststof bekleding; b) massief kunststof

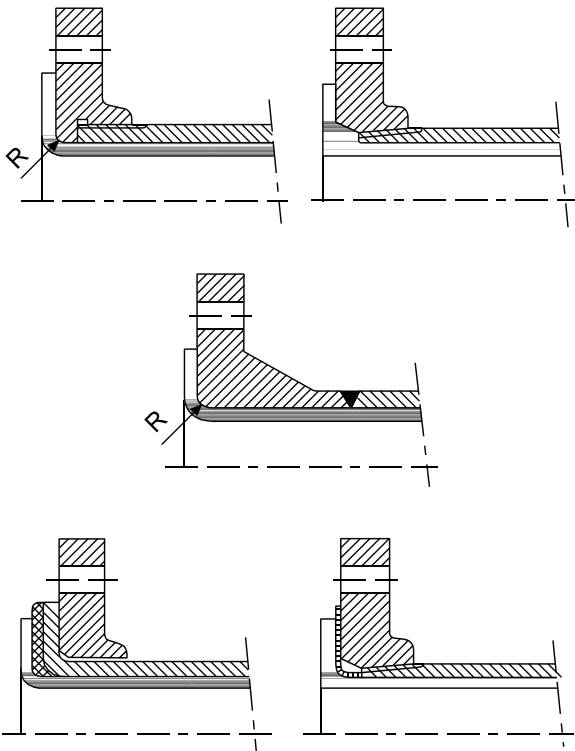
Passtukken worden normaal uitgevoerd met een metalen body en kunststof bekleding (zie figuur 8.1a). Een andere nog minder aan te bevelen situatie is wanneer men de passtukken vervaardigt uit massief kunststof (zie figuur 8.1b). Doordat een massief kunststof passtuk een relatief groot volume bezit, neemt het gevaar van vloeï ook toe. Om vloeï te voorkomen wordt zo'n massief stuk kunststof dan van een vulstof voorzien.

Doch niet alle vulstoffen bezitten dezelfde resistentie als de kunststof, een gezond wantrouwen is dus op

z'n plaats. Aanbevolen wordt passtukken waar mogelijk te vermijden en zeer voorzichtig te zijn met massieve kunststof passtukken. De dikte van een spacer zou niet meer dan 50 mm mogen bedragen.

8.6 Mogelijke flensconstructies

In figuur 8.2 wordt een aantal flensconstructies weergegeven dat in de praktijk het meest voorkomt.



figuur 8.2 Voorbeelden van flensconstructies

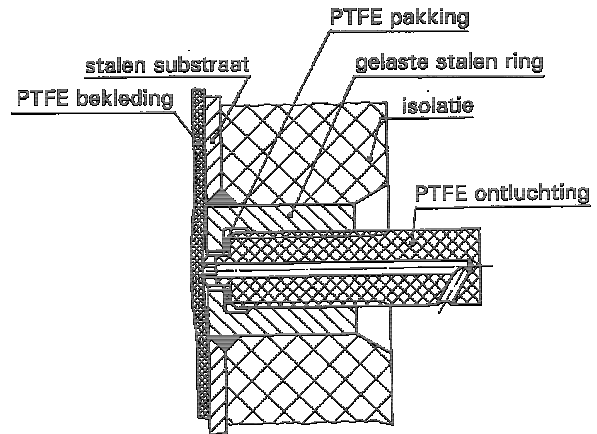
8.7 Speciale aandacht voor ontluchtingssystemen

PTFE is permeabel, dit is uitvoerig aan de orde geweest. De gassen die door het PTFE zijn gekomen, moet een weg naar de atmosfeer worden geboden. Indien dit niet gebeurt, dan zouden ze zich kunnen ophopen tussen de liner en het substraat. Het meest worden de zogenaamde ontluchtingsgaatjes met een diameter van 2 à 3 mm toegepast, 2 gaatjes per buislengte elk in de buurt van een flens 180° ten opzichte van elkaar of aan dezelfde zijde en dan beide gaatjes aan de onderzijde gemonteerd.

Bij zeer korte buizen, fittingen of appendages kan men met één ontluchtingsgaatje volstaan. Bij grote objecten, zoals kolomdelen, zijn meerdere of grotere ontluchtingsgaatjes noodzakelijk. Bij grotere ontluchtingsgaten dienen voorzorgsmaatregelen te worden genomen om te voorkomen dat de PTFE-bekleding de opening afsluit. Men voorziet daarom het ontluchtingsgat van een nippel die de bekleding een weinig van het staal af drukt (zie figuur 8.3). Opgemerkt wordt dat de nippel zodanig is geplaatst dat geen vuil of (hemel)water in de opening kan dringen. Er bestaan systemen waarbij de gepermeerde gassen worden afgezogen door een vacuüminstallatie, de afgezogen gassen kunnen dan worden geneutraliseerd. Een bijkomend voordeel is dat de verblijftijd van het permeaat tussen de bekleding en het substraat zo

kort mogelijk is. Bovendien wordt zoals eerder besproken, de vacuümvastheid van de bekleding op deze manier verbeterd.

