

## 1. LIJMEN ALGEMEEN

### 1.1 Inleiding

Engineering-bedrijven hebben vrijwel altijd de opdracht om een efficiënt ontwerp te maken.

In die gedachtengang is er zeker plaats voor lijmen.

De lijmtechniek heeft zich vooral de laatste jaren een goede positie weten te veroveren binnen de bevestigingstechniek.

Naast lassen, solderen en mechanische verbindingsmethoden is lijmen geaccepteerd als verbindingstechniek.

Ontwerpers krijgen nieuwe mogelijkheden, constructeurs kunnen lijm-constructies berekenen, grotere vrijheden met betrekking tot materiaalkeuze ontstaan, productieprocessen kunnen worden vereenvoudigd en kosten gedrukt.

Toch zijn er nog constructeurs die deze techniek niet toepassen .....

Het Ministerie van Economische zaken heeft in 1992 Arthur D. Little ( een gerenommeerd onderzoeks-bureau) opdracht gegeven om te onderzoeken op welke schaal lijmen in de Nederlandse industrie wordt toegepast:

Aantal procenten van totaal gemaakte verbindingen van de Nederlandse industrie;

- Lijmverbindingen	25%
- Schroeven	15%
- Lassen	14%
- Bouten	12%
- Andere verbindingen	34%

Grote industrieën die veelvuldig gebruik maken van lijmtechnieken zijn:

Vliegtuig industrie (Fokker)

Papier- verpakkings industrie

Elektronische technische industrie (Philips)

Het zal duidelijk zijn dat als men tegenwoordig een concurrerende positie wil hebben op de afzetmarkt dat dit zonder lijmverbindingen vrijwel niet mogelijk is.

Het hechtingsinstituut in Delft kan het werkaanbod nauwelijks nog aan. Het rapport NIL project "Verbinden van engineeringplastics" is in 1994 verschenen. Dit rapport behelst de resultaten van experimenteel onderzoek in het kader van het lijmen van technische kunststoffen.

Deelnemende bedrijven:

AkzoNobel

DSM

General Electric Plastics Europe

Hechtings Instituut Delft

Fuller

TNO-RR1

Nedap

Philips

3M

## 1.2 Het principe van de lijmverbinding

### 1.2.1 Algemeen: lijmverbindingen

Voor het construeren en vervaardigen van doeltreffende lijmverbindingen is het noodzakelijk te weten hoe zo'n verbinding functioneert. Het eindresultaat dient te bestaan uit een samengestelde constructie van lijmlaag en te verbinden materialen, die gedurende de gewenste levensduur tegen de optredende fysische en chemische belastingen moet zijn opgewassen. Het bereiken van de gewenste eindeigenschappen van de lijmlaag en zijn hechting aan de te verbinden materialen vergt kennis ten aanzien van lijmkeuze, vormgeving en procestechiek.

### 1.2.2 Hechting

Organische stoffen, waaronder kunststoffen en lijmen bestaan uit moleculen die zijn opgebouwd uit koolstof- en waterstofatomen en in de meeste gevallen ook uit stikstof-, zuurstof- en soms zwavelatomen. Moleculen zijn de kleinst denkbare deeltjes van een stof, die de chemische eigenschappen hebben van die stof. Bij kunststoffen zijn de moleculen erg lang, zodat de structuur lijkt op die van gekookte spaghetti. Bij lijmen zijn de moleculen aanvankelijk relatief kort, zodat er sprake is van een vloeistof. Deze moleculen worden *monomeren of prepolymeren* genoemd. De vloeibare fase is nodig om de lijm tot in de fijnste details de vorm van het te lijmen oppervlak te laten aannemen. Dit wordt *bevochtigen* genoemd. Dat wil zeggen dat de lucht moleculen boven het te lijmen oppervlak verdreven wordt door de moleculen van de lijm. Doordat de monomeren of prepolymeren met elkaar gaan reageren (dit heet *uitharden*), ontstaan er uiteindelijk lange aaneenschakelingen van de oorspronkelijke moleculen (*polymeren* genoemd) die niet meer vloeibaar, maar vast zijn. De polymere ketens zijn ook via dwarsverbindingen met elkaar verbonden (*crosslinks*), zodat er een driedimensionaal netwerk is ontstaan.

Dit netwerk is mechanisch sterk en kan door oplosmiddelen niet meer worden opgelost. Één en ander is in figuur 1-1 nog eens gevisualiseerd.

Een goede bevochtiging is zeer belangrijk voor het verkrijgen van een goede hechting. Bevochtiging is een proces dat van buitenaf niet geforceerd kan worden en vanzelf moet plaatsvinden. De drijvende kracht is het verschil in *oppervlaktenspanning*. Wanneer de oppervlaktenspanning van de lijm kleiner is dan de oppervlaktenspanning (of oppervlakte energie) van het te lijmen oppervlak, dan zal de over het oppervlak uitgesmeerde lijm de aan het oppervlak geadsorbeerde gasmoleculen gaan verdringen. In de ideale situatie grenst de lijm daarna overal aan de moleculen of de atomen van het te lijmen oppervlak. In de praktijk raakt op een aantal plaatsen de lucht ingesloten tussen het oppervlak en de lijm (onvolledige bevochtiging). Het zal duidelijk zijn dat dit deel van het oppervlak niet mee kan doen aan het overdragen van de krachten.

Een maat voor de drijvende kracht achter de bevochtiging is de *contacthoek*. Dit is de hoek waaronder een lijmdruppel het oppervlak raakt. Hoe kleiner deze hoek is, hoe groter de kans is op een goede bevochtiging (zie figuur 1). In plaats van een lijmdruppel wordt veelal een waterdruppel gebruikt voor het meten van de contacthoek. Naast de contacthoek speelt ook de viscositeit (stroperigheid) van de lijm een rol in het bevochtigen. Wanneer deze te hoog is, zal de drijvende kracht niet in staat zijn de lijm binnen de beschikbare uithardingstijd in contact te brengen met het oppervlak. Door de viscositeit te verlagen, bijvoorbeeld door de temperatuur te verhogen of door een oplosmiddel toe te voegen (waardoor de lijm als primer te gebruiken is), kan de bevochtiging verbeterd worden.

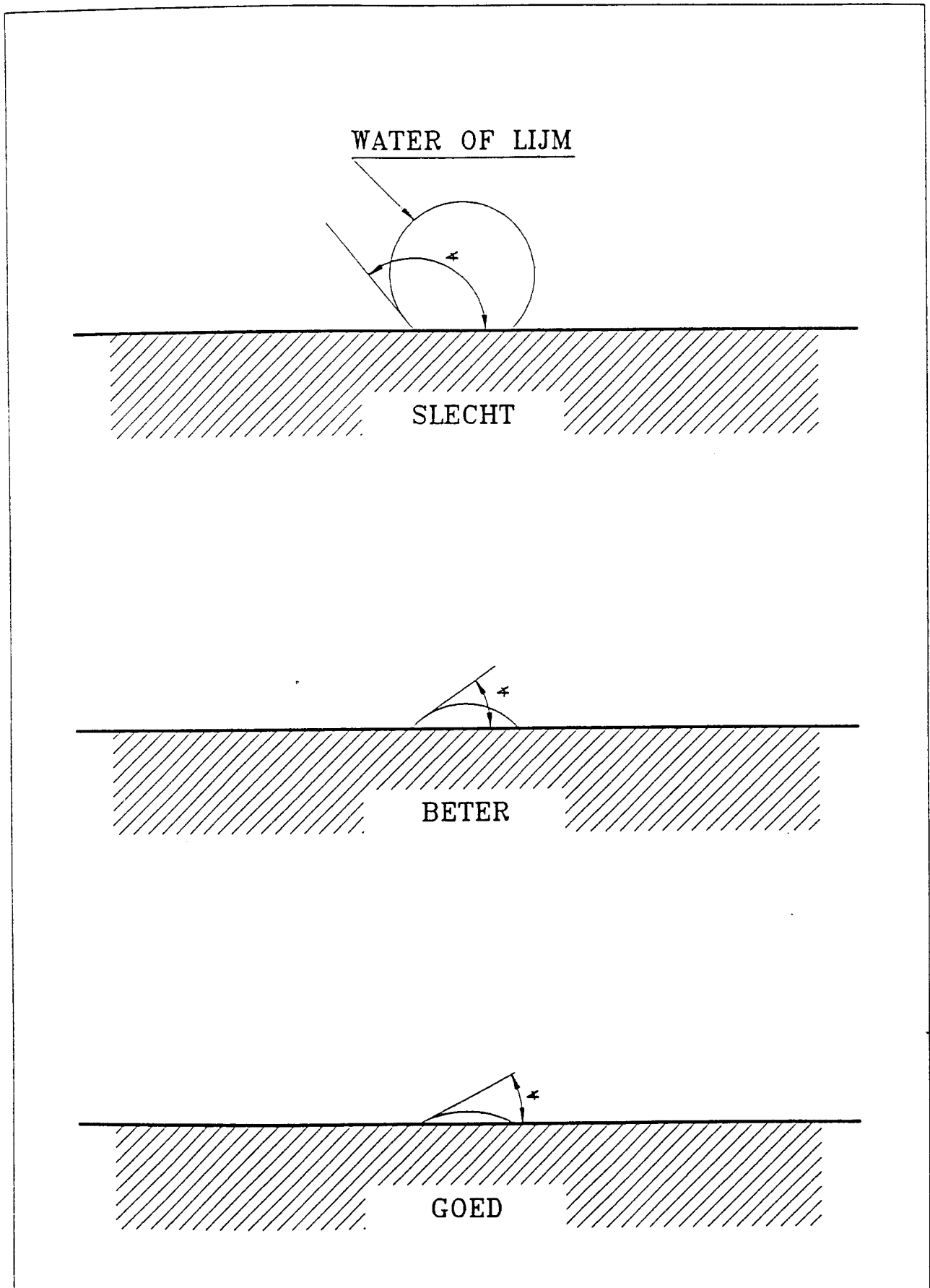


FIG. 1

### 1.2.3 **Wat is hechting**

De hechting berust op drie verschillende principes of combinaties daarvan:

Adsorptie zie afb. A

De adsorptie vindt zijn oorsprong in moleculaire en atomaire krachten tussen de lijm en het oppervlak van het te lijmen materiaal. Deze krachten kunnen alleen werken, wanneer de afstand tussen de moleculen van lijm en materiaal voldoende klein is. Wanneer het oppervlak behandeld is, moet men (het liefst direct, maar zeker binnen enkele minuten) gaan lijmen, daar anders door verandering van het oppervlak de bevochtiging zeer sterk terug kan lopen.

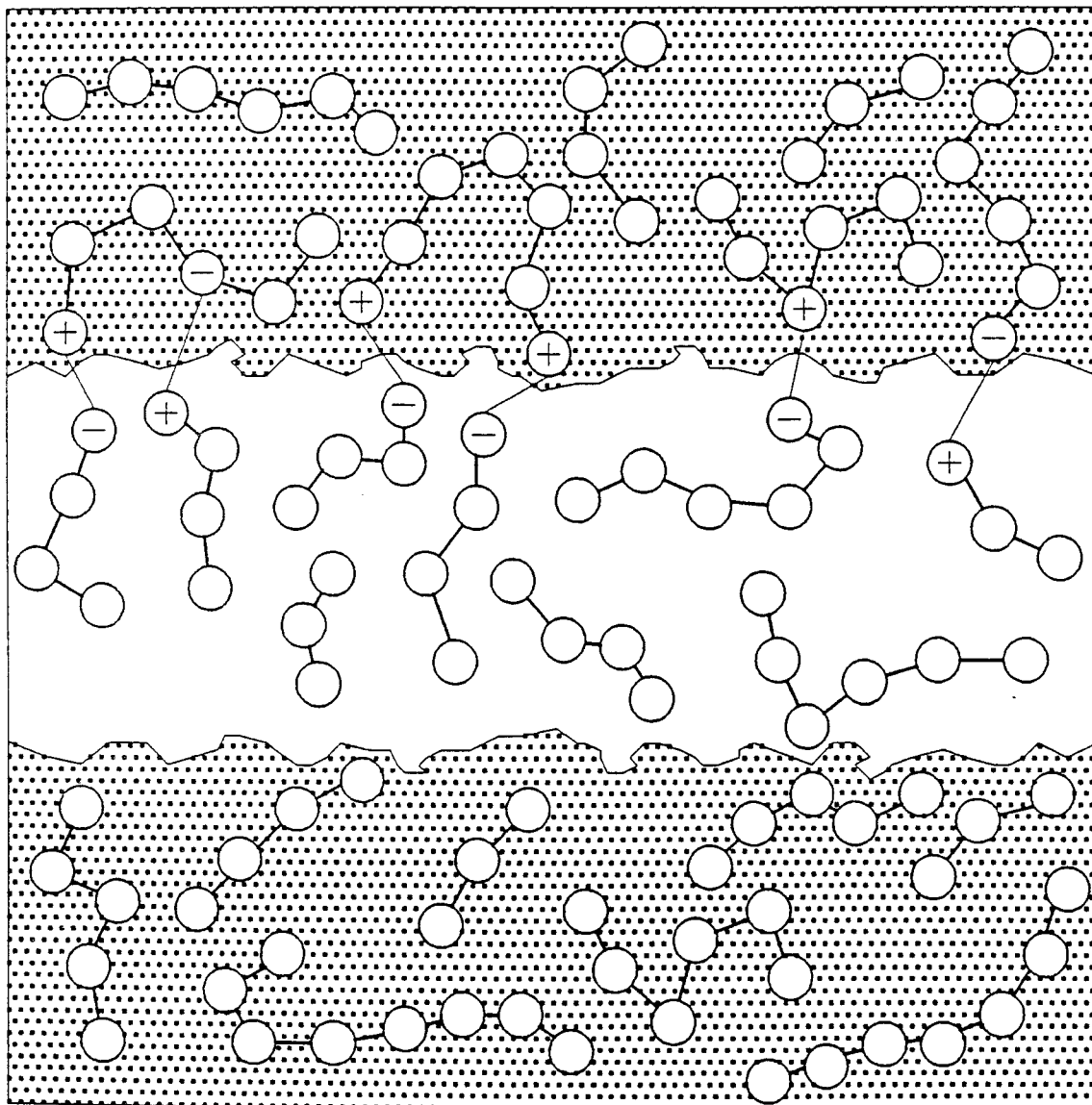
Diffusie zie afb. B

Dit hechtingsprincipe berust op een zekere mate van vermenging van de lijm en het te lijmen materiaal. Dit kan zowel bij kunststoffen als bij metalen optreden. Het is een soort verankering op moleculaire en atomaire schaal.