Het komt voor dat ontluchtingsgaatjes eenvoudig worden geboord vóórdat de liner in de pijp wordt gebracht. Bij het boren ontstaat meestal een braam. Deze zou de liner bij het inbrengen kunnen beschadigen. Men dient attent te zijn op het afbramen. Het is beter om de gaatjes te frezen.



figuur 8.3 Ontluchtingmogelijkheid voor grote objecten

Tot nog toe is uitsluitend gesproken over ontluchtingsgaatjes bij PTFE. Bij de andere besproken liners is vanwege de lage permeatieratio het aanbrengen van ontluchtingsgaatjes niet noodzakelijk.

Toch komt men ze tegen, vooral bij appendages en fittingen die gespuits zijn. Dit zijn ontluchtingsgaatjes die nodig zijn bij het spuitgietproces en niet noodzakelijk voor ontluchting van permeaat.

Bij het onderhoud van leidingen waarin zich ontluchtingsgaatjes bevinden, komt het voor dat ontluchtingsgaatjes verstopt raken doordat ze bijvoorbeeld worden "dichtgeschilderd". Het permeaat kan zich in zo'n geval ophopen tussen liner en staal en daar een bepaalde druk opbouwen. Wordt de bedrijfsdruk lager dan die tussen liner en staal, hetgeen het geval kan zijn bij een fabrieksstop, dan bestaat er gevaar dat de liner inklappt. In de praktijk zijn dit soort voorvallen meer dan eens voorgekomen.

8.8 Isolatie

Mede om procestechnische reden kan het noodzakelijk zijn om een leiding of object uitwendig te isoleren. Isolatie werkt in het algemeen gunstig op het tegengaan van permeatie en de vorming van blisters. Men dient echter voorzieningen te treffen in verband met de ontluchtingsgaatjes. Doet men dit niet, dan kan het permeaat zich verzamelen in de isolatie. Dit kan corrosie veroorzaken en indien het permeaat vochtig is, de isolatiewaarde doen verminderen, omdat de isolatie nat wordt. Bovendien kan de isolatie de ontluchtingsgaatjes verstoppen.

Om dit te vermijden zijn systemen ontwikkeld om het permeaat buiten de isolatie te laten ontsnappen, bijvoorbeeld door de ontluchtingsgaatjes te verlengen met een pijpje dat buiten de isolatie steekt. In dit geval dienen de pijpjes aan de onderzijde van een object uit te komen, zodat er geen vuil of water in kan komen. In voorkomende gevallen worden de ontluch-

tingsgaatjes opgeboord en van schroefdraad voorzien, zodat daarop "instrumenttubing" kan worden aangesloten. De mogelijkheid bestaat dan om het permeaat centraal op te zamelen. Een bijkomend voordeel is dat de isolatie niet hoeft te worden onderbroken voor ontluuchtingspijpijjes. Op een dergelijk systeem wordt dan in de regel een vacuüm onderhouden, waarvan de voordelen reeds uitgebreid aan de orde zijn geweest.

8.9 Demontage

Demontage mag pas plaatsvinden als het te demonteerende onderdeel voldoende is afgekoeld. Het beste is bij kamertemperatuur. Indien dit onmogelijk is, dient een maximum van 30°C te worden aangehouden. Bij demontage van objecten voorzien van een liner, dient altijd direct na de montage het flensvlak te worden afgedekt door een voldoende stevige afdekplaat en vastgezet met voldoende bouten. Deze plaat voorkomt beschadiging en eventuele vervorming van het flensvlak als gevolg van het kunststofgeheugen. Tevens kan nu geen vuil in het leidingdeel of tussen liner en staal dringen.

Bij grotere objecten, zoals vaten en kolommen, kan het voorkomen dat de liner door het eigen gewicht zal vervormen. Hiermee dient bij eventuele opslag rekening te worden gehouden. Inwendige stalen spanningen worden door fabrikanten in dergelijke gevallen voorgeschreven. De spanningen mogen dan pas vlak voor de montage weer worden verwijderd.

8.10 Appendages en compensatoren

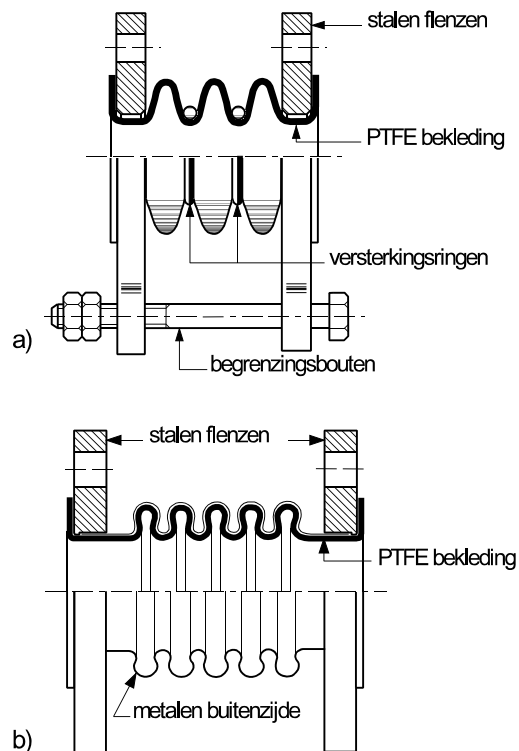
Beklede systemen bevatten in de regel afsluiterorganen, kijkglazen en andere apparatuur om de procesgang te reguleren. Deze appendages kunnen eveneens beklede onderdelen bevatten. De technieken waarmee de bekleding in appendages wordt aangebracht is identiek aan het reeds besprokene. Een ander geval betreft de compensatoren. In figuur 8.4 worden enkele voorbeelden gegeven. Compensatoren kunnen worden onderscheiden in uit PTFE:

- mechanisch bewerkt stafmateriaal;
- tape gewikkeld;
- pasta-extrusie geblazen;
- ramextrusie geblazen;
- isostatisch geperst.

Compensatoren kunnen ook zijn gemaakt van één van de andere thermoplasten en zijn dan meestal op thermoplastische wijze vervaardigd. Compensatoren kunnen in- of uitwendig zijn voorzien van steuningen en kappen, of uitwendig geheel zijn omgeven door een metalen mantel (zie figuur 8.4).

Voor de materiaalkeuze bij compensatoren dient men zich te bedenken dat het geen echte liners zijn. Het substraat is meestal voor een groot deel afwezig. Met allerlei aspecten zoals sterkte, druk, resistentie, flex-life en dergelijke dient nog meer rekening te worden gehouden. Compensatoren worden immers gebruikt om thermische expansie van systemen te compenseren, ze moeten dus ook nog kunnen bewegen. Onnodig aan te raden veel aandacht te besteden aan de materiaalkeuze en selectiecriteria.

Men dient er op toe te zien dat compensatoren niet worden misbruikt om "mis-alignement" op te vangen. Bij de montage dienen de montagevoorschriften en gebruikslimieten nauwkeurig in acht te worden genomen.



figuur 8.4 Voorbeeld van compensatoren: a) met uitsluitend kunststof; b) metaal met kunststof bekleding

8.11 Inspectiecriteria, defecten en restlevensduurverwachting na gebruikperiode

Nadat een object bepaalde tijd in gebruik is geweest, kan het bij gelegenheid voor een inspectie in aanmerking komen. Vooral bij zware chemische en/of thermische belasting is het aan te bevelen met regelmaat inspecties uit te voeren. Het is vanaf deze plaats onmogelijk een toe te passen inspectietermijn aan te geven, doch bij belastingen zoals voornoemd is een (half)jaarlijkse termijn aan te bevelen. Dit geldt temeer bij wisselende temperatuurbelasting.

Bij lichtere belasting kan de inspectietermijn worden verlengd. Ervaring opgedaan bij soortgelijke situaties kunnen een richtlijn zijn. In geval van twijfel kan de fabrikant worden geconsulteerd. Het is in ieder geval raadzaam vóór ingebruikname een inspectietermijn vast te stellen en vanaf nieuwe installatie de conditie van de liner duidelijk in de rapportage vast te leggen.

Een inspectie na de gebruikperiode geeft in de meeste gevallen een liner te zien die visueel afwijkt van de nieuwe situatie. Kleurafwijkingen, lichte vervorming, blistering en dergelijke komen voor, doch behoeven niet alarmerend te zijn. Bij inspecties dient de bekleding van het object zo schoon mogelijk te zijn. Men dient er op toe te zien dat geen schoonmaakmiddelen of werktuigen worden gebruikt die de liner kunnen aantasten. Voorbeelden van schade bij het reinigen toegebracht door hoge druk spuitapparatuur zijn legio.

Kleurafwijkingen

De voornaamste oorzaken zijn: Verandering van kristalliniteit en permeatie. De verandering in kristalliniteit komt voor bij alle behandelde kunststoffen en is visueel waarneembaar bij de soorten die geheel of gedeeltelijk doorzichtig zijn. In de regel neemt de doorzich-

tigheid af, doordat de kristalliniteit is toegenomen. De liner is melkachtiger of witter geworden. De toename van de kristalliniteit is geen reden tot afkeur of bezorgdheid.

In zeldzame gevallen is de kristalliniteit afgenomen en de liner transparanter geworden. Dit is het gevolg van zeer snelle afkoeling. De amorfe toestand die optreedt bij een bepaalde temperatuur wordt dan als het ware "ingevroren". In dergelijke gevallen dient aandacht te worden besteed aan de temperatuurbelasting van het object.

Kleurafwijkingen ontstaan door permeatie. Uit de praktijk is gebleken dat een gamma aan kleuren mogelijk is. Permeatie behoeft geen reden voor afkeur te zijn. Voor PTFE is permeatie een normale zaak. De eventueel daarmee gepaard gaande verkleuring vormt eveneens geen probleem. Pas wanneer permeatie overgaat in aantasting, verdient het de nodige aandacht. De aantasting manifesteert zich in de vorm van: zwelling en/of verweking, krimpen en/of verharding, scheuren en microscheuren of cracks en desintegratie.

Sterke zwelling en verweking zijn een reden tot onmiddellijke afkeur. Men dient zwelling niet te verwarren met thermische uitzetting. Krimp en verharding zullen in veel gevallen eveneens tot afkeur leiden. Bij zwelling en krimp dient men zich ervan te vergewissen of de resistentie van de liner voldoende is.

Scheuren vormen reden tot afkeur, liners met microscheuren en cracks kunnen nog enige levensduur bezitten. Door de inspectiefrequentie te verhogen, kan storingvrije operatie zeker worden gesteld.

Desintegratie, dus echte aantasting, noopt tot afkeur en is een kwestie van onvoldoende resistentie. Alle fenomenen zijn door een geoefend oog duidelijk waarneembaar. Bij het ontdekken van cracks of in het beginstadium "crazing" is een vergrootglas met maximaal 10× vergroting handig. Bij geval van twijfel of als men met cracks te doen heeft, kan men, indien mogelijk, met een schuurpapier een heel dun toplaagje van het oppervlak wegschuren. Op die manier is te constateren of de cracks inderdaad in het oppervlak doorlopen.