Mechanische verankering zie afb. C

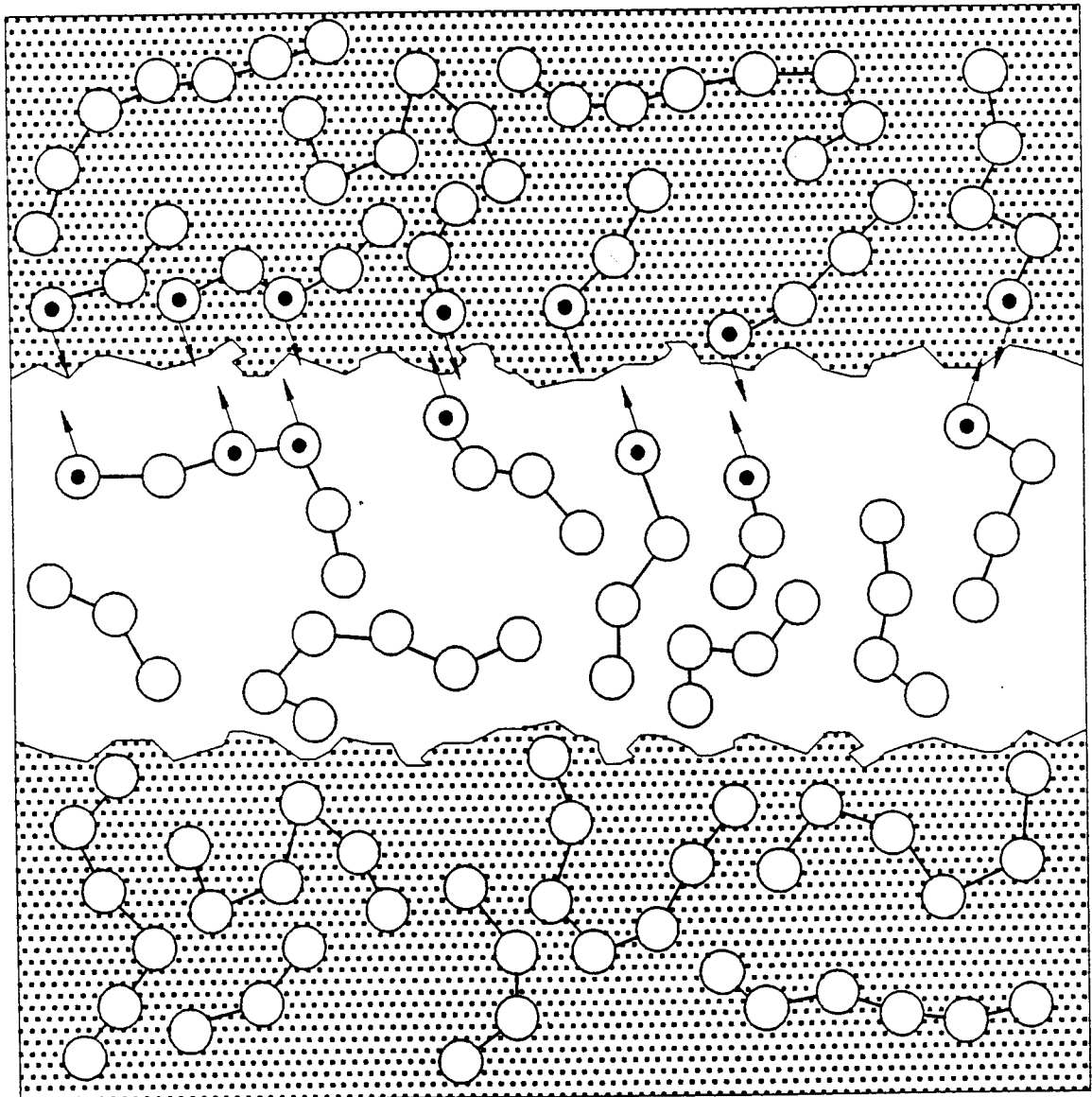
Hiervan is sprake wanneer het te lijmen oppervlak ruw of poreus is en de vloeibare lijm in de poriën van het oppervlak kan dringen. Na de uitharding van de lijm vindt daardoor een verankering plaats. Bij het verlijmen van metalen speelt de mechanische verankering een ondergeschikte rol.

# Physische adhesion



Afb. A

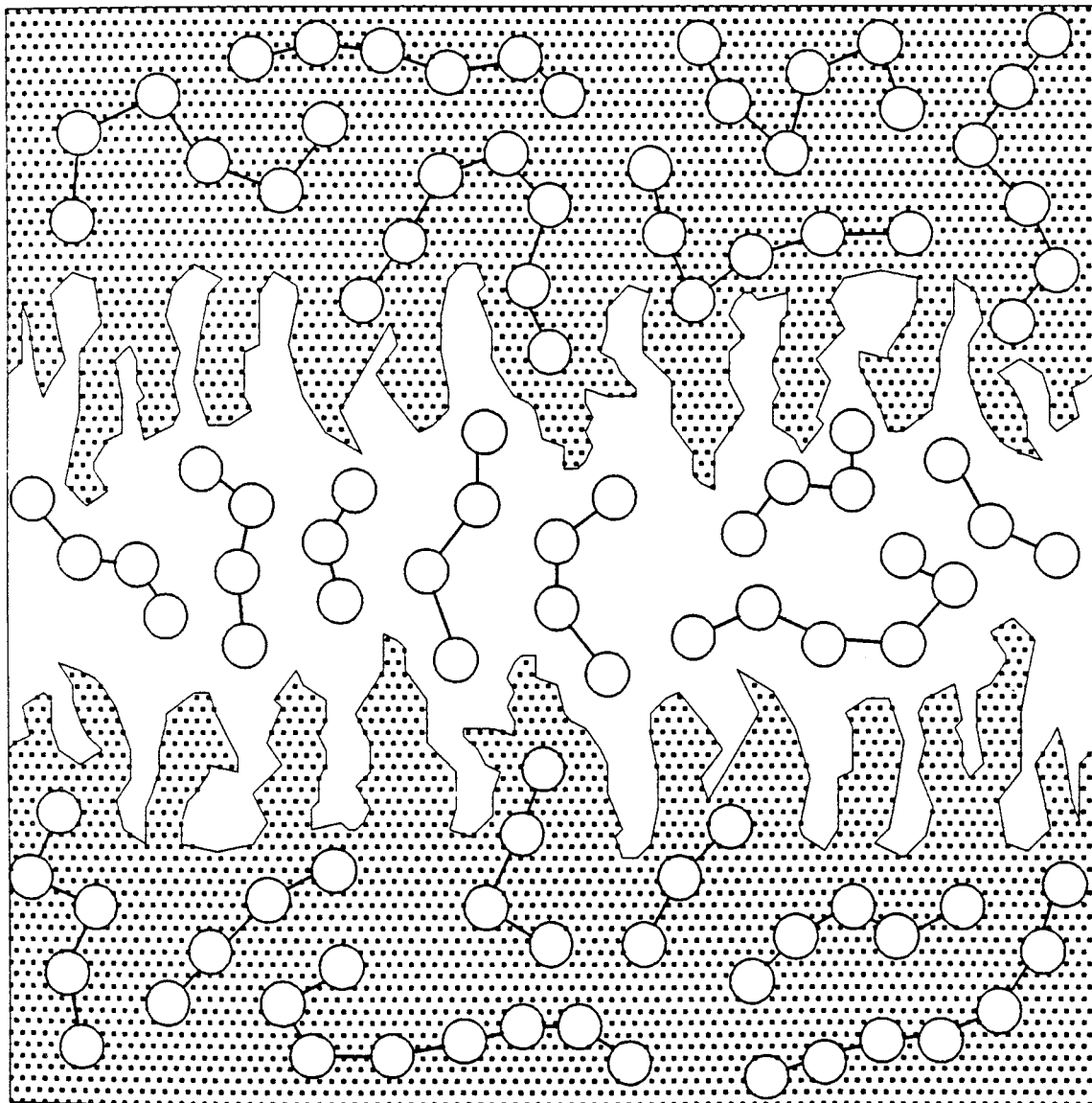
# Chemische adhesion



Afb. B



# Mechanische adhesion



Afb. C

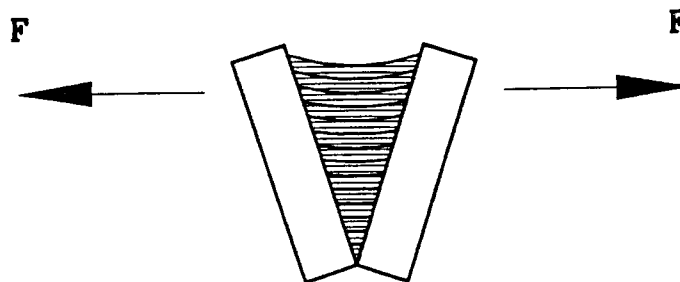
#### 1.2.4 Sterkte van de lijm (cohesie)

De sterkte van de lijm is, net als de adsorptie, het gevolg van moleculaire en atomaire krachten, maar dan in de lijm zelf. Deze cohesiekrachten mogen echter eerst dan hoog zijn, als de adhesie, en dus de bevochtiging, reeds heeft plaatsgehad. Met andere woorden de lijm moet eerst vloeibaar zijn om goed te kunnen bevochtigen en mag pas daarna hard worden. Bij dit verharden is het van belang, dat in de lijm zo weinig mogelijk spanningen ontstaan, daar deze de sterkte verlagen. Deze spanningen, ontstaan door krimp onder invloed van chemische verharding (chemische contractie), verdamping van vluchtige bestanddelen uit de lijm en verschil in thermische uitzettingscoëfficiënt van lijm en materialen. De lijm laag zelf leidt de belasting van het ene deel van de constructie door naar het andere deel. De sterkte van een lijmverbinding hangt niet alleen af van de cohesie-sterkte van de lijm, maar ook van de adhesie-sterkte tussen de lijm en het te lijmen oppervlak. Bij een lijmverbinding moet de zwakste schakel bij voorkeur liggen in de lijm laag en niet op de overgang van de lijm met te lijmen oppervlak. Bij de sterkteberekening van lijmverbindingen gaan we ervan uit dat de cohesie-sterkte ook inderdaad de zwakste schakel is.

### 1.3 Belastingen

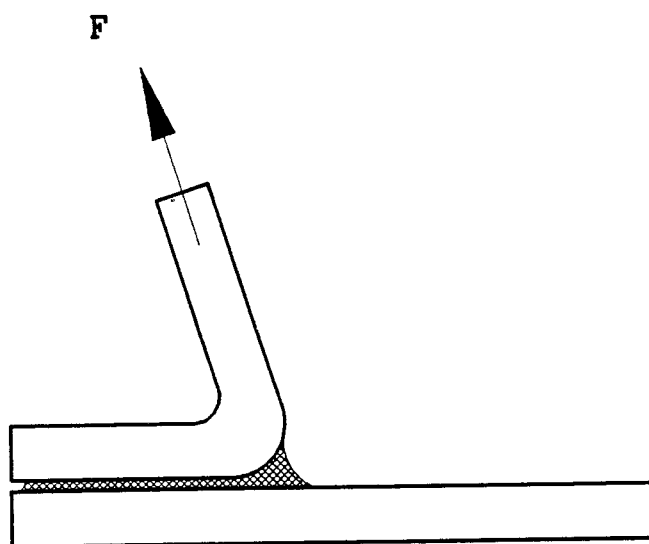
De toelaatbare belastingen van een lijmnaad zijn aanzienlijk lager dan van een mechanische verbinding. De spanning is echter over het gehele verbindende oppervlak verdeeld. Een lijmnaad mag liever niet belast worden met afpel- (fig. 2) of splijtbelasting (fig. 3). Waar dit zou optreden, kunnen eenvoudige constructie-wijzigingen of plaatselijke mechanische verbindingen vaak een afdoende oplossing geven. De aangewezen belastingen bij grote krachten zijn druk- (fig. 4), trek-(fig. 5) of afschuifbelastingen (fig. 6). De sterkte van de lijmnaad wordt beïnvloed o.m. door chemische belasting, extreme temperaturen, kruip- of wisselende belasting. In voorkomende gevallen moet extra veiligheid ingebouwd worden om de levensduur van de verbinding te verzekeren. Ook zijn van invloed de elasticiteitsmoduli van de te verlijmen materialen en de verhouding materiaaldikte/lapnaadlengte t/l. In fig. 7 is een enkelvoudige lapnaad getekend, die bij belasting enigszins krom trekt. De dubbele lapnaad (fig. 8) blijft recht en vormt een sterkere verbinding. Fig. 9 geeft de ongelijkmatige verlenging bij rek en de daardoor ontstane spanningsverdeling. Bij een grotere overlap (fig. 10) neemt de gemiddelde belasting af. Een hogere elasticiteitsmodulus, of dikkere plaat van hetzelfde materiaal hebben een verhoogd minimum en een verhoogde gemiddelde spanning tot gevolg (fig. 11). Fig. 10 geeft de schuifspanningsverdeling weer.

- fig. 12 geeft de breuksterkte van een lapnaad aan.
- fig. 13 toont de trekspanningsverdeling in de lijmnaad met flenzen.
- fig. 14 toont een centrische trekbelasting.
- fig. 15 toont een excentrische trekbelasting.



SPLIJTBELASTING

Fig. 3

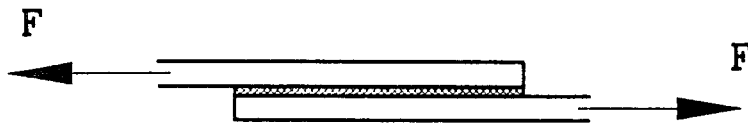


AFPELBELASTING

Fig. 2

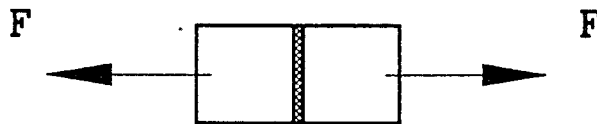
Noot: Minstens één van de twee te verlijmen materialen is flexibel

## DE AARD VAN DE BELASTING



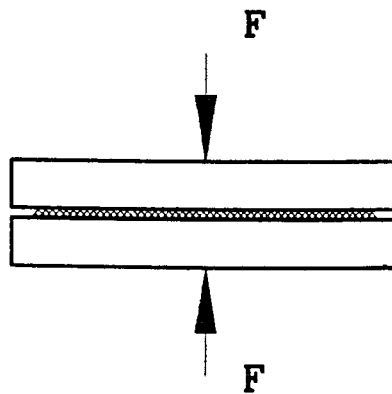
SCHUIFBELASTING

Fig. 6



TREKBELASTING

Fig. 5



DRUKBELASTING

Fig. 4

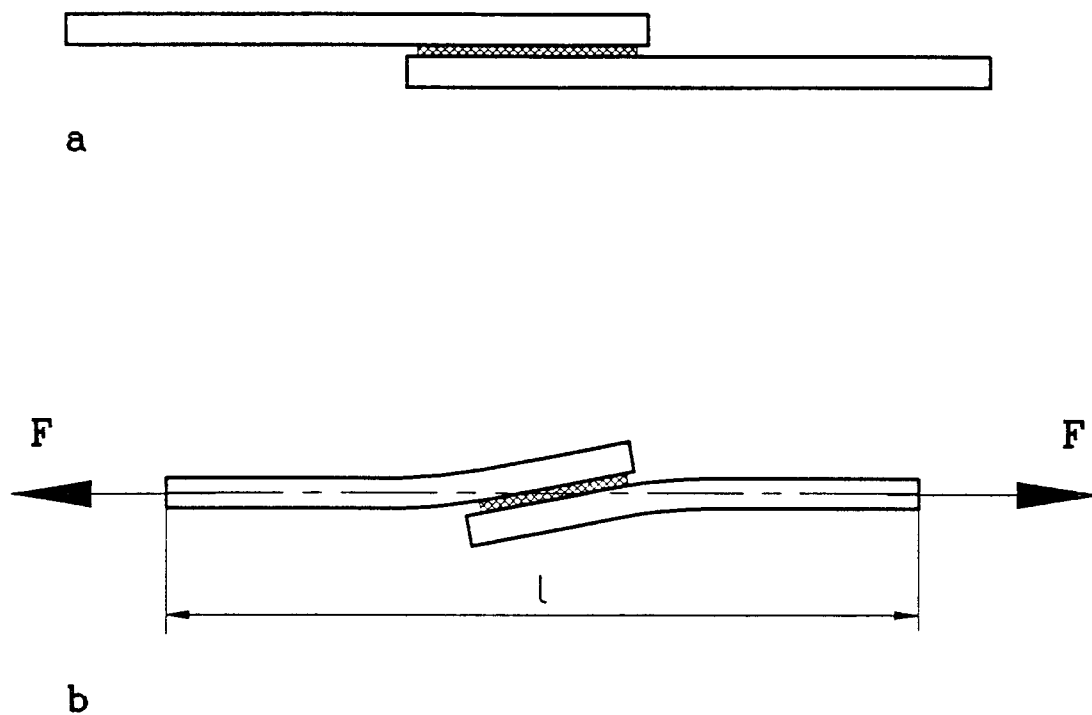


Fig. 7

VERVORMING VAN LAPNAAD ONDER BELASTING

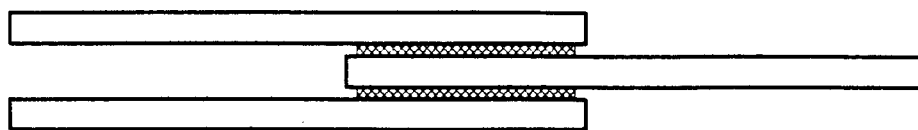
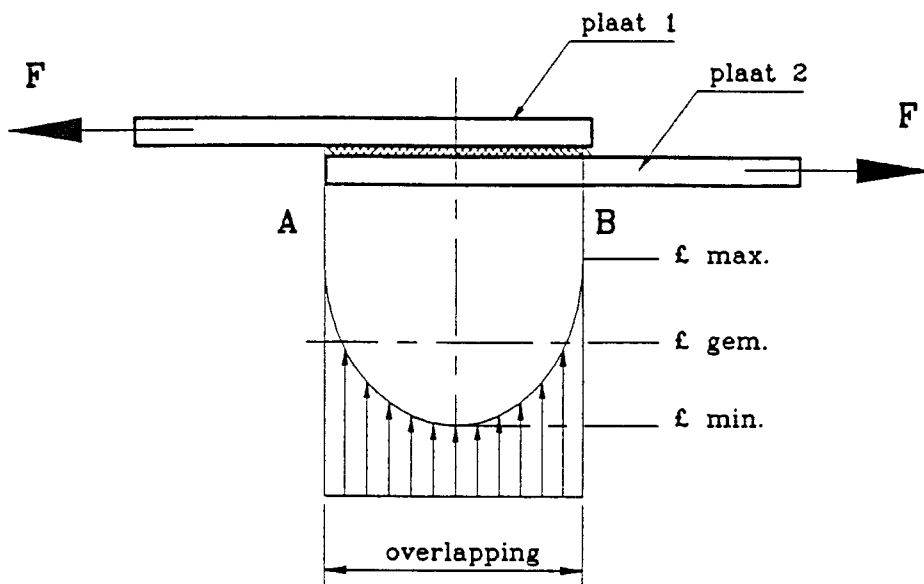
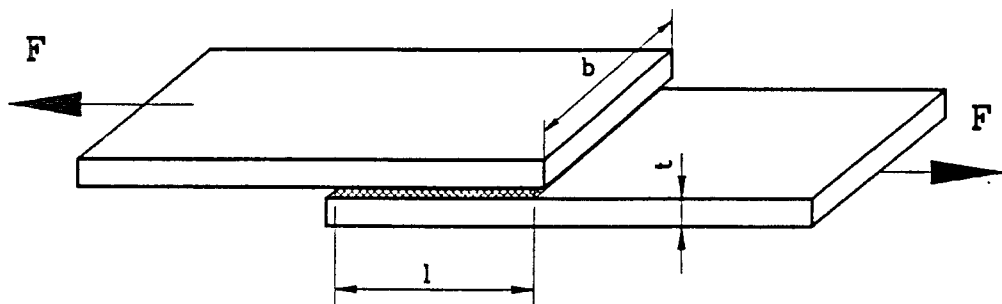