Deze handeling vergt een grote voorzichtigheid. Het komt voor dat gepermeëerde stoffen zich ophopen in de liner en daar een polymerisatieproces aangaan, een bekend voorbeeld is PTFE in styreenservice. Het gevolg is dat het volume van de liner sterk toeneemt en zowel in- als extern scheuren ontstaan. Blisters zijn het gevolg van permeatie. Blisters vormen in de regel geen probleem voor het blijven functioneren van de liner, ze beperken zich meestal tot enkele tienden van millimeters van het geëxposeerde oppervlak van de liner.

Over de te verwachten restlevensduur van een liner valt het volgende te zeggen: Zolang het oppervlak niet is aangedaan, dus bij lichte vervorming, verkleuring en blistering, is geen verkorting van de inspectie-termijn noodzakelijk. Bij (micro)cracks, verharding, krimp en lichte aantasting is een controle van teruggang van de conditie van de liner door extra inspecties nodig. Het is zaak steeds de conditie van de liner goed te rapporteren, eventueel geïllustreerd met foto's. De restlevensduur is afhankelijk van de snelheid waarmee de linerconditie afneemt. Het komt voor dat een vorm van aantasting zich als het ware stabiliseert en

niet verder gaat dan het oppervlak. Het aangetaste laagje vormt dan een barrière tegen verdere aantasting. Wordt een sterke permeatie waargenomen, dan is controle van het substraat aan te bevelen. Het permeaat kan aantasting van het substraat veroorzaken.

8.12 *Stootbelasting en het hanteren van gereedschappen*

Liners met een hechting aan het substraatoppervlak, zoals bij PVDF en PCTFE die zijn opgebracht als poedercoating, zijn gevoelig voor stootbelasting van het substraat. Dit is des te meer het geval wanneer door de stootbelasting vervorming van het substraat ontstaat. Dit geeft aanleiding tot lokale onthechting. Beklede flensvlakken zijn gevoelig voor beschadiging. Het is daarom zaak de flensbescherming pas op het laatste moment, vlak vóór de montage, te verwijderen. Het is voorgekomen dat, bij het niet passen van een in te bouwen leidingdeel, men het trachtte in te korten door de flensbekleding af te vijlen. Een dergelijke handelwijze dient tot onmiddellijke afkeur te leiden. Bij monteurs die kunststoffen monteren, dient het bekend te zijn dat altijd een momentsleutel moet worden gebruikt, zij dienen op de hoogte te zijn met de juiste aanhaalmomenten.

Bij eventuele "Field-Flaring" dient het originele gereedschap van de desbetreffende linerfabrikant te worden gebruikt. Gereedschap van eigen makelij of van een andere fabrikant leidt veelal tot schade.

Indien eigen inspectiegereedschap wordt gebruikt, dan dienen merk en type overeen te komen met de apparatuur die de linerfabrikant zelf gebruikt of óók toestaat. Het gebruik van, voor de linerfabrikant, onbekend inspectiegereedschap kan ingeval van afkeur tot vruchteloze discussies leiden.

8.13 *Onderhoud en reparatie*

Ontluchttingsgaatjes moeten vrij worden gehouden van vuil, verf en vloeistoffen. Indien ontluchttingsgaatjes zijn verstopt, mogen ze slechts met zeer grote zorg en met vermindering van scherp gereedschap weer worden geopend. Het is aan te bevelen met regelmatige intervallen de boutspanning van beklede objecten met een momentsleutel te controleren. Bij het reinigen moet het gebruik van stoom, hoge druk en chemische reinigingsmiddelen worden vermeden.

In de regel belet de te kleine diameter van buizen de reparatie ervan. Bij schade aan buisbekledingen is het daarom raadzaam ze door de fabrikant te laten herbekleden. Bij grotere objecten, of op beter bereikbare plaatsen, kan uitsluitend door de linerfabrikant in voorkomende gevallen reparatie plaatsvinden. De fabrikant dient voor de reparatie een garantie of zekere waarborg af te geven. Een reparatie waarvan de kwaliteit onzeker is, blijkt meestal een korte levensduur beschoren te zijn.

Zoals bekend is het lassen van PTFE een moeilijke zaak. Vooral PTFE dat al in bedrijf is geweest, is slechts met de grootste moeite enigermate lasbaar. De kwaliteit van de lassen kan dan discutabel zijn.

8.14 *Het fenomeen blistering*

Blisters kunnen in alle behandelde liners voorkomen. Blisters ontstaan doordat gepermeëerde gassen of

vloeistoffen zich in de liner opzamelen en daardoor aan de productzijde van de liner kleine of grotere bulten te zien geven. De bulten kunnen een afwijkende kleur bezitten. De drijvende kracht achter de vorming van blisters is de temperatuurgradiënt. Hoe groter de gradiënt hoe groter het gevaar voor de vorming van blisters. Voorkomen van blisters is dus mogelijk door goede isolatie. Toch blijkt uit de praktijk dat de meeste blisters ongevaarlijk zijn en de levensduur van de liner nauwelijks verkorten. Blisters beperken zich in de regel tot vlak onder het geëxposeerde oppervlak van de liner en zolang de ontstane bulten geen belemmering vormen voor het functioneren van de liner, zijn zij geen bezwaar. Het komt voor dat wanneer een blister wordt geopend, zich hierin weer een blister bevindt. Ook dit hoeft niet tot afkeur te leiden.

8.15 *Handling en (tussentijdse) opslag*

Bescherming van flensvlakken en andere verpakking moet zo lang mogelijk intact c.q. gemonteerd blijven. Na een inspectie moeten alle beschermingsmiddelen weer met spoed worden aangebracht. Handling en transport dient met de nodige omzichtigheid plaats te vinden. Bij opslag dient ieder object te zijn voorzien van een identificatielabel.

Op dit label moet zijn vermeld: fabrikant, type liner, diameter, lengte, aanbevolen boutspanning, maximum temperatuur en maximum c.q. minimum toelaatbare druk.

De opgeslagen objecten mogen geen schade ondergaan van de opslag. Te denken valt aan: Chemisch agressieve of vochtige omgeving, te warme omgeving (denk aan warme leidingen, bijvoorbeeld stoomverwarming!).

8.16 *Reinigingsprocedures*

Reeds aan de orde is geweest het hoge druk reinigen. Dit is uit den boze voor liners. Bij het gebruik van reinigingsmiddelen dient de resistentie van de liner in acht te worden genomen. Het gebruik van "Steam-Cleaning" wordt ten sterkste ontraden.

Mechanisch reinigen kan plaatsvinden indien geen schade wordt toegebracht aan het oppervlak van de liner, het gebruik van zachte borstels wordt aanbevolen.

8.17 *Hernieuwde montage*

Na demontage en eventuele inspectie is hernieuwde montage aan de orde. De flensbescherming wordt pas vlak voor de montage verwijderd.

Aandacht dient te worden besteed aan de tegen elkaar te monteren flensvlakken. In veel gevallen is in het flensvlak een indrukking ontstaan van de voorgaande montage als gevolg van vloeï. Vooral bij PTFE is dit vaak duidelijk te constateren. Bij hernieuwde montage is daarom het gebruik van een pakking, in tegenstelling tot éérste montage, onontbeerlijk. Laat het type en soort pakking adviseren door de linerfabrikant. Ook bij hernieuwde montage moet de moment-sleutel worden gebruikt. Na de montage, vóór ingebruikname, is een dichtheidstest van het systeem aan te bevelen.

8.18 *Aandachtspunten met betrekking tot grote beklede objecten*

Hier betreft het in de regel grote objecten zoals kolomdelen en vaten, vooral als ze voorzien zijn van een losse bekleding zoals pasta-extrudaat of geschilde folie. De handling van dergelijke onderdelen bij nieuwe of hernieuwde montage behoeft geen probleem te vormen, mits men de aanwijzingen van de fabrikant nauwgezet opvolgt. Het is vaak profijtelijk een vertegenwoordiger van de fabrikant bij dergelijke werkzaamheden aanwezig te laten zijn en deze persoon verantwoordelijk te stellen.

Het gebruik van flensbescherming is reeds aan de orde geweest, doch is bij deze grote delen nog meer van belang.

Daar waar spanningen zijn voorgeschreven, moeten ze, wanneer mogelijk, meteen worden gemonteerd en pas op het laatste moment vóór montage weer worden verwijderd. Bij de inspectie van met folie beklede delen verdienen de lassen extra aandacht, vooral de lassen die zich in of bij de flensvlakken bevinden. Sterke vervorming van de lassen op die lokaties is funest. Blistervorming preferent op de lassen, kan op slechte laskwaliteit duiden en leidt in voorkomende gevallen tot poriën.

Bij grote delen is een gedeeltelijke inspectie van de conditie van het substraat wellicht mogelijk. Dit geeft een indruk van de mate van permeatie.

Hoofdstuk 9

Herverwerking van materialen

9.1 Aspecten ten aanzien van de kwaliteit

Ten aanzien van milieu-aspecten is herverwerking ten eerste aan te bevelen. Alle behandelde materialen komen in aanmerking voor herverwerking. De "echte" thermoplasten kunnen eenvoudig worden omgesmolten.

PTFE echter niet. PTFE wordt in de regel verpoederd en opnieuw geperst en gesinterd. Voorwaarde voor alle te herverwerken materialen is, dat ze schoon zijn. Materialen voorzien van vulstoffen komen dus niet voor herverwerking in aanmerking. De kwaliteit van herverwerkte materialen kan hoog zijn, maar in de regel echter niet zo hoog als maagdelijk materialen. Herverwerkte materialen zijn nuttig en hebben een ruim toepassingsgebied. Gewaakt dient echter te worden voor malversaties. Herverwerkte materialen mogen slechts als liner worden ingezet, als er geen chemische en/of temperatuurbelasting plaatsvindt. De afnemer dient door de fabrikant op de hoogte te worden gesteld bij het gebruik van herverwerkte materialen.

9.2 Toepassingsvoorbeelden

Herverwerkte materialen kunnen toepassing vinden in het veld van profielen en mechanisch bewerkte artikelen. Kunststoflagers en glijplaten e.d., met of zonder toevoegingen aan de kunststof, kunnen goed worden vervaardigd uit herverwerkte materialen. Daar waar het gaat om een glad oppervlak, weinig aanhechting en een lage wrijvingscoëfficiënt kan het goed worden gebruikt.