Fig. 8



Schuifspanningsverdeling in lapnaad



Breuksterkte van lapnaad

Fig. 9

$$Fb = f \text{ gem.} \cdot l \cdot b$$

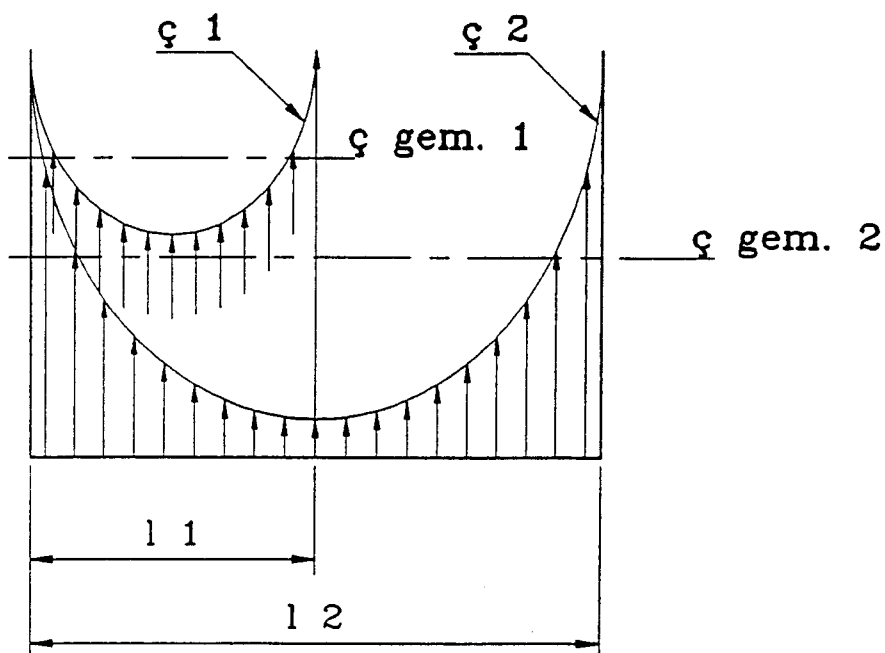
Hierin is:

$Fb$  = de breukbelasting

$f \text{ gem.}$  = de toelaatbare gemiddelde schuifspanning

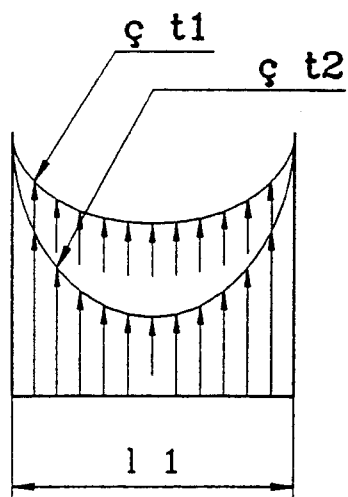
$l$  = de overlaplengte

$b$  = de plaatbreedte



Invloed van de OVERLAPLENGTE op de  
schuifspanningsverdeling

Fig. 10

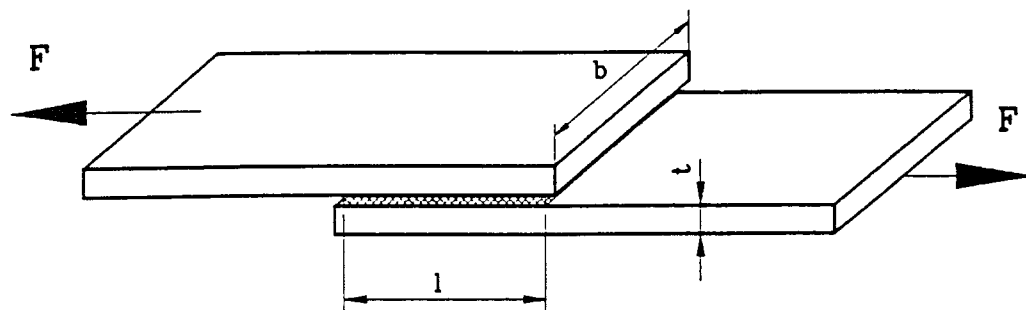


$t1 \geq t2$

Invloed van de PLAATDIKTE op de  
schuifspanningsverdeling

Fig. 11





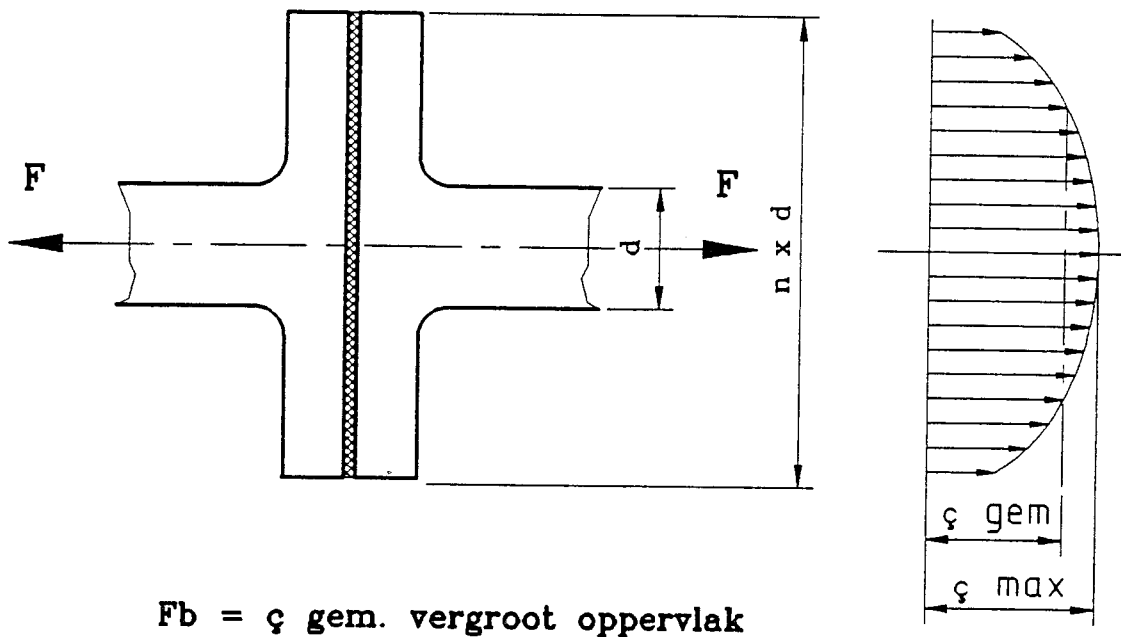
Breuksterkte van lapnaad

Fig. 12

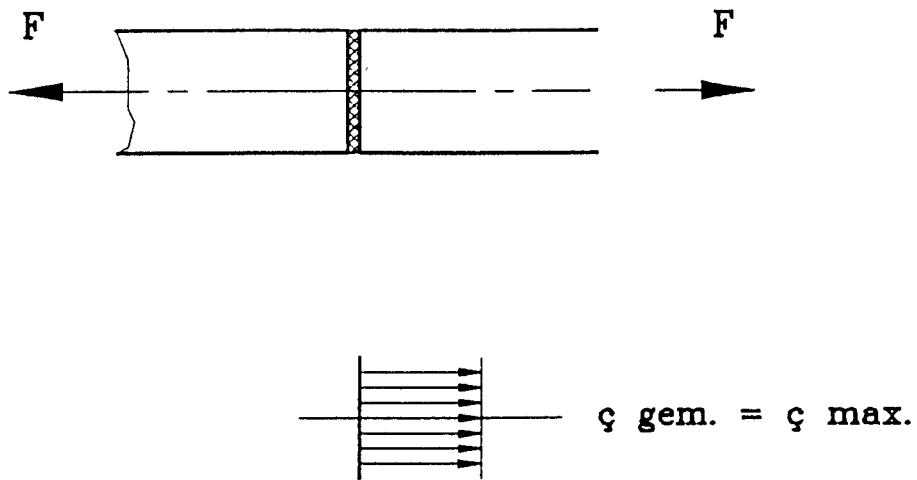
$$F_b = \tau_{\text{gem.}} \cdot l \cdot b$$

Hierin is:

- $F_b$  = de breukbelasting
- $\tau_{\text{gem.}}$  = de toelaatbare gem. schuifspanning
- $l$  = de overlaplengte
- $b$  = de plaatbreedte



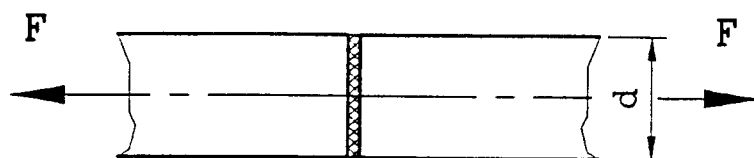
Trekspanningsverdeling in lijmnaad met flenzen Fig. 13



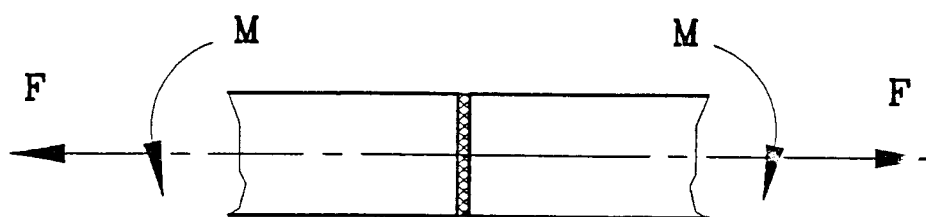
$$F_b = \zeta \text{ gem.} \cdot \text{oppervlak}$$
$$= \zeta \text{ gem.} \cdot \text{oppervlak}$$

Centrische trekbelasting

Fig. 14

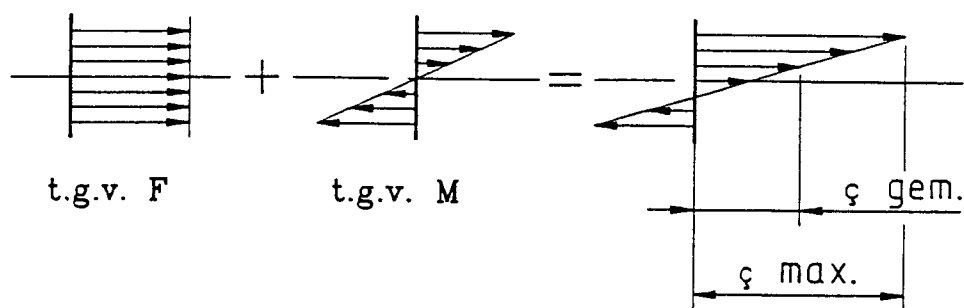


excentriciteit van  
trekbelasting =  $\frac{1}{2} d$



$$M = \frac{F \cdot d}{2}$$

spannings verdeling



Excentrische trekbelasting

Fig. 15

#### 1.4 Diverse verbindingen

Er zijn vele verbindingen mogelijk bij lijmconstructies. In combinatie met de gekozen lijm kan een keus gemaakt worden uit de volgende verbindingen.

fig. 16 - vlakke verbindingen

fig. 17 - T verbindingen

fig. 18 - hoek verbindingen

fig. 19 - staf, holle as, buisverbindingen

# VLAKKE VERBINDINGEN

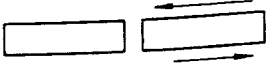

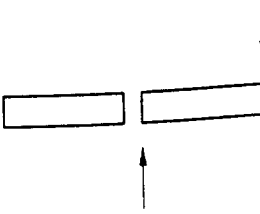

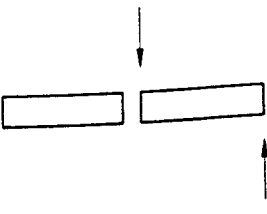

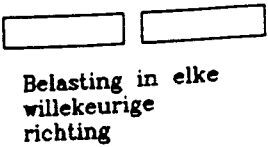

Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
1		
2		
3		
4	 <p>Belasting in elke willekeurige richting</p>	

Fig. 16

# T-VERBINDINGEN

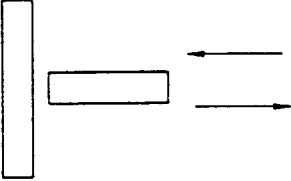

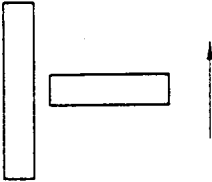
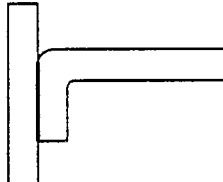
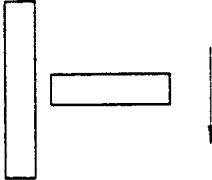
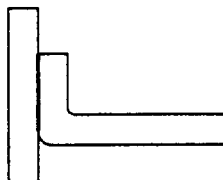
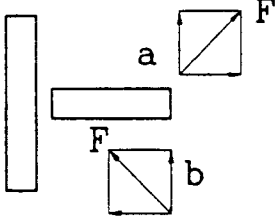
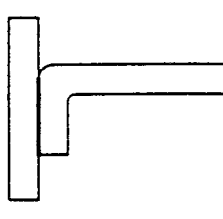
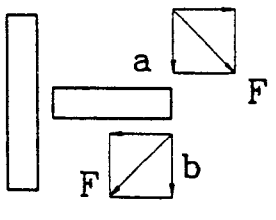
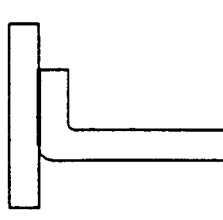
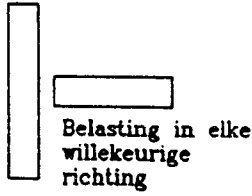
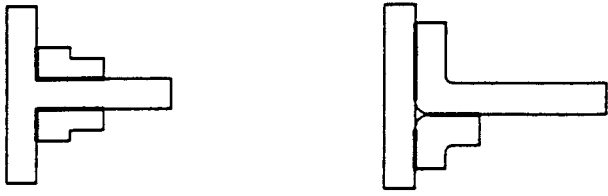
Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Fig. 17