Hoofdstuk 10

Veiligheid en milieu

10.1 Algemeen

Als fluorpolymeren aan hoge temperatuur worden blootgesteld, bestaat er kans op ontleding. Bij deze ontleding komt fluor vrij. Fluor is zeer schadelijk voor de gezondheid, inademing van relatief geringe hoeveelheden doet mensen onwel worden tot bewusteloosheid toe. De lichaamstemperatuur loopt op. Een bijnaam voor deze vorm van onwel worden, wordt dan ook wel de "Teflon-koorts" genoemd.

Bij het mechanisch bewerken van fluorpolymeren is het daarom zaak de aanzet van het verspanend gereedschap zodanig in te stellen dat het betrokken fluorpolymeer niet oververhit raakt. Het roken in een omgeving waar met fluorpolymeren wordt gewerkt, moet ten sterkste worden afgeraden. Het is voorgekomen dat PTFE poeder dat zich zwevend in de lucht bevond via de brandende sigaret werd verbrand en vervolgens geïnhaleerd.

Een ander voorbeeld betreft iemand die een sigaret rolde van shag en daarbij waarschijnlijk via zijn handen fluorhoudend stof in zijn sigaret rolde.

Alle fluorpolymeren zijn in grotere mate milieubelastend dan de conventionele thermoplasten. PP bijvoorbeeld laat zich zonder probleem verbranden met als verbrandingsproduct CO₂. Bij de verbranding van fluorpolymeren komen behalve CO₂ ook fluor en fluorwaterstof vrij. Fluorpolymeren zijn ook niet vergankelijk, derhalve is herverwerking de beste oplossing voor het milieu.

10.2 Publicaties voor het verwerken van fluorpolymeren

Diverse grondstoffabrikanten hebben voorschriften opgesteld voor de verwerking van de door hen geleverde fluorpolymeren. Bijvoorbeeld de uitgave van DUPONT onder de titel: "Teflon® PTFE, FEP en PFA fluorpolymeren. Veiligheid bij verwerking en gebruik". Het is aan te bevelen de inhoud van dergelijke voorschriften terdege tot zich te nemen alvorens met de bewerking van de betreffende kunststof te beginnen. In de voorschriften wordt in ruime mate aandacht geschonken aan de veiligheid.

Merkmamen en fabrikantsnamen

PP

Carlona P	Shell
Daplen	PCD Linz
Eltex P	Solvay
Hostalen PP	Hoechst
Moplen	Himont
Napryl	Elf Atochem
Novolen	Basf
Popathene	ICI
Stamylan P	DSM
Trovidur PP	Hüls
Vestolen P	Hüls

PVDF

Dyflor	3M Company
Foraflon	Elf Atochem
Kynar	Elf Atochem/Pennwalt
KF	Kureha
Solef	Solvay
Vidar	Südd, Kalkstickstoff

FEP

Teflon FEP	Du Pont
Neoflon	Daikin Kogyo

PTFE

Algoflon	Montedison
Fluon	ICI
Ftoron	Niitechim
Halon	Allied Chemicals
Hostaflon	Hoechst
Polyflon	Daikin Kogyo
Soreflon	Ugine-Kuhlmann
Teflon PTFE	Du Pont

PCTFE

KEL-F	3M Company
Plaskon CTFE	Allied Chemicals
Daiflon	Daikin Kogyo
Voltalef	Ugine-Kuhlmann
Fluoroplast	Niitechim

PFA

Teflon PFA	Du Pont
------------	---------

De diverse bekledingsfirma's brengen hun liners weer onder eigen merknamen op de markt. Enkele voorbeelden zijn:

Armylor	Le Carbone-Lorraine
Fluoroflex	Resistoflex
Fluorogreen	Peabody Doré
Fluoroline	BTR
Fluorosint	Polypenco
Gaflon	Plastic Omnium
Goretex	W.L. Gore

Ongetwijfeld zijn er meer namen te noemen. De lijst is een momentopname en aan verandering onderhevig. Temeer zaak geen merken te noemen maar om misverstanden en verwarring te voorkomen altijd de chemische naam te gebruiken.