# HOEKVERBINDINGEN

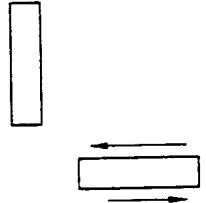
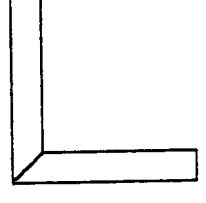
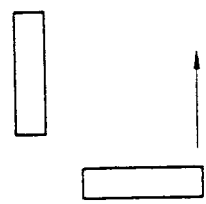
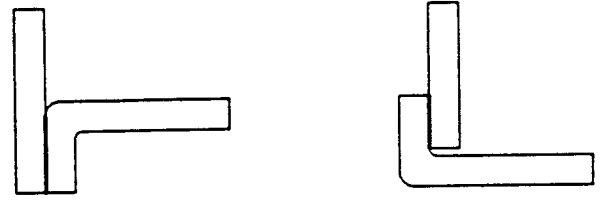
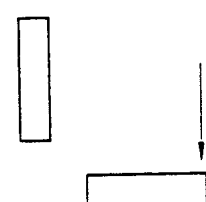
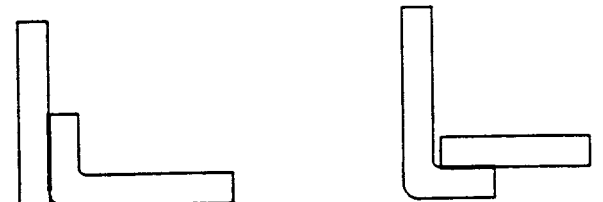
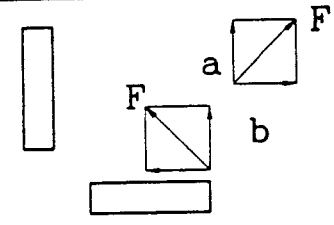
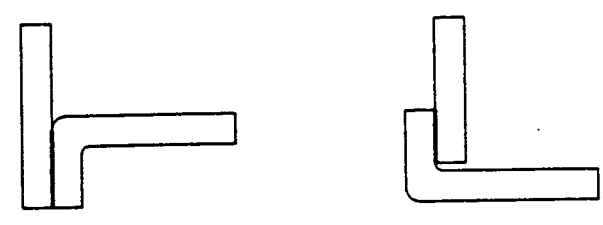
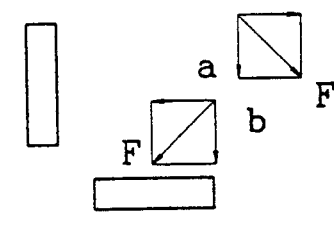
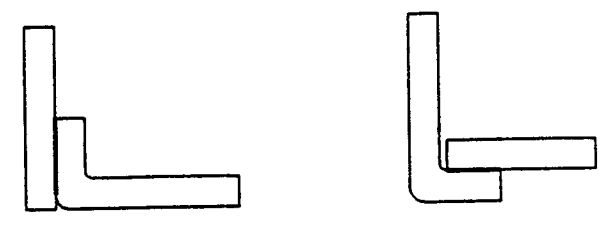
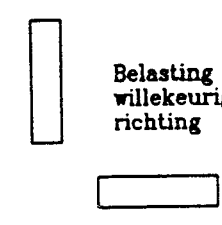
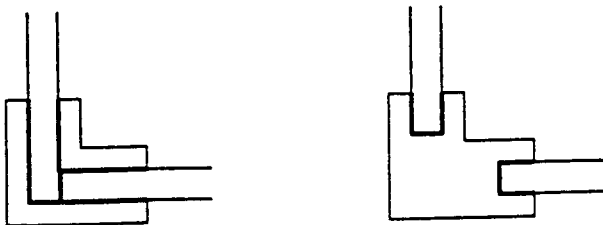
Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
1		
2		
3		
4		
5		
6	<p>Belasting in elke willekeurige richting</p> 	

Fig. 18



# STAF-, HOLLE-AS, BUISVERBINDINGEN

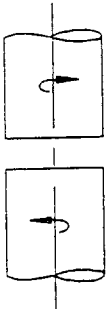
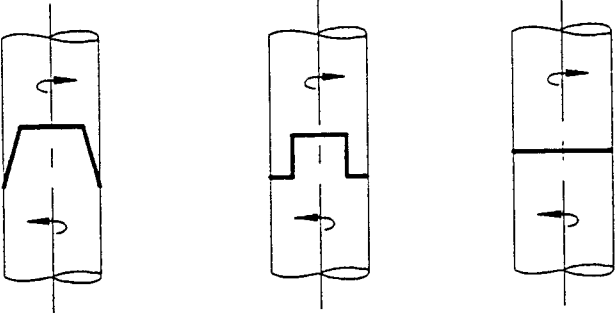
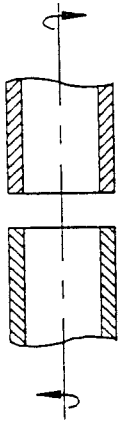
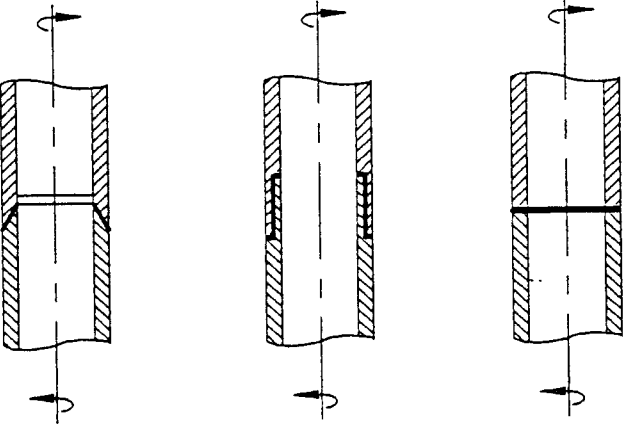
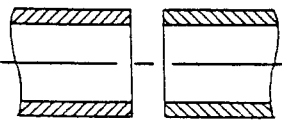
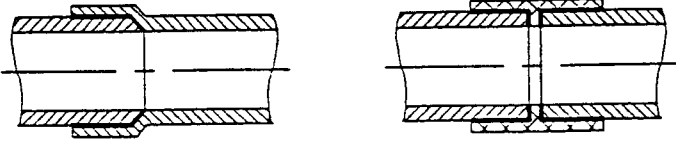
Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
as 1		
holle as 2		
buis 3		

Fig. 19

## 1.5 Voorbehandeling

### 1.5.1 Algemeen

#### EEN GOEDE LIJMVERBINDING WORDT ALLEEN VERKREGEN DOOR EEN JUISTE VOORBEHANDELING

Er zijn vele verschillende voorbehandelingsmethoden die vaak per materiaal verschillend zijn.

Voorbehandelingen: In het algemeen geldt: hoe zorgvuldiger de voorbehandeling hoe beter de initiële sterkte en de duurzaamheid. Echter, niet voor alle toepassingen is het maximaal haalbare noodzakelijk. Er moet dus een compromis worden gevonden tussen voorbehandelingskosten en het bereikte effect.

Primers kunnen uiteenlopen functies hebben. Ze kunnen ervoor zorgen dat een voorbehandeld metaaloppervlak tijdens de opslag tegen kwaliteitsverlies behoed wordt, ze kunnen zorgen voor een goede bevochtiging, ze kunnen de duurzaamheid (meestal in vocht) bevorderen, ze kunnen met de vocht-film op het oppervlak reageren en ze kunnen een corrosie-werende werking hebben. Sommige primers brengen een chemische modificatie van het oppervlak teweeg. Primers kunnen via spuiten, met de kwast, met vilt of met een doekje worden aangebracht. Meestal hoeft alleen het oplosmiddel te verdampen. Soms is het echter nodig de primer bij verhoogde temperatuur uit te harden (dit zijn vaak 2-componenten primers). Primers voor glas, metaal en keramiek worden ook wel verwerkt in de lijm of in het reinigingsmiddel.

Opruwen kan met de hand geschieden. Naast gewoon schuurpapier of schuurlijnen zijn hier ook speciale schuurmiddelen verkrijgbaar. Een goed reproduceerbare ruwheid wordt verkregen met stralen. Hiermee is het tevens mogelijk meer ingewikkelde vormen te behandelen. De keuze van het straalmiddel en de grofheid zijn van groot belang. Sommige straalmid-

delen veroorzaken corrosie op metalen. Stralen wordt meestal in een handschoenenkast met de hand uitgevoerd. In principe is automatisering mogelijk. Na het stralen dient er altijd weer gereinigd te worden om de losliggende stofdeeltjes te verwijderen.

Tegenwoordig bestaat er ook een speciaal straalmiddel, dat een keramische laag in en op het oppervlak achter laat (SACO). Door deze vervolgens te behandelen met de bijbehorende primer kan een uitstekende duurzaamheid in een vochtig milieu worden verkregen. Het straalmiddel kan slechts een beperkt aantal keren gebruikt worden.

Met chemische etsbaden kunnen zowel voor kunststoffen als voor metalen zeer goede resultaten worden behaald. Echter, vanwege de milieu- en veiligheidswetgeving moet men stellen dat dit soort voorbehandelingen steeds minder aantrekkelijk wordt.

Met de oxidatieve voorbehandelingen zuurstofplasma, corona, UV-ozon en bevlammen worden verontreinigingen tot laag moleculaire bestanddelen afgebroken, waarna ze vervluchtigen. Vervolgens treedt een oxydatie van het oppervlak op, waardoor de polariteit toeneemt. Dit is gunstig voor een goede bevochtiging door de lijm en een goede moleculaire aantrekkingskracht (beiden leiden tot een verbeterde hechting). Bij kunststoffen en rubbers ontstaan er reactieve chemische groepen, waarvan verondersteld wordt dat deze met bepaalde lijmen kunnen reageren.

*Zuurstofplasma* is een batch-proces en is daarom alleen geschikt voor grote hoeveelheden kleine producten of kleine series middelgrote producten. Bij deze voorbehandeling wordt zuurstofgas bij lage druk geïoniseerd. De ionen en electronen zijn zeer reactief en ook de opgewekte ultra-violette straling is in staat chemische bindingen te activeren. Het plasma is goed in staat om ook in hoeken en gaatjes door te dringen. De investeringskosten zijn hoog, maar de bedrijfskosten zijn laag. Door andere gassen te gebruiken kunnen soms nog betere resultaten worden bereikt.

*Corona* is doorgaans alleen goed toepasbaar voor folies. Onder (normale)

atmosferische druk treedt een elektrische ontlading op tussen een staafvormige electrode en een aardplaat. Hierdoor ontstaan reactieve ionen en reactief ozon, welke, evenals bij plasma oxydatie teweeg brengen. Het proces wordt doorgaans continu uitgevoerd. Kleine drie-dimensionale voorwerpen kunnen met behulp van een puntelectrode zeer plaatselijk behandeld worden. Corona is niet erg duur.

Bij *UV-ozon* wordt het oppervlak met ultra-violet licht van twee verschillende golflengten bestraald, waardoor de chemische bindingen geactiveerd worden en in de bovenstaande lucht het reactieve ozon gevormd wordt. De investeringskosten zijn laag. De procestijden zijn echter relatief lang en de behandeling is niet goed in staat om in kleine gaatjes door te dringen.

*Bevlammen* is een snelle, goedkope en simpele methode van voorbehandelen, waarbij het te behandelen oppervlak snel langs of door een zuurstofrijke gasvlam (acetyleen, propaan, methaan) wordt getransporteerd. Door de buitengewoon hoge temperatuur en de overmaat aan zuurstof treedt oxydatie op. Het proces is snel en goedkoop, maar is wel zeer kritisch. Het construeren en afstellen van de brander luistert vrij nauw. De oppervlakken moeten voor de vlam makkelijk toegankelijk zijn en mogen niet al te grote diepte-verschillen hebben.

### 1.5.2 **Levensduur**

Het voorspellen of garanderen van de levensduur van een lijmverbinding is het meest lastige aspect van lijmen. Dit komt doordat zeer vele en vaak onzichtbare factoren een belangrijke invloed op het langeduur gedrag hebben. Ook wanneer een lijmproces al jaren goed verloopt, kunnen subtiele veranderingen in de grondstoffen of het productieproces plotseling tot problemen leiden. De duurzaamheid dient altijd van geval tot geval bekeken te worden. Er zijn wel diverse genormeerde methoden om lijmverbindingen versneld te verouderen. Deze geven echter zelden een uitspraak over hoe het gemeten resultaat naar een levensduur kan worden omgerekend. En wanneer een dergelijke correlatiefactor wel gegeven wordt, moet

men er op bedacht zijn dat deze alleen voor zeer specifieke materiaal/lijmcombinaties geldig is. Genormeerde proeven worden meer gebruikt om lijmen met elkaar te vergelijken. Hierbij is overigens nooit geheel uit te sluiten dat de verhoudingen in de praktijk toch anders liggen. Voor het voorspellen van de levensduur is het nodig goed vast te stellen welke factoren van invloed kunnen zijn. Mogelijke invloedsfactoren zijn:

- *Een hoge temperatuur*, waarbij chemische veranderingen in de lijm of aan het grensvlak kunnen optreden (bijvoorbeeld degradatie of oxydatie met als gevolg een verbrossing van de lijm).
- *Temperatuurswisselingen*, waarbij ten gevolge van een verschil in thermische uitzetting mechanische belastingen ontstaan, eventueel in combinatie met de hiervoor genoemde thermische effecten. Vooral bij een snelle opwarming of afkoeling kunnen de spanningen hoog oplopen. Hierdoor kunnen scheurtjes en onthechtingen ontstaan die langzaam verder doorgroeien.
- *Vocht*. Vooral bij metalen, glas en keramiek kan vocht de lijm van het oppervlak verdringen, zodat onthechtingen vanaf de randen naar het midden van de lijmverbinding groeien. Vocht kan ook tot zwellen van de lijm leiden, waardoor in de lijmverbinding mechanische spanningen ontstaan die het bindingssterkte verlagen of tot onthechtingen leiden. Ook het gelijkde materiaal kan onder invloed van vocht zwellen (bijvoorbeeld hout en Nylon). Vooral bij hogere temperaturen kan vocht leiden tot een chemische afbraak (*hydrolyse*) van bepaalde lijmtypen. Hierdoor treedt een verbrossing en verzwakking van de lijm op. Vocht kan bij metalen leiden tot corrosie, die onder de lijmlaag door kan groeien en daarmee de verbinding verzwakt. Vooral in zout water of bij een verschil in elektrische potentiaal is dit gevaar aanwezig.
- *Chemicaliën* kunnen evenals vocht tot zwellen, verdringing en aantasting leiden. Bovendien kan er spanningscorrosie in de lijm of in het materiaal (indien dit een kunststof is) optreden. De gevormde haarscheurtjes kunnen verder uitgroeien tot een catastrofale scheur.

- *Ultra-violette straling* leidt tot oxydatie en degradatie van de lijm, waardoor deze verbrost en zwakker wordt. Verder heeft UV-straling een negatief effect op de hechting. Deze invloedsfactor speelt uiteraard alleen een rol bij transparante materialen en bij afdichtingskitten in buitentoepassingen. Belichting kan overigens ook tot een toename van de temperatuur leiden.
- *Micro-organismen* kunnen op diverse manieren een lijm aantasten. Dit geldt vooral voor kitten in buitentoepassingen en in vochtige ruimten.
- *Mechanische belastingen* vormen een extra drijvende kracht achter diverse reeds genoemde aantastingsmechanismen, zoals verdringing, chemische degradatie, spanningscorrosie en vooral het doorgroeien van scheurtjes. De mechanische belasting kan van buitenaf op de lijmverbinding worden uitgeoefend, maar kan ook in de lijmverbinding aanwezig zijn in de vorm van zwelspanningen, krimpspanningen (ten gevolge van de uithardingskrimp van de lijm) en spanningen ten gevolge van een verschil in thermische uitzetting. Onder een constante (statische) belasting kan kruip optreden. Wisselende (dynamische) belastingen zijn erg gevaarlijk en kunnen tot vermoeiing (uitgroeien van haarscheurtjes) leiden.