Resistentielijst

PP	PCTFE	PTFE	FEP	PVDF	PFA		PP	PCTFE	PTFE	FEP	PVDF	PFA	
ANORGANISCHE ZUREN							ZOUTEN						
0	2	2	2	2	2	Aqua regia	2	1	1	1	1	1	Aluminium chloride
0	1	1	1	2	1	Chloorsulfonzuur	2	1	1	1	1	1	Ammonium chloride
2	1	1	1	1	1	Zoutzuur 35%	2	1	2	2	1	2	Ammonium fluoride 25%
2	1	1	1	1	1	Zoutzuur 20%	2	1	1	1	1	1	Ammonium nitraat
2	1	1	1	1	1	Zoutzuur 10%	2	1	1	1	1	1	Ammonium sulfaat
1	1	1	1	1	1	Fluorwaterstof 35%	2	1	1	1	1	1	Calcium carbonaat
1	1	1	1	1	1	Fluorwaterstof 20%	2	1	1	1	1	1	Calcium nitraat
1	1	1	1	1	1	Fluorwaterstof 10%	2	1	1	1	1	1	Calcium sulfaat
0	1	1	1	1	1	Salpeterzuur 100%	2	1	1	1	1	1	IJzer sulfaat
1	1	1	1	1	1	Salpeterzuur 65%	2	1	1	1	1	1	Kalium chromaat
2	1	1	1	1	1	Salpeterzuur 10%	2	1	1	1	0	1	Natrium (bi)carbonaat
2	2	2	1	1	1	Fosforzuur 75%	2	1	1	1	1	1	Natrium chloride
2	2	2	1	1	1	Fosforzuur 50%	2	1	1	1	1	1	Natrium sulfaat
1	1	1	1	1	1	Fosforzuur 10%	2	1	1	1	1	1	Zink sulfaat
0	2	2	1	1	1	Rokend zwavelzuur	KOOLWATERSTOFFEN						
1	2	2	1	1	1	Zwavelzuur 98%	0	1	2	1	1	1	Butadieen
1	2	2	1	1	1	Zwavelzuur 80%	2	1	1	1	1	1	Heptaan
1	2	2	1	1	1	Zwavelzuur 60%	2	1	1	1	1	1	Hexaan
1	2	2	1	1	1	Zwavelzuur 40%	2	1	1	1	1	1	Propan
1	2	2	1	1	1	Zwavelzuur 20%	AROMATEN						
ZUREN							0	2	2	1	1	1	Benzeen
1	1	1	1	1	1	Azijzuur 100%	0	2	2	1	1	1	Tolueen
1	1	1	1	1	1	Azijzuur 60%	0	2	2	1	1	1	Xyleen
2	1	1	1	1	1	Azijzuur 10%	2	2	2	1	1	1	Fenol
2	2	1	1	0	1	Azijzure anhydride	ALCOHOLEN						
2	1	1	1	1	1	Benzeen sulfonzuur 30%	0	1	1	1	1	1	Allyl alcohol
2	2	1	1	1	1	Benzeen sulfonzuur 10%	0	1	1	1	1	1	Butyl alcohol
2	2	1	1	1	1	Chloorazijzuur 20%	2	2	2	1	1	1	Ethyl alcohol
2	2	1	1	1	1	Chloorazijzuur 10%	2	2	2	1	1	1	Isopropyl alcohol
BASEN							2	2	2	1	1	1	Methyl alcohol
1	2	2	1	0	1	Ammoniak 30%	1	1	1	1	1	1	Propyl alcohol
1	2	2	1	0	1	Ammoniak 10%	2	2	2	1	1	1	Glycerol
2	2	2	1	0	1	Calciumhydroxide 50%	2	2	2	1	1	1	Glycol
2	2	2	1	0	1	Calciumhydroxide 10%	1	2	2	1	1	1	Cyclohexanol
2	2	2	1	0	1	Natronloog 70%	ETHERS - ALDEHYDEN - KETONEN						
2	2	2	1	0	1	Natronloog 30%	0	1	1	1	0	1	Acetaldehyde
2	2	2	1	0	1	Natronloog 10%	1	2	1	1	1	1	Formaldehyde
2	2	2	1	0	1	Kaliloog 50%	2	2	2	1	2	1	Aceton
2	2	2	1	0	1	Kaliloog 10%	2	2	2	1	0	1	Methyl ethyl keton
VLOEISTOFFEN/GASSEN							0	2	2	1	1	1	Methyl isobutyl keton
2	2	2	1	1	1	Ammonia	1	2	2	1	1	1	Cyclohexanon
2	1	1	1	0	1	Ammonia-water	ESTERS						
0	1	1	1	1	1	Broom	0	0	1	1	1	1	Amyl acetaat
0	1	1	1	1	1	Broom-water	0	0	1	1	1	1	Butyl acetaat
2	1	1	1	1	1	Kooldioxide	0	0	1	1	0	1	Ethyl acetaat
2	1	1	1	1	1	Koolmonoxide	1	2	1	1	1	1	Diocetyl ftalaat
0	1	2	1	1	1	Chloor droog geconcentreerd	2	2	1	1	1	1	Natrium benzoaat
0	1	2	1	1	1	Chloor droog verdund	AMINES						
0	1	2	1	1	1	Chloor nat geconcentreerd	0	2	1	1	0	2	Dimethylamine
0	1	1	1	1	1	Chloor nat verdund	0	0	1	2	2	2	Triëthylamine
2	1	1	1	1	1	Gechloreerd water	2	2	2	2	1	1	Ureum
1	1	1	1	1	1	Waterstofperoxide 30%	2	2	1	1	1	1	Aniline
2	1	1	1	1	1	Waterstofperoxide 3%	GECHLOREERD						
1	1	2	1	2	1	Zwavedioxide nat	0	0	1	1	1	1	Allyl chloride
2	1	2	1	1	1	Zwavedioxide droog	0	2	1	2	1	1	Amyl chloride
2	1	1	1	2	1	Zwavedioxide waterig	0	1	1	1	1	1	Koolstof tetrachloride
1	1	1	1	0	1	Zwavedioxide vloeistof	0	1	1	1	1	1	Koolstof trichloride
1	1	1	1	0	1	Zwaveltrioxide	0	1	1	1	1	1	Ethyl chloride
WATER							0	1	1	1	1	1	Ethyleen chloride
1	1	1	1	1	1	Gedestilleerd water	0	1	1	1	1	1	Ethyleen chloorhydrine
1	1	1	1	1	1	Drinkwater	0	1	1	1	1	1	Ethyleen dichloride
1	1	1	1	1	1	Brak water	0	1	1	1	1	1	Methyl chloride
1	1	1	1	1	1	Zout water	0	1	1	1	1	1	Methyleen chloride
							0	1	1	1	1	1	Trichloor ethyleen
							0	1	1	1	1	1	Chloorbenzeen

0 = niet bestand
1 = volledig bestand
2 = beperkt bestand

Opmerkingen:

- Volledig bestand betekend dat de betreffende kunststof geheel bestand is over het gehele temperatuurgebied in onbelaste toestand. Bij blootstelling aan een mengsel van media dient voorzichtigheid in acht te worden genomen.
- Beperkt bestand betekend dat de betreffende kunststof een beperkte standtijd bezit of niet over het gehele temperatuurgebied inzetbaar is.

Testmethoden, normen en voorschriften

Poeder-/granulaateigenschappen	ASTM D1457, DTD 5517
Gemiddelde deeltjesgrootte	ASTM D1457
Schutgewicht	DIN 53466
Specifiek gewicht	DIN 53497, ASTM D792-91
Trekvastheid	DIN EN ISO 527, ASTM D638-97
Drukvastheid: 1% en 10% vloeigrens	DIN EN ISO 604
Breukrek	DIN EN ISO 527, ASTM D638-97
Shore Hardheid	DIN 53505, ASTM D2240
Kogeldrukhardheid	DIN EN ISO 2039-1
Slijtvastheid	DIN 53516
Warmtegeleidingscoëfficiënt	DIN 52612
Temperatuurrestantie	DIN VDE 0304
Buigsterkte	DIN EN ISO 178
Slagtaaiheid	DIN EN ISO 179
Kerfslagtaaiheid	DIN EN ISO 179
Buigwisselbestandheid	DIN 53374
Diëlektrische constante	DIN 53483
Diëlektrische verliesfactor	DIN 53483
Specifieke weerstand	DIN IEC 60093, DIN IEC 60167
Elektrische Doorslagvastheid	VDE 0303/2
Oppervlakteweerstand	VDE 0303, DIN IEC 60093, DIN IEC 60167
Kruipstroombestandheid	VDE 0303/1
Lichtboogbestandheid	VDE 0303/5
Wateropname	DIN 53495
Brandgedrag	DIN 53451, ASTM D635-97
Algemene specificatie voor PTFE lined	ASTM F423-95
Algemene specificatie voor PFA lined	ASTM F781-95
Algemene specificatie voor FEP lined	ASTM F546-95
Schilfolie	FD 104, AMS 3652, AID 955
PTFE objecten	FD 115
Folie, plaat en stafmateriaal uit PTFE	GKV 19., FD 105, FD 107, CS 239-62, MIL-P-22242, MIL-P-19468 A, BS 3784, ASTM D1710-96, AID 957
Algemene fysische eigenschappen, Duitse Luchtvaartnorm	5.1129
Elektrische doorslagvastheid	DIN 53481, VDE 0303
Buismateriaal pasta-geëxtrudeerd	FD 110, AMS 3380, MIL-P-22296

Een aantal van deze normen zullen in de loop der tijd aan verandering onderhevig zijn. Het is daarom raadzaam om bij gebruik van deze normen bij de desbetreffende instanties na te gaan of er inmiddels geen vervangende of nieuwe normen zijn uitgegeven.

Literatuurlijst

- | | |
|---|---|
| [1] "Teflon" Fluorcarbon Resins, Mechanical design data Dupont 1965. | [15] Dupont Brochure "TEFLON/TEFZEL" Corrosion prevention in the chemical industry. |
| [2] Technical Service Note, Physical Properties of Polytetrafluorethylene, F-12 ICI 1968. | [16] Daikin Brochure "PCTFE molding powders". |
| [3] ASTM D 1457-69, D 792-66, D 1505-68 en D 2116-66. | [17] Shell "Vaktechnische voorlichting kunststoffen TACW/7", A.v.Nieuwenhuysen. |
| [4] Kunststoff-Taschenbuch, Karl Hanser Verlag. | [18] Resistoflex "FLUOROFLEX" Gesamtkatalog Design and Layout Manual. |
| [5] Plastverarbeiter, Beitrag zum Thema Auskleidungstechnik 28 (1977). | [19] Carbone Lorraine, brochure "ARMYLOR piping and fittings". |
| [6] DIN 28051, 28053, 28055. | [20] "Zoutzuur resistentie van een met PTFE beklede colonne" publicatie en lezing. A.v.Nieuwenhuysen. |
| [7] Symalyt PVDF Technisches Handbuch 1980. | [21] SIGRI diverse brochures. |
| [8] Hoechst AG, Ullmann, Korrosionsschutz mit geschweissten PTFE-Auskleidungen im Apparatenbau. | [22] Plastic Omnium Brochure Tape Winding. |
| [9] "Teflon"Veiligheid bij verwerking en gebruik, Dupont. | |
| [10] Hoechst AG, Hostaflon 3/76. | |
| [11] Hoechst AG, Verzeichnis der Verarbeiter von PTFE, KS 419. | |
| [12] Hoechst AG, Productinformatie VM 264 "Hostaflon TF-Compounds". | |
| [13] Kunststoffe 1970/5 "Ramextrusion von Polytetrafluoräthylen" Dr.Steiniger, Gl. Stamprech. | |
| [14] Shell DEP 30.48.50.12, 30.48.50.32. | |