Combinaties van factoren kunnen gevaarlijker zijn dan de factoren afzonderlijk. Het verdient daarom de voorkeur in verouderingsproeven zoveel mogelijk de praktijkomstandigheden na te bootsen. Deze zijn overigens niet altijd goed bekend. Verder heeft het de voorkeur om het product als geheel te verouderen, omdat de levensduur ook sterk afhangt van de vorm en afmeting en van de lijmverbinding. De veroudering kan versneld worden door de invloedsfactoren wat te intensiveren, bijvoorbeeld door een iets hogere temperatuur te kiezen, een hogere intensiteit UV-licht of een wat hogere mechanische belasting. Hierbij moet men er op bedacht zijn dat er geen neveneffecten gaan optreden. Wanneer men in staat is om een empirische relatie tussen de levensduur (bijvoorbeeld de tijd tot falen) en de intensiteit van de invloedsfactoren te vinden, dan kan hieruit de levensduur onder de praktijkomstandigheden geëxtrapoleerd worden. Dit soort onderzoek neemt

echter veel tijd in beslag en is erg kostbaar. In praktijk neemt men daarom meestal genoegen met de *indicaties* die uit de meer eenvoudige genormeerde verouderingsproeven worden verkregen.

## 1.6 Voorbehandelingsmethoden

### 1.6.1 Type A

#### 1. Ontvetten

1-1 Threebond 2890 B

1-2 Ultrasoonbad oplosmiddel: 1) UTR 1421 — Fa. Unitech  
2) UTR 1423 —

1-3 Voor rubbers en kunststoffen Isopropylalcohol  
of Threebond 2890 B

#### 2. Mechanisch bewerken

2-1 Lijmvlakken schuren met schuurlijnen type 320

2-2 Stralen met glaspereels

#### 3. Aanbrengen van primer

3-1 Direct, binnen een minuut, hierna de lijmvlakken behandelen  
met primer van de firma Scotsch-Weld type 3911 lev. fa. 3M.

#### 4. Opnieuw ontvetten (niet meer met doekje)

4-1 Threebond 2890 B

4-2 Ultrasoonbad oplosmiddel: 1) UTR 1421 — Fa. Unitech  
2) UTR 1423 —

4-3 Voor rubbers en kunststoffen Isopropylalcohol  
of Threebond 2890 B



### 1.6.2 Type B

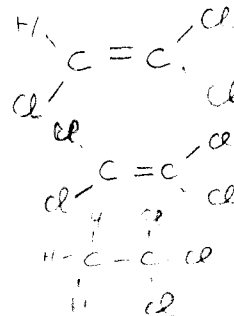
#### Dampontvetten

Het principe van dampontvetten is eenvoudig. De te reinigen oppervlakken worden in de damp van een kokend oplosmiddel gebracht. Deze oplosmiddelen kunnen zijn:

- trichloorethyleen (C<sub>2</sub>HC1<sub>3</sub>)

- perchloorethyleen (C<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>)

- 1.1.1. trichloorethaan (CH<sub>3</sub>-CCl<sub>3</sub>)



Toegestaan tot 01-01-1996 daarna alleen ingesloten opstelling met terugwin-installatie

Door verschil in temperatuur, van damp en te reinigen oppervlak, condenseert er een dun laagje oplosmiddel op de oppervlakken. De voor zover aanwezige oliën en vetten worden er zodoende afgespoeld. De ontvettingstijd is meestal maar enkele seconden. Deze methode is zeer geschikt voor reiniging van moeilijk bereikbare plaatsen, denk hierbij aan zeer kleine gaatjes.

### 1.6.3 Type C (chemische voorbehandelingen)

Speciaal geschikt voor aluminium.

Chroomzuur-anodiseren (P.M.F. Philips)

Er zijn voor extreme omstandigheden bijzondere voorbehandelingen te verrichten, bijvoorbeeld speciale beits-processen op fosfor-basis. Specialist hierin is de firma Mavom in Alphen aan de Rijn.

## 1.7 Lijmleveranciers

### 1.7.1 **Algemeen: TESTEN VAN DE LIJM**

Elke lijm die vermeld wordt in de lijmsleutel is eerst getest door CCT, dit is gedaan om optimale zekerheid over een lijmsysteem te verkrijgen.

### 1.7.2 **Twee componenten lijmen**

Er is gekozen voor Araldit.

De leveranciers hiervan zijn: \* Ciba Geigy (groot verpakking)  
\* Viba (klein verpakkingen)

### 1.7.3 **Een component lijm**

Er is gekozen voor Araldit.

De leveranciers hiervan zijn: \* Ciba Geigy (groot verpakking)  
\* Viba (klein verpakkingen)

#### 1.7.3.1 Araldit AV 118

#### 1.7.3.2 Araldit AV 119

### 1.7.4 **Hittebestendige lijmen**

#### 1.7.4.1 Loctite type 648 max.temp 175°C Loctite type 620 max.temp 220°C

#### 1.7.4.2 Scotch-Weld Film AF-31 tot 260°C Lev. 3M

- 1.7.4.3 Siliconen lijmen max.temp 315°C  
Permatex  
Lev. VIBA  
(Let op geringe sterkte)
- 1.7.4.4 Hittebestendige kit Cerastil max. temp 1000°C  
Lev. Stokvis
- 1.7.4.5 Hittebestendige kit Autostic max. temp 1000°C  
Lev. Laagland
- 1.7.4.6 Hittebestendige kit Lev. Laagland max. temp 1500°C  
CB1500
- 1.7.4.7 Hittebestendige kit max. temp 2000°C  
typen: 901  
918  
920  
940  
944  
Fabr. Kager  
Lev. Groneman-Hepseria
- 1.7.5 **Anaërobe lijmen**
- 1.7.5.1 Loctite  
Threebond
- 1.7.6 **Multibond** (twee componenten lijm op acrylaatbasis)
- 1.7.6.1 Loctite
- 1.7.6.2 Loctite

1.7.7 **Cyanoacrylaatlijmen**

1.7.7.1 Loctite  
Treebond

1.7.8 **Bevestigen**

1.7.8.1 Loctite  
Treebond

## 1.8 Lijmkeuze

De meest ideale situatie zou zijn dat er één computer-programma beschikbaar is, waarin de tot nu toe bekende lijmtechnologie verzameld is. De noodzakelijke gegevens kunnen dan in het programma verwerkt worden waarna het advies tenslotte uitgeprint wordt. Zover is het helaas nog niet. Er zijn firma's die via een computer programma lijmadvies verstreken. Echter deze adviezen betreffen uitsluitend de producten welke de desbetreffende leveranciers verkopen en zijn daarom verre van volledig ten opzichte van het totale lijmaanbod! RSTEW heeft deze programma's wel ter beschikking. Voorlopig zijn de beschikbare programma's zeker niet toereikend. De volgende methode kan dan gehanteerd worden om tot een goede lijmkeuze te komen.

### 1.8.1 **Het lijmprobleem analyseren d.m.v. vragenformulier**

Auteur :C.W. Jager (tst. 2641)                      Aan :  
Afd. :RSTREW    Datum:  
Docnr. :CCT M93114/mvh

#### **VRAGENLIJST VOOR DE BEPALING VAN EEN LIJMKEUZE**

##### 1. GEGEVENS OVER DE TE VERBINDEN MATERIALEN

- Materiaal 1 ..      Handelsnaam ..      Chemische aanduiding ..  
- Materiaal 2 ..      Handelsnaam ..      Chemische aanduiding ..

Lineaire uitzetting materiaal 1 ..

Lineaire uitzetting materiaal 2 ..

Warmtegeleidingscoëfficiënt materiaal 1 ..

Warmtegeleidingscoëfficiënt materiaal 2 ..

2. LIJMCONSTRUCTIE

Type verbinding : - overlap ..  
- hoek ..  
- staaf ..  
- T-verbinding ..

3. BELASTING - Trek ..  
- Druk ..  
- Afpellen ..  
- Torsie ..  
- Wisselend ..

4. TYPE BELASTING - trek/druk .... N/mm<sup>2</sup>  
- afschuiving .... N/mm<sup>2</sup>  
- druk .... N/mm<sup>2</sup>

5. AFMETINGEN - ....  
- ....

6. RUWHEID - ....

7. PASSING - ....

8. AANTAL TE LIJMEN ONDERDELEN

9. DOSERING VAN DE LIJM

10. TEMPERATUUR

11. CHEMISCHE OMSTANDIGHEDEN

12. ADVIES\*

- lijmtipe

13. VOORBEHANDELING

- 1.8.2 Een keuze maken uit een van de HOOFDLIJMSYSTEMEN.
- 1.8.3 Een keuze maken uit het gekozen hoofdsysteem.
- 1.8.4 Een keuze maken uit de voorbehandelingsmethoden 1.5

\* Uiteraard zonder daarmee aansprakelijkheid te aanvaarden voor de juistheid of volledigheid van de verstrekte informatie.

## 1.9 **Hoofdlijmsystemen**

Om tot een verantwoorde lijmkeuze te komen, spelen tal van factoren een rol. De te lijmen vlakken moeten in de eerste plaats zijn voorbehandeld zoals is omschreven in hoofdstuk 1.5 van de lijmsleutel.

Vervolgens moet men met de volgende factoren rekening houden; zie het vragenformulier van hoofdstuk 1.8.1.

Door de grote verscheidenheid in de te verlijmen materiaalsoorten en de eisen die aan de verbinding worden gesteld, zijn meerdere lijmsystemen noodzakelijk.

Bovendien moet men kennis hebben van het mechanisme dat een lijm doet verharden en hechten.

De verschillende lijmsoorten kan men in de volgende **HOOFD**-groepen onderverdelen:

### 1.9.1 **1-komponenten konstruktielijmen**

(uitharding alleen bij 120-150°C)

### 1.9.2 **2-komponenten konstruktielijmen**

(uitharding bij kamertemperatuur, eventueel bij hogere temperatuur)

### 1.9.3 **Epoxylijmen**

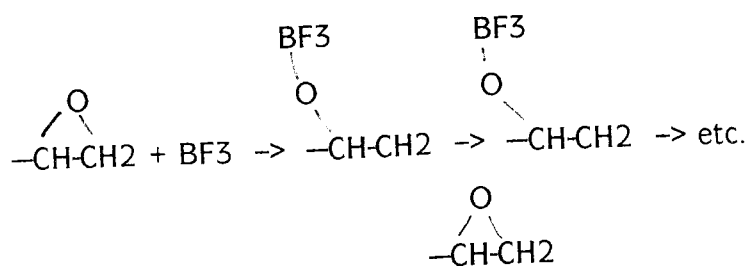
Kenmerken. Epoxylijmen zijn zeer universele lijmen die in prijs en eigenschappen sterk kunnen verschillen. De warm uithardende typen zijn meestal zeer sterk, zijn bestand tegen relatief hoge temperaturen en tal van chemicaliën. De bij kamertemperatuur uithardende typen hebben minder goede eigenschappen, maar zijn makkelijker te verwerken.



Onderverdeling. Epoxylijmen zijn op verschillende manieren onder te verdelen. Wanneer men naar de uitharding kijkt dan zijn de 2-componenten bij kamertemperatuur uithardende (2-c k.t.), de 2-componenten warmuithardende, de 1-component warmuithardende (1-c), de UV-hardende en de onder water te gebruiken typen te onderscheiden. Wanneer naar de mechanische eigenschappen wordt gekeken dan kunnen de ongemodificeerde en de taaigemaakte typen worden onderscheiden. Verder zijn er specifieke typen die met vulstoffen elektrisch of thermisch geleidend zijn gemaakt.

Uithardingschemie. Epoxies hebben als kenmerk dat ze allen de reactieve epoxy- of oxiraanring bevatten. De standaard epoxies zijn zogenaamde diglycidylethers van bisfenol-A (DGEBA). De vloeibare harsen hebben slechts één of enkele bisfenol-A eenheden in de keten. Bij meer eenheden wordt de hars al snel een vaste stof. Alifatische reactieve verdunners worden gebruikt om de viscositeit te verlagen. De flexibiliteit van de lijm kan vrij eenvoudig met de keuze van de verharder worden ingesteld. Desondanks worden er ook diglycidylethers van aromatische sulfiden, sulfonen en ethers gebruikt voor het verminderen van de brosheid. Verder zijn er de vinyloxiranen (epoxies met acrylaat-eindgroepen, die verharden volgens de acrylaatchemie) en de cycloalifatische epoxies. Cycloalifatische epoxies zijn reactiever ten opzichte van de warmhardende carboxylzuren verharders en verkleuren minder onder invloed van zonlicht. Polyfunctionele epoxies worden aan de harsen toegevoegd om de afschuifsterkte en bestandheid tegen chemicaliën en hoge temperatuur te verbeteren. Verharders zijn soms met epoxies voorgereageerd tot zg. adducten. Hiermee wordt de vluchtigheid en daarmee de giftigheid van de verharder (met name laagmoleculaire alifatische aminen) verminderd en kunnen de flexibiliteit en de mengverhouding worden geregeld.

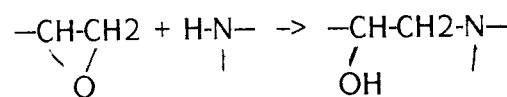
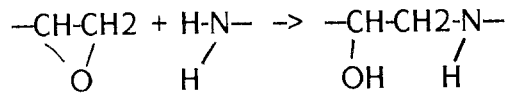
De verharders kunnen worden ingedeeld in Lewis-basen en Lewis-zuren. De Lewis-zuren (elektron accepterend), zoals boriumtrifluoride grijpen aan op het zuurstofatoom van de epoxiraanring en leiden tot homopolymerisatie:



De uitharding met boriumtrifluoride verloopt bij kamertemperatuur binnen seconden, waardoor de tijd voor goed mengen te kort is en er snel inwendige spanningen ontstaan. Daarom worden complexen van boriumtrifluoride of andere Lewis-zuren als verharder gebruikt. Deze zijn stabiel bij kamertemperatuur en ontleden langzaam bij hoge temperatuur of in seconden onder invloed van belichting met een UV-lamp, waarna uitharding optreedt (o.a. jodonium-, diazonium-, sulfonium- en ferroceencomplexen). Er ontstaan brosse lijmen waarvan de eigenschappen niet altijd even goed reproduceerbaar zijn, mede doordat het complex gevoelig is voor vocht. Trialkoxyboroxine splitst na hydrolyse een Lewis-zuur af en kan gebruikt worden voor het uitharden van epoxylijmen onder water.

Lewis-basen (electron donerend) grijpen aan op het secundaire koolstofatoom van de epoxiraanring. Meestal gaat het om verbindingen met een actief waterstofatoom, zoals primaire aminen, mercaptanen, carboxylzuur en fenolharsen. Ook met Lewis-basen is homopolymerisatie mogelijk, bijvoorbeeld met tertiaire aminen. Deze reactie verloopt echter niet snel en behoeft enige temperatuursverhoging alsmede spoortjes hydroxylgroepen. Tertiaire aminen worden ook veel gebruikt om de reactie met andere verharders te versnellen.

De primaire en secundaire aminen reageren tot secundaire resp. tertiare aminen:

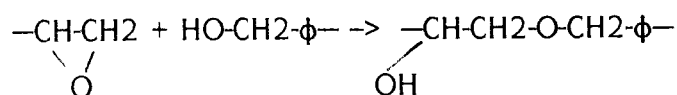
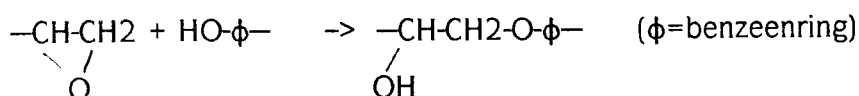


Bij verhoogde temperatuur kunnen zowel het gevormde -OH als de -NH tot verdere vernetting met epoxy-groepen leiden.

Alifatische primaire aminen zijn reactiever dan secundaire of aromatische, cycloalifatische en heterocyclische aminen. Secundair amine heeft enige catalytische werking en geeft na de reactie het catalytische tertiair amine. Daarom zijn laagmoleculaire aminen met zowel primaire als secundaire aminen in het molecuul de meest reactieve amineharders. Deze harden bij kamertemperatuur in enige uren uit (bij sterk exotherm zelfs in minuten). Aromatische, cycloalifatische en heterocyclische aminen dienen met een tertiair amine- of fenolcatalysator bij verhoogde temperatuur te worden uitgehard en geven lijmen met een betere bestandheid tegen chemicaliën en hoge temperatuur. Laagmoleculaire aminen geven brosse lijmen. De ongunstige mengverhouding (veel hars op weinig verharder) vergt nauwkeurige en dus dure meng- en doseerapparatuur. Verder hebben deze verbindingen een vieze reuk en zijn giftig. Daarom worden vaak amine getermineerde polyamiden (polyamidoamine), polyurethanen en polyethers (Jeffamine) gebruikt. Deze kunnen een mengverhouding van 1:1 geven en zijn daarmee bruikbaar in de handige dubbele cartoushes. De polyamidoamine verharder geeft een lijm met een uitstekende taaiheid tot -100 °C. De bestandheid tegen water is echter slecht vanwege de hoge vochtopname. De polyurethaan verharder leidt tot een uitstekende weerstand tegen pel.



Fenolharsen reageren tot ethers:



De reactie verloopt zelfs bij hoge temperatuur en met een tertiair amine als catalysator langzaam. Daarom worden de fenolharsen (meestal in de vorm van novolak) getermineerd met aminogroepen of worden met epoxyhars omgevormd tot adducten. Fenol-epoxies hebben de beste bestandheid tegen hoge temperatuur en chemicaliën en geven een uitstekende hechting op metalen. Ze zijn echter wel bros.

In het algemeen treedt bij de uitharding van een epoxylijm een geringe krimp op (hooguit enige procenten).

Applicatie. De 2-c k.t. hardende epoxylijmen kunnen in viscositeit variëren tussen enigszins visceuze vloeistoffen en niet-vloeiende pasta's. De verharder is soms laag visceus. Bij het handmatig mengen worden snel luchtballen ingeslagen, welke nadelig zijn voor de verbindingsterkte. Verder worden gauw fouten gemaakt met de mengverhouding. Met speciale meng- en doseerapparatuur kunnen deze problemen voorkomen worden.

Deze apparatuur is echter alleen lonend bij veelvuldig lijmverbruik. Voor kleine series zijn de dubbele cartouches met een wegwerp statische menger zeer handig. De 1-c warmhardende lijmen zijn pasta's, klevende tapes, smeltbare pellets of films. Tegenover het voordeel van het niet hoeven mengen staat het nadeel van het moeten verwarmen. Bovendien dient bij alle epoxies in vaste vorm enige fixatiedruk te worden uitgeoefend.

De 2-c epoxylijmen kunnen bij kamertemperatuur minimaal een jaar bewaard worden. De 1-c lijmen kunnen meestal tot een half jaar bewaard worden, mits gekoeld.

De 2-c epoxylijmen hebben bij kamertemperatuur een fixatietijd vanaf enkele minuten tot enige uren en harden uit in enige uren tot dagen. De uitharding treedt bij sommige typen ook bij lagere temperatuur (ca. 0 °C) op, maar verloopt dan aanzienlijk langzamer. Anderzijds wordt de uitharding bij verhoogde temperatuur altijd flink versneld en ook de verbindingsterkte alsmede de bestandheid tegen chemicaliën en een verhoogde temperatuur wordt er door verbeterd. Wanneer grote hoeveelheden lijm in één keer worden aangemaakt dient rekening gehouden te worden met een verkorte potlife ten gevolge van de reactiewarmte. De 1-c warmhardende epoxylijmen harden in enige minuten tot een uur uit bij temperaturen tussen 120 en 180 °C. Dit maakt ze ongeschikt voor tal van kunststoffen. Bovendien ontstaan bij materialen met een verschil in thermische uitzetting spanningen, welke nadelig zijn voor sterkte en de duurzaamheid. In principe is een uithardtijd van enige tientallen seconden mogelijk. Hierbij zal de opwarmtijd van de te verlijmen delen echter bepalend worden.

Hechting. Epoxylijmen hechten o.a. vanwege de bij de uitharding vrijkomende hydroxylgroepen uitstekend op metalen, glas, keramiek en hout. Met de standaard typen kan met een goed voorbehandeld metaal een afschuifsterkte van 20 tot 25 N/mm<sup>2</sup> worden bereikt. Epoxyfilms kunnen zelfs een afschuifsterkte tot 40 N/mm<sup>2</sup> geven. De hechting op composietmaterialen is eveneens erg goed. Met kunststoffen en rubbers worden zeer wisselende resultaten verkregen. Een voorbehandeling geeft hierbij over het algemeen een duidelijke verbetering. De hechting van epoxies is erg gevoelig voor verontreinigingen, zoals met name olie en vet. Hoewel er wat meer olie-tolerante typen zijn ontwikkeld, is reinigen bijna altijd een vereiste.

Mechanische eigenschappen. Epoxies zijn van nature bros en hebben daardoor een lage weerstand tegen pelbelasting. De flexibiliteit kan worden verhoogd door het kiezen van harsen of verharders met flexibele ketendelen of door het toevoegen van een weekmaker. Dit gaat echter ten koste van de bestandheid tegen chemicaliën en hoge temperatuur. De beste resultaten worden verkregen met de taaigemaakte epoxies. Hierbij is een vloeibare rubber opgelost in de epoxyhars en ontmengt gedurende de uitharding tot goed verdeelde zeer kleine rubber deeltjes. De rubber (vaak

een copolymeer van butadieen en acrylonitril) bevat eindstandige amino- of carboxylzuurgroepen (ATBN resp. CTBN) en wordt samen met de verharder toegevoegd of bevindt zich reeds in de epoxyhars. Door de chemische verknoping met de epoxymatrix wordt een goede taaiheid, pelsterkte en schokbestendigheid gecombineerd met een hoge afschuifsterkte. Vanwege de beperkte chemische bestendigheid van de butadieenrubber worden ook wel andere rubbers (o.a. nitrilrubber) gebruikt. Epoxies kruipen weinig.

Temperatuurbereik en chemische bestandheid. De minimale gebruikstemperatuur bedraagt doorgaans ca.  $-40^{\circ}\text{C}$ . Vooral de meer flexibele polyamidoamine en polyurethaan typen zijn geschikt voor temperaturen tot  $-80$  tot  $-100^{\circ}\text{C}$ . De bij kamertemperatuur uithardbare epoxylijmen kunnen tot maximaal  $+60$  à  $+80^{\circ}\text{C}$  gebruikt worden. Daarboven verweken ze teveel en kunnen dan aanzienlijk minder sterkte dragen. De meeste warmhardende epoxylijmen kunnen tot  $+120$  à  $+150^{\circ}\text{C}$  gebruikt worden. Enkele hoogwaardige typen gaan tot  $+180^{\circ}\text{C}$  en kortstondig tot even boven de  $+200^{\circ}\text{C}$ . De chemische bestendigheid is doorgaans goed voor zwakke zuren en basen, oliën, vetten en brandstoffen. Epoxies zijn slecht bestand tegen sterk polaire organische stoffen, zoals ketonen en esters. Door het polaire karakter van de bij de reactie vrijkomende hydroxylgroep wordt de hechting op met name metalen, glas en keramiek aangetast door water. Polyamidoamide verharders zwellen door vocht en geven eveneens een slechte bestandheid tegen water. Bij metalen kan in aanwezigheid van vocht soms corrosie optreden ten gevolge van chloorresten. De bestandheid tegen water kan worden verbeterd door het gebruik van primers of door aan de formulering hechtverbeteraars (o.a. silanen, gecarboxyleerde polyolefinen en polyaminen), vulstoffen en corrosieremmers toe te voegen. Verder zijn er speciale hydrofobe harsen en verharders en zijn er additieven die met de polaire hydroxylgroep reageren.

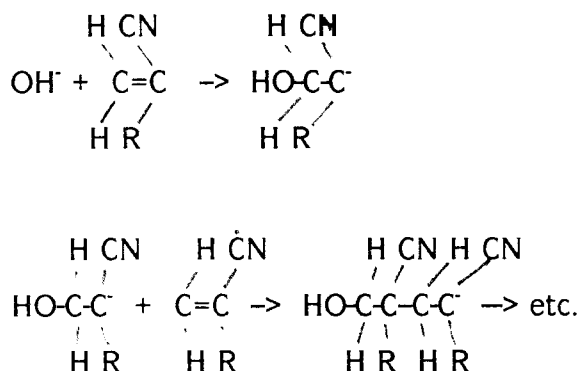
#### 1.9.4 **Cyanoacrylaatlijmen**

Kenmerken. Cyanoacrylaten zijn brosse lijmen die bij kamertemperatuur zeer snel uitharden. Per liter is de lijm duur. De lijm wordt echter hoofdzakelijk gebruikt voor kleine lijmoppervlakken, zodat er ook maar weinig

lijm nodig is. Bij kunststoffen bestaat het gevaar van spanningscorrosie.

Onderverdeling. De chemie van cyanoacrylaten leent zich niet voor veel variatie. Onderscheiden kunnen worden: de snel hardende en brosse methyl- en ethyltypen, minder brosse rubber gemodificeerde versies hiervan, de langzamer uithardende maar minder vluchtige minder brosse butyl- en alkoxytypen, de iets meer temperatuursbestendige allyl-gemodificeerde typen en cyanoacrylaat als niet-vloeierende gel.

Uithardingschemie. Cyanoacrylaten zijn 1-component lijmen die via een anionisch mechanisme uitharden. Deze reactie wordt geïnitieerd door de hydroxylionen van vochtsporen op het te lijmen oppervlak:



De uitharding hangt dus sterk af van de beschikbaarheid van vocht, ofwel de relatieve vochtigheid en de hydrofiliiteit van het oppervlak. Bij een relatieve vochtigheid lager dan 30% treedt geen volledige uitharding op. Bij een relatieve vochtigheid hoger dan 80% verloopt de uitharding zo snel, dat er veel inwendige spanningen in de lijmverbinding ontstaan.

Bij een zure pH kunnen er niet voldoende (basische) hydroxylionen bestaan. Vandaar dat de uitharding op zure oppervlakken (bepaalde metalen, houtsoorten, kunststoffen en met zuurstofplasma voorbehandelde kunststoffen) niet goed verloopt. Een sterke organische base kan als activator op deze oppervlakken worden gesprayed, waardoor de uitharding versneld wordt. Sporen van sommige reinigingsmiddelen, zoals trichloorethyleen, kunnen de uitharding eveneens vertragen.



De uitharding van de methyl- en ethylcyanoacrylaten verloopt bijzonder snel: binnen 10 tot 50 seconden wordt een fixatie verkregen. De eindsterkte wordt na 12 tot 24 uur bereikt. De andere typen fixeren wat trager (vanaf 80 seconden).

De lijm is met een spoortje zuur gestabiliseerd en kan in gekoelde (5 °C) en droge toestand minstens een half jaar bewaard worden. Alvorens de lijm te gebruiken dient deze op kamertemperatuur gebracht te worden, daar er anders vocht in de doseeropening condenseert, waardoor deze verstopt zou raken.

Omdat de uitharding vanaf het oppervlak plaats vindt, is de maximaal overbrugbare lijmspleet beperkt tot ca. 50 µm. De lijmvlakken dienen dus goed op elkaar te passen.

Applicatie. Cyanoacrylaatlijmen zijn doorgaans waterdun (vanaf 1 mPas), waardoor het mogelijk is om zeer nauwkeurig te doseren. De als druppel aangebrachte lijm verspreidt zich door de capillaire werking zeer gemakkelijk over het oppervlak, zodra de vlakken worden samengevoegd. Om bij poreuze materialen, zoals hout, karton en papier, te voorkomen dat de lijm uit het lijmvlak wordt weggezogen, bestaan er versies met een verhoogde viscositeit (tot ca. 6000 mPas). Er is bovendien een cyanoacrylaat als gel, welke ook op verticale oppervlakken kan worden aangebracht. De visceuze typen harden wat minder snel uit.

Vanwege de relatief hoge prijs per liter en vanwege de snelle uitharding zijn cyanoacrylaten niet geschikt voor het verlijmen van grote vlakken.

Methyl- en ethylcyanoacrylaat verdampen gedeeltelijk en kunnen op het te lijmen voorwerp neerslaan en polymeriseren. Dit geeft een witte waas (bloom), die vooral in decoratieve toepassingen ongewenst is. Butylcyanoacrylaat en alkoxyethylcyanoacrylaat verdampen minder makkelijk en leiden tot volkomen transparante lijmverbindingen. Deze varianten harden echter duidelijk trager uit. Cyanoacrylaten staan er verder om bekend dat ze op amorfe kunststoffen met inwendige spanningen spanningscorrosie kunnen veroorzaken.

Cyanoacrylaat in niet-uitgeharde toestand is niet bijzonder giftig (er bestaan zelfs versies die in de chirurgie worden toegepast). De vluchtige typen hebben echter een nare geur en kunnen oogirritaties opwekken. Een groot gevaar is het verkleven van vingers of oogleden. Wanneer dit heeft plaatsgevonden dient er bij voorkeur niet gesneden te worden. Met een lauwe zeepoplossing en enig geduld kunnen de lichaamsdelen weer gescheiden worden.

Hechting. Met cyanoacrylaten kunnen metalen, glas, keramiek, hout, papier, diverse kunststoffen en rubbers verlijmd worden. Methylcyanoacrylaat wordt vooral bij metalen gebruikt en geeft de hoogste afschuifsterktes (20-30 MPa), hard het snelst uit en is het meest bros. Ethylcyanoacrylaat wordt vooral bij rubbers en kunststoffen gebruikt. Niet zelden wordt de materiaalsterkte overtroffen. De beste resultaten worden verkregen met polaire substraten. Voor apolaire substraten, zoals siliconen, EPDM-rubber, polyetheen en polypropreen bestaat een effectieve primer. Deze leidt echter tot een wat slechtere temperatuursbestandheid (max. 40-60 °C).

Mechanische eigenschappen. Cyanoacrylaatlijmen zijn brosse lijmen en geven in vergelijking met andere lijmen verbindingen een met lage pelsterkte, een slechte slagvastheid en een slechte weerstand tegen vermoeiing. Er bestaan enigszins taaigemaakte typen. De afschuifsterkte is meestal uitstekend. Aanvankelijk is het polycyanoacrylaat nog wat verweekt door restanten monomeer. In de loop der tijd of bij een temperatuursverhoging polymeriseert ook dit monomeer en neemt de brosheid toe. Er bestaan minder brosse typen met rubberdeeltjes of weekmakers. Deze harden echter minder snel uit en hebben een minder goede temperatuursbestandheid.

Temperatuurbereik en chemische bestandheid. Standaard cyanoacrylaatlijmen kunnen worden toegepast tussen -20 en +60 à 80 °C. Bij hogere temperaturen neemt de bindingssterkte in de loop der tijd snel af. Een van de redenen is depolymerisatie, welke bij ±165 °C tot volledige terugvorming van het monomeer leidt (dit is dan ook de manier om een lijmverbinding te demonteren).

Er zijn typen met crosslinkers (o.a. allyl esters) die tot maximaal 100 à 120 °C te gebruiken zijn. Een andere reden bij metalen is het verlies aan hechting. Daarom worden vaak hechtingsverbeteraars toegevoegd.

De bestandheid tegen water is bij substraten met een hoge oppervlakte-energie (metaal, keramiek en glas) slecht, vooral wanneer het oppervlak alkalisch is (zoals glas en magnesium houdend aluminium). Er treedt keten-degradatie en verdringing op. De bestandheid tegen water is bij rubbers en kunststoffen vaak uitstekend, echter niet altijd. Cyanoacrylaten zijn slecht bestand tegen sterk polaire en aprotische oplosmiddelen (met dichloormethaan en 1,1,1-trichloorethaan kunnen lijmresten verwijderd worden). De bestandheid tegen olie is meestal goed. De chemische bestandheid van gecrosslinkte typen is uiteraard wat beter.

#### Het verhardingsmechanisme

In de fles blijven cyanoacrylaatlijmen vloeibaar door een zure stabilisator die de lijmoleculen verhindert ketens te vormen. Wordt deze stabilisator geneutraliseerd dan heeft de ketenvorming van de moleculen doorgang en treedt stolling op. De gedeeltelijk geïoniseerde watermoleculen, die zich op vrijwel ieder oppervlak bevinden dat aan de lucht is blootgesteld, kunnen dit. Zij heffen als de lijm wordt aangebracht, de stabilisatorwerking op; de moleculen hechten zich aaneen en verharding begint. Van groot belang bij het lijmen met cyanoacrylaatlijm is dat de relatieve vochtigheidsgraad goed is, ca. 60%.

In de lijm-afdeling van RSTEW staat daartoe een speciaal voor dit doel aangekocht apparaat. De relatieve vochtigheidsgraad blijft nu voortdurend goed en tevens worden eventuele schadelijke dampen afgezogen. Er is door de afd. CCT een speciaal lijm-doseerapparaat gekocht, om exact de juiste hoeveelheid lijm te doseren.

#### 1.9.5 **Anaërobe lijmen**

Kenmerken. Anaërobe producten zijn vloeibare harsen. Ze verharden bij kamertemperatuur bij contact met metaal en uitsluiting van zuurstof. Het

metaal werkt als katalysator, waarbij bijvoorbeeld messing zeer actief is en aluminium weinig actief, hetgeen invloed heeft op de uithardingstijd.

Onderverdeling. De viscositeit van de anaërobe lijmen varieert van 10 tot 15, 100 tot 150 en 1000 tot 10.000 m Pa.s.

Uithardingschemie. De uithardingstijd is afhankelijk van vier factoren: materiaalkeuze, verontreiniging, speling en temperatuur.

Applicatie. Anaërobe produkten zijn doorgaans dun vloeibaar waardoor het mogelijk is om nauwkeurig te doseren. Vanwege de relatief hoge prijs per liter en vanwege de snelle uitharding zijn anaërobe lijmen niet geschikt voor het verlijmen van grote vlakken.

Hechting. Op koper en haar legeringen hecht anaërobe lijm zeer snel, op ijzer en staal minder snel, traag op roestvast staal en aluminium, terwijl kunststof als passief wordt ervaren.

<b>Actieve materialen</b>	<b>Passieve materialen</b>
Staal	Hoog gelegeerd staal
Messing	Aluminium
Brons	Nikkel
Koper	Zink
IJzer	Tin
	Zilver
	Goud
	Oxyde laag
	Gechromateerd
	Geanodiseerd
	Kunststoffen
	Keramiek

Mechanische eigenschappen. Anaërobe lijmen worden veelvuldig toegepast bij het verlijmen van kogellagers en andere pas-verbindingen. Voornamelijk toegepast met metalen.

Temperatuurbereik en chemische bestandheid. De meeste anaërobe produkten hebben bij 150°C nog 50% van hun nominale sterkte. Teruggekeerd op kamertemperatuur, verkrijgen zij hun oorspronkelijke waarden. Binnen het gebied -60°C tot +150°C bewegen sterkte en temperatuur zich in tegengestelde richting.

Anaërobe produkten zijn bestand tegen water, olie synthetische smeermiddelen, vloeibare brandstoffen en koelvloeistoffen. Opmerking: gebruik anaërobe produkten nooit bij vloeibaar of gasvormig zuurstof.

Het verhardingsmechanisme. De werking van anaërobe lijmen berust op een polymerisatie proces waarbij het vloeibare monomeer overgaat in een vaste fase, het polymeer. De monomeermoleculen bevatten koolstofatomen met dubbele binding. Doordat dit speciale monomeer aan ieder eind een methacrylaat groep heeft, worden de gevormde polymeerketens met elkaar verbonden en treed "cross-linking", ook wel vernetting genoemd, op. Met andere woorden: anaeroben harden pas uit als ze worden uitgesloten van zuurstof zoals dit bijvoorbeeld plaats vindt bij het bevestigen van een kogellager of het vastzetten van een bout/moer verbinding.

#### 1.9.6 **Hotmelt lijmen**

Hotmelt is een 100% vaste stof en bevat geen water of oplosmiddel. Deze hotmeltlijmen worden vloeibaar op één van de twee te lijmen materialen aangebracht. De verbinding wordt tot stand gebracht door het tweede materiaal op de nog vloeibare hotmelt aan te brengen, waarna door afkoeling de verbinding gemaakt wordt.

#### 1.9.7 **Gemodificeerde acrylaatlijmen**

Dit zijn twee componenten lijmen op acrylaat basis. Het bijzondere hierbij is, dat de twee componenten niet vooraf behoeven te worden gemengd

maar afzonderlijk worden aangebracht op de te lijmen oppervlakken.

#### 1.9.8 Polyurethaan (PU) lijmsystemen

Deze polyurethaan lijm wordt veel toegepast in de autoindustrie. De bereikbare schuifsterkte is aanmerkelijk lager als bijvoorbeeld een 2 component epoxylijm, nl. 2 - 8 N/mm<sup>2</sup>.

Afhankelijk van de DIKTE der lijmlaag kan een zeer elastische verbinding geconstrueerd worden.

Kunststoffen kunnen met PU goed aan metalen gelijmd worden.

#### 1.9.9 Polyurethaan Hotmelt; Algemeen

De "normale" hotmeltlijmen, hebben het nadeel nauwelijks bestand te zijn tegen temperatuurverhoging. Gedurende de laatste 10 jaar is naar een mogelijkheid gezocht om een hotmelt te ontwikkelen, die bij een betrekkelijk lage temperatuur verwerkbaar is en tevens cross-linking eigenschappen heeft.

De vochtuithardende polyurethanen beantwoorden aan het criterium van deze betrekkelijk lage verwerkingstemperatuur; 120°C

Bij gebruik van een polyurethaan hotmelt, moet met het volgende rekening worden gehouden:

- \* aanpassen van de opbrengmethode (dure doseerapparatuur);
- \* verwerkingseigenschappen: open tijd, aanvangshechting, uithardingstijd;
- \* de minimale hoeveelheid waterdamp, voor uitharding.

#### 1.9.10 Polyurethaanlijmen

Kenmerken. Polyurethaanlijmen zijn relatief goedkope en zeer universele lijmen die op tal van materialen goed hechten. Ze kunnen variëren van rubber-achtig tot hard. Uitharding bij kamertemperatuur is goed mogelijk, en kan zowel langzaam als snel verlopen. De temperatuursbestandheid is beperkt tot +120 °C. Polyurethanen zijn goed bruikbaar in toepassingen bij

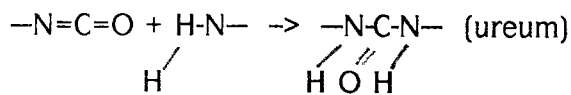
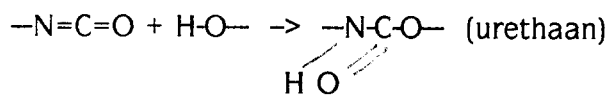
zeer lage temperatuur.

Onderverdeling. Polyurethaanlijmen zijn onder te verdelen in 1-component vocht-uithardende typen (meestal katten), 1-component warmhardende typen en 2-componenten bij kamertemperatuur uithardende typen. De polyurethaan hotmelts die onder invloed van vocht naharden worden in paragraaf 2.3 apart besproken. Verder bestaan er polyurethaan dispersielijmen en oplosmiddelgedragen polyurethaanlijmen. Dit zijn echter geen lijmen voor constructieve toepassingen en zullen hier niet besproken worden. Wanneer naar de chemie gekeken wordt, dan kunnen de aromatische en de alifatische typen op basis van polyether of polyester onderscheiden worden. Polyurethanen zijn meestal gevuld of gepigmenteerd. Er bestaan echter ook transparante typen, waarvan er slechts enkele kleurloos zijn.

Uithardingschemie. Één van de componenten van een 2-componenten polyurethaanlijm is een meestal dun vloeibare bi- of polyfunctionale isocyaanaat. Vanuit het oogpunt van de extreme giftigheid gaat de voorkeur uit naar isocyanaten met een lage vluchtigheid. Als aromatisch isocyaanaat komt methyleendifenyldiisocyaanaat (MDI) vaak voor en als alifatisch isocyaanaat hexamethyleendiisocyaanaat (HMDI). Aromatische isocyanaten zijn reactiever en hebben een betere bestandheid tegen oxydatie dan alifatische isocyanaten. Alifatische isocyanaten kunnen, in tegenstelling tot aromatische isocyanaten, kleurloos zijn en vergelen aanzienlijk minder in zonlicht. Omdat de sterkte en stijfheid van de uitgeharde lijm sterk samenhangen met de kristallisatie (zie verder), hebben symmetrische en dus goed kristalliseerbare isocyanaten vaak de voorkeur. De vernettingsgraad heeft eveneens een invloed op de sterkte, stijfheid en chemische bestandheid. Deze kan o.a. verhoogd worden door polyfunctionele isocyanaten in te zetten. De viscositeit, de mengverhouding en de vluchtigheid kunnen beïnvloed worden door z.g. precursors te maken uit isocyanaten en laagmoleculaire diolen (meestal 1,4-butaandiol) of (aromatische) diamines.

Isocyanaten reageren met een groot aantal functionele groepen die met elkaar gemeen hebben dat ze een waterstofatoom kunnen afstaan. Moge-

lijk is dat een reden voor de vaak goede hechting aan tal van substraten. Als tweede component worden voornamelijk moleculen met eindstandige hydroxylgroepen (di- of polyolen) of aminogroepen (di- of polyamine) ingezet. Bij kamertemperatuur treden respectievelijk de volgende reacties op:



Voor de laatste reactie is de term "polyurethaanlijm" dus in feite onjuist. Alifatische aminen reageren zo snel met isocyanaat dat deze mengproblemen geven en te weinig tijd hebben om het substraat goed te bevochtigen. Daarom worden ze niet in lijmen toegepast. Aromatische aminen reageren wel langzaam genoeg.

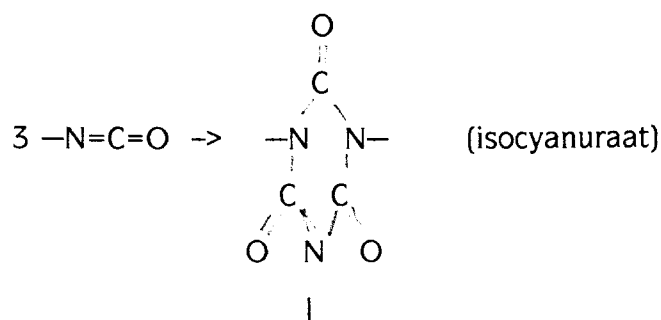
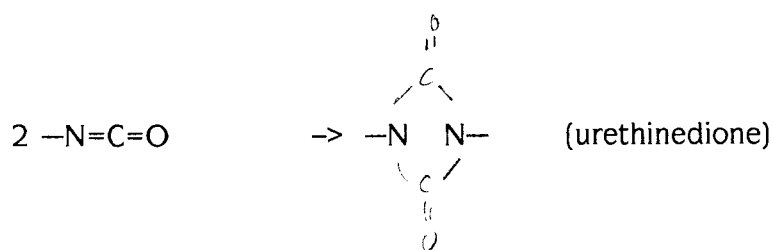
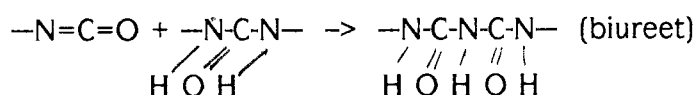
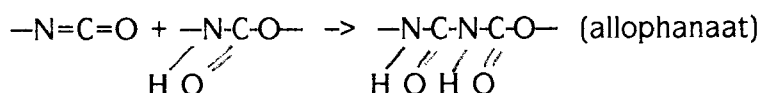
De diolen bestaan hoofdzakelijk uit hydroxyl getermineerde alifatische ethers of polyesters. De polyethers geven ten opzichte van polyesters een betere flexibiliteit, welke tot zeer lage temperaturen behouden blijft, en zijn beter bestand tegen hydrolyse. De polyesters geven echter weer lijmen met een hogere sterkte, stijfheid en een goede chemische bestandheid en zijn beter bestand tegen oxydatie. Verder kunnen hydroxyl-getermineerde polycarbonaten, polyisobutyleen en polybutadieen gebruikt worden. Deze geven een betere bestandheid tegen hydrolyse. De polycarbonaten geven mechanische eigenschappen vergelijkbaar met die van de polyesters en de beide rubbers geven flexibele lijmen. Polyolen en polyaminen leiden tot een toename in vernettingsgraad. Hierdoor verbeteren de sterkte, de stijfheid en chemische bestandheid.

De reactie tussen een diol en het isocyanaat is niet bijzonder snel. Gewoonlijk treedt fixatie pas na enige uren op. Door een tertiair amine of een organotin verbinding (zoals tin-octoaat of dibutyl-tin-dilauraat) als catalysa-



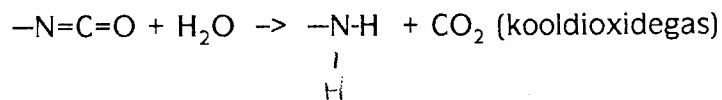
tor toe te voegen, wordt de reactie versneld en kan de fixatietijd worden teruggevoerd tot enige minuten. De reactie verloopt ook bij temperaturen onder kamertemperatuur. Een temperatuursverhoging leidt tot een versnelde uitharding.

Kenmerkend voor polyurethanen is, dat de "harde" ketendelen (de aromatische isocyaanaten) kristalliseren in kleine domeintjes en daarmee als fysische vernettingspunten in de matrix van de "zachte" ketendelen dienen. Dit draagt bij aan de sterkte van de lijm en zorgt daarmee voor de flexibiliteit. Inherent aan deze structuur is de beperkte bestandheid tegen verhoogde temperaturen. Boven ca. 120 °C vallen de fysische vernettingspunten uiteen. Wanneer een polyurethaanlijm bij hoge temperatuur (>100 °C) wordt uit- of nagehard, kunnen ook de volgende reacties optreden:



Al deze reacties dragen bij tot een extra vernetting, waardoor de sterkte, de stijfheid en de chemische bestandheid toenemen. De laatste twee reacties worden gecatalyseerd door alkalicarboxylaten, tertiaire aminen en trialkylfosfines. Bij temperaturen hoger dan 130 °C ontleden de allophanaat- en de biureetgroepen. De isocyanuraatgroepen zijn wel thermisch stabiel. Vanaf 150 tot 200 °C worden ook de urethaan- en de ureumgroepen afgebroken. De beperkte thermische stabiliteit is dus ook inherent aan de chemie.

Isocyanaat reageert ook met vocht:



Het kooldioxidegas leidt tot schuimvorming. Het gevormde amine reageert weer verder met een volgende isocyanaatgroep (zie eerder). Op deze wijze is het dus mogelijk dat vocht tot een chemische verknoping van de lijm-moleculen leidt. Ook "isocyanaat-vrije" polyurethaanlijmen verhardten onder invloed van vocht. In dit geval zijn de polyurethaanketens aan de uiteinden voorzien van silaangroepen en verloopt de uitharding op dezelfde wijze als bij de siliconenlijmen (zie paragraaf 2.6). Bij de 2-componenten polyurethaanlijmen is de schuimvorming te beperken door het te lijmen materiaal te drogen, te zorgen dat de lijm tijdens de opslag en verwerking geen vocht kan opnemen en door zodanig te mengen dat er geen luchtbellen (met vocht) worden ingeroerd. Indien dit toch gebeurt, dan is ontluften nodig. Een kleine hoeveelheid oppervlakte-actieve stof kan worden toegevoegd om dit te bespoedigen. Bij vocht-uithardende polyurethaanlijmen is eventuele schuimvorming niet te voorkomen. Vocht-uithardende polyurethaankitten bevatten echter zo weinig isocyanaatgroepen dat er nauwelijks schuimvorming optreedt. Bij de vocht-uithardende polyurethanen is het van belang dat de relatieve vochtigheid niet minder dan ca. 50% en niet meer dan ca. 70% bedraagt. Verlijmingen van grote niet poreuze vlakken zijn problematisch omdat het vocht niet diep in de lijmverbinding kan doordringen. Wil men toch vlakken verlijmen, dan dient de lijm in een

zodanig patroon (stippen of rupsen) te worden aangebracht, dat vochtige lucht vrijelijk tussen de vlakken kan doorstromen.

De 1-component warmhardende polyurethaanlijmen kunnen bestaan uit goed gedispergeerde vaste diolen of vaste isocyanaten die bij verhoogde temperatuur (ca. 150 °C) smelten, oplossen en reageren. De reactie bij deze temperatuur kan erg snel zijn. Fixatietijden van enige tientallen seconden zijn mogelijk. Ook bestaan er chemisch geblokkeerde diolen en isocyanaten (b.v. instabiele biureten) die bij hoge temperatuur ontleden en reactief worden.

Bij geen van de uithardingsreacties treedt veel krimp op.

Applicatie. De harsen van 2-componenten polyurethaanlijmen kunnen in viscositeit variëren tussen enigszins visceus (ca. 1000 mPas) tot niet-vloeibare pasta's. De verharder (isocyanaat) is doorgaans dun vloeibaar. Hoewel een juiste mengverhouding in acht dient te worden genomen, is enige variatie ten behoeve van het beïnvloeden van de mechanische eigenschappen toegestaan. Meestal is er weinig verharder op veel hars nodig. Er zijn echter ook 1:1 systemen. Zoals reeds genoemd, dienen bij handmatig mengen luchtinsluitingen zoveel mogelijk voorkomen te worden. Vaak worden automatische meng- en doseerapparatuur gebruikt. Een nadeel van de verharder is, dat deze ten gevolge van de reactie met vocht tot aancoeking kan leiden. Fixatietijden vanaf enige tientallen seconden zijn mogelijk. Volledige uitharding treedt meestal pas na langere tijd op. Bij verhoogde temperatuur kan de uitharding reeds in enige tientallen minuten bereikt worden.

De 1-component vocht-uithardende polyurethaanlijmen zijn meestal hoogvisceuze katten. Deze worden vaak in cartouches geleverd, die met behulp van een manueel of pneumatisch pistool kunnen worden leeg gespoten. Voor het lijmen van hout bestaan echter ook typen met een aanzienlijk lagere viscositeit. Deze worden meestal in flacons geleverd. Zoals reeds genoemd dient er bij het gebruik van 1-componenten vocht-uithardende polyurethaanlijmen rekening mee gehouden te worden dat vocht voldoende in de lijm kan doordringen (maximaal enige millimeters). De fixatietijd

bedraagt, afhankelijk van de beschikbaarheid van vocht, enige uren. Kitten hebben meestal een goede "groene sterkte", zodat het product ook zonder enige uitharding (voorzichtig) gehanteerd kan worden. Ook bij temperaturen lager dan kamertemperatuur en boven het vriespunt, treedt uitharding op.

De 1-component warmhardende polyurethaanlijmen harden pas bij circa 150 °C uit. De uitharding neemt enige minuten in beslag, maar kan ook zeer snel zijn.

Hechting. Polyurethanen staan bekend om een uitstekende hechting aan tal van materialen, waaronder met name hout, kunststoffen, rubbers (uitgezonderd de apolaire typen). In tegenstelling tot de betere epoxies kunnen met polyurethaanlijmen geen uitzonderlijk hoge afschuifsterktes worden bereikt (maximaal 15 à 25 MPa op goed voorbehandeld metaal).

Als voorbehandeling kan meestal met een eenvoudige reiniging met een ontvettingsmiddel worden volstaan. Aan het reinigingsmiddel voor metalen, glas en keramiek wordt soms een silaanprimer toegevoegd om de duurzaamheid in aanwezigheid van vocht te verbeteren. Op metalen is de duurzaamheid doorgaans minder dan met epoxylijmen het geval is. Vaak wordt een op epoxy gebaseerde primer aanbevolen. Metalen zoals ijzer en vooral koper versnellen de thermo-oxidatieve afbraak. Hoewel composietmaterialen zich goed laten verlijmen is de duurzaamheid bij hogere temperaturen nog wel eens problematisch.

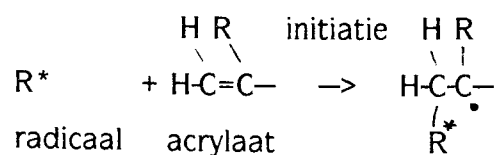
Mechanische eigenschappen. Polyurethanen zijn inherent taai en flexibel en kunnen een rek-bij-breuk hebben van vele tientallen tot honderden procenten. Deze mechanische eigenschappen zijn met de chemie van de lijm en het gebruik van vulstoffen eenvoudig binnen ruime grenzen te variëren. Door de hoge flexibiliteit hebben polyurethaanlijmen een uitzonderlijk goede afpelsterkte en weerstand tegen impact, die ook bij lage temperaturen behouden blijft. Verschillen in thermische uitzetting kunnen goed worden opgevangen.

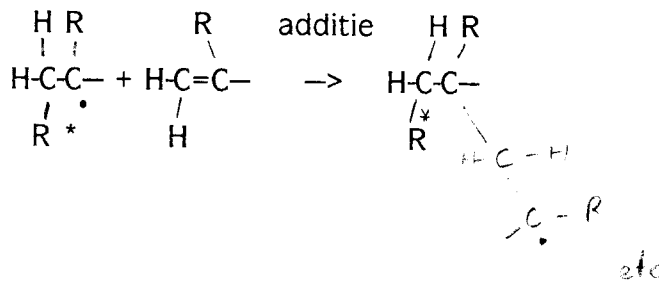
Temperatuurbereik en chemische bestandheid. De minimale gebruikstemperatuur bedraagt meestal ca. -80 °C. Met name de polyethertypen kunnen zelfs tot -200 °C gebruikt worden. De maximale gebruikstemperatuur is meestal ca. 80 à 100 °C. Kortstondig zijn temperaturen tussen 120 en 150 °C mogelijk. De chemische bestandheid is doorgaans goed voor oliën, vetten en brandstoffen. Bij niet al te hoge temperaturen is ook de bestandheid tegen water en zwak zuur of zwakke base goed. De chemische bestandheid is doorgaans iets minder goed dan bij epoxylijmen. De hechting aan met name metalen, glas en keramiek kan door water en door polaire oplosmiddelen wel worden aangetast. Aromatische polyurethanen vergelen erg sterk in (zon)licht. Alifatische typen doen dit veel minder. UV-licht heeft tevens een negatieve invloed op de hechting aan (transparant) glas of andere UV-doorlatende substraten.

### 1.9.11 Acryaatlijmen

Kenmerken. Acrylaten zijn flexibele en taaie universele lijmen die bij kamertemperatuur snel kunnen uitharden. Ze zijn wat duurder dan epoxy- en polyurethaanlijmen. Op amorphe kunststoffen kunnen ze spanningscorrosie veroorzaken.

Algemene chemie. Acrylaten bestaan uit prepolymeren, zoals polyacrylaten, epoxies (vinyloxiranen), polyurethanen en rubbers, welke zijn voorzien van eindstandige acrylaatgroepen. De prepolymeren zijn opgelost in reactieve acrylaatmonomeren (b.v. methylmethacrylaat). Gedurende de uitharding polymeriseert het monomeer en verbindt de prepolymeren. De polymerisatie is een snelle additiereactie, die geïnitieerd wordt door een radicaal:





Er bestaan verschillende manieren om de radicalen te genereren. Verder is er veel variatie in de chemie mogelijk. Hierdoor bestaan er verschillende acrylaatsorten: de anaërobe, de UV-hardende en de 2-componenten acrylaatlijmen. Deze zullen in de subparagrafen 2.4.1 t/m 2.4.3 beschreven worden. Ofschoon de cyanoacrylaten ook acrylaten zijn, hebben deze een wat andere uitharding en zullen daarom in een aparte paragraaf behandeld worden.

Acrylaatlijmen kunnen bij het uitharden aanzienlijk krimpen.

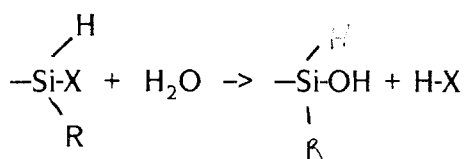
### 1.9.12 Siliconenlijmen

Kenmerken. Siliconenlijmen zijn rubber-achtige lijmen met een lage modulus, een hoge elasticiteit en een hoge rek-bij-breuk. De lijmen zijn inzetbaar vanaf zeer lage tot zeer hoge temperaturen. Siliconenlijmen kunnen in dikke lagen uitharden en worden daarom ook wel als afdichtingskitten gebruikt. Deze combinatie van eigenschappen maakt deze lijmen bij uitstek geschikt voor het opvangen van verschillen in thermische uitzetting. Siliconenlijmen hebben een lage cohesieve sterkte, zodat de meeste afschuifsterktes niet hoger zijn dan 2 à 3 MPa tot maximaal 5 MPa. Mechanisch zwaar belaste constructies kunnen er dus niet mee worden geassembleerd.

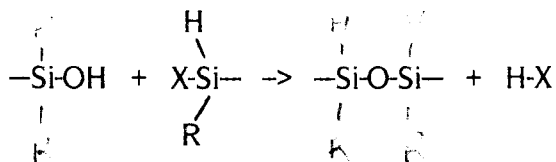
Onderverdeling. Naast de fysisch drogende siliconenlijmen, welke niet voor constructieve toepassingen geschikt zijn, zijn er vijf typen uithardende siliconenlijmen te onderscheiden. Het 1-component polycondensatietype (RTV-1) hardt bij kamertemperatuur uit onder inwerking van vocht uit de lucht. Het 2-componenten polycondensatietype (RTV-2) hardt zonder vocht uit. De uitharding wordt versneld door inwerking van vocht en door een tempera-

tuursverhoging. Het 1-component polyadditietype en het 2-componenten polyadditietype dienen bij verhoogde temperatuur te worden uitgehard. UV-uitthardende siliconenlijmen zijn momenteel nog in ontwikkeling.

Uithardingschemie. De 1-component typen harden bij kamertemperatuur uit door inwerking van vocht wat aanwezig is op het te lijmen oppervlak en in de lucht. Dit vocht diffundeert de lijm in en hydrolyseert daar de Si-X binding (met  $X = -NHR$ ,  $-OCOCH_3$  of  $-O-N=CR_2$ ). Hierbij ontstaat de reactieve Si-OH groep en wordt een amine, azijnzuur resp. een oxim afgesplitst:



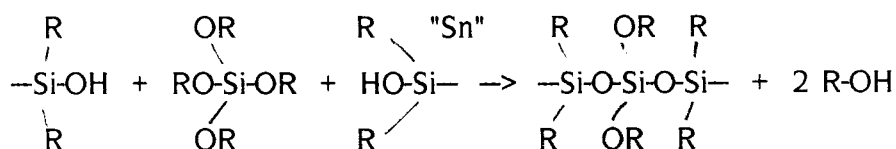
Het amine veroorzaakt een basische pH, het azijnzuur een zure pH en het oxim een neutrale pH. Bij het lijmen van metalen kan het azijnzuur afsplitsende type beter gemeden worden, daar azijnzuur nogal eens corrosie veroorzaakt. Bovendien kan azijnzuur tot ionengeleiding leiden en is daarom niet geschikt voor elektrische toepassingen. Amine leidt bij kunststoffen soms tot spanningscorrosie of een lichte geel-kleuring. In een volgende reactiestap reageert de silanolgroep (Si-OH) met een andere Si-X. Hierbij wordt weer een molecuul amine, azijn of oxim afgesplitst en worden twee siloxaan ketens met elkaar verknoopt (Si-O-Si):



Deze reactie noemt met polycondensatie. De uithardingsnelheid is traag (ca. 2 mm per 24 uur) en hangt af van de relatieve vochtigheid. Deze dient niet lager dan 40 % te zijn. Grote vlakken kunnen alleen verlijmd worden wanneer de lijm in stippen of rupsen wordt aangebracht, zodanig dat vocht-

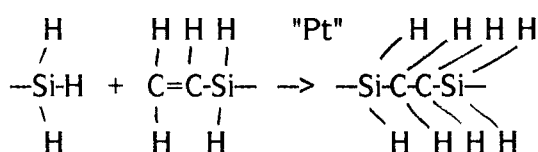
houdende lucht ook tussen de vlakken door kan stromen en de stippen of rupsen doet uitharden. Door de aanwezigheid van silanolgroepen is de hechting aan glas en metalen vaak erg goed. Azijnzuur afsplitsende typen vertonen over het algemeen de beste hechting.

Bij de 2-componenten polycondensatietypen wordt vlak voor de verlijming de siliconenhars gemengd met een catalysator (meestal een organo-tin verbinding, zoals dibutyltindilauraat of tin-octoaat, maar ook lood-, zink-, zirconium- en antimoonverbindingen komen voor) en een kiezelzure ester (Si(OR)<sub>4</sub>) of een titaanester. De silanolgroepen in de siliconenhars worden catalytisch verknoopt met de kiezelzure ester, waarbij alcohol wordt afgesplitst:



De reactie kan naar believen versneld worden door de hoeveelheid catalysator te verhogen of door de temperatuur te verhogen. De snelste typen hebben een fixatietijd van ca. 1 uur bij kamertemperatuur en een uithardingstijd van ca. 1 à 2 dagen of ca. 2 uur bij 70 °C. Vocht bespoedigt de uitharding, maar is niet beslist noodzakelijk, zodat de hars in onbeperkte diktes kan doorharden. De reactie is reversibel zodat er bij te hoge temperaturen weer ketenafbraak optreedt. De temperatuursbestandheid is daarom beperkt tot ca. 150 °C.

Bij de 2-componenten polyadditietypen treedt verknoping op door een reactie tussen vinylgroepen (Si-CH=CH<sub>2</sub>) en Si-H:



Deze reactie wordt gecatalyseerd door chloro-platinazuur, hetgeen deze



klasse van siliconenlijmen extra duur maakt. Ook nikkel-, cobalt- of rhodiumtrifenyfosfazines of cobalt- of ijzercarbonyl worden als catalysator gebruikt. Aangezien deze reactie niet reversibel is, kunnen met deze lijmen de hoogste bedrijfstemperaturen worden bereikt (tot +260 °C en kortstondig tot boven 300 °C). De catalysator kan worden vergiftigd met organotin, zwavelverbindingen (zwavel, sulfiden, sulfon etc..) en stikstofverbindingen (amine, amide, urethaan en azide). De lijm hard daarom niet uit op siliconenrubber van het condensatietype (bevat tin-catalysator), op met zwavel ge vulcaniseerde rubbers en stikstofhoudende kunststoffen. Omdat de lijm geen silanolgroepen bevat is de hechting aan metalen en glas matig en dient vaak een primer te worden gebruikt. De lijm is warm hardend en kan over het algemeen in één uur bij 100 °C tot enige minuten bij 150 à 180 °C worden uitgehard. Er kan ook bij kamertemperatuur worden uitgehard. De reactie verloopt dan echter zeer traag. De krimp ten gevolge van de uitharding is zeer gering.

In 1-component siliconenlijmen van het polyadditietype is de platina-catalysator in gecomplexeerde vorm reeds in de lijm aanwezig. Bij verhitting ontleedt het complex en wordt de catalysator actief.

De 1-component UV-hardende siliconenlijmen worden in enkele tientallen seconden o.i.v. UV-licht gefixeerd. Daarna treedt o.i.v. vocht doorharding op.

Hechting. De hechting van een siliconenhars zonder verdere toevoegingen is wisselend. Soms wordt een primer aanbevolen (dit kan een siliconenhars met een silaanprimer in een oplosmiddel zijn). Naast een koppelende werking zorgt de primer ook voor een goede bevochtiging. Hechtverbeters worden ook vaak in de formulering verwerkt en dan spreekt men over een zelf-primende siliconenlijm. Siliconenlijmen zijn uitermate geschikt voor het lijmen van siliconenrubber, metalen, glas en keramiek en verder hout en diverse kunststoffen. De hechting op kunststoffen kan vaak worden verbeterd met een plasma- of coronabehandeling. Wanneer siliconenlijmen worden gebruikt in combinatie met andere lijmen dient er voor gewaakt te worden dat de overige lijmvlakken niet besmet raken met siliconen. Geen

enkele lijm kan hier namelijk nog op hechten.

Applicatie. Er is een brede range aan viscositeiten beschikbaar: vanaf enkele honderden mPas tot niet vloeïende pasta's. Aangezien siliconenlijmen altijd gestabiliseerd zijn met enig silica, zijn ze nooit geheel transparant. De 1-component systemen worden doorgaans in tubes of cartouches (o.a. kitspuit) geleverd. De 2-componenten systemen worden meestal in blikken geleverd. Hiervoor is dus meng- en doseerapparatuur nodig.

Mechanische eigenschappen. Uitgeharde siliconenlijmen zijn rubbers die pas bij ca. -120°C verbrossen. De flexibiliteit wordt doorgaans uitgedrukt als hardheid. Deze ligt tussen de 30 en de 80 Shore A. De rek bij breuk kan tientallen tot enige honderden procenten bedragen.

Temperatuurbereik en chemische bestandheid. De standaardtypen kunnen tussen -60 en +150 à 180 °C gebruikt worden. De hoogwaardiger typen tussen -100 en +260 °C. Siliconen zijn goed bestand tegen oxydatie (o.a. ozon), ultra- violet licht en een buitenklimaat. De hechting aan glas kan echter door UV-licht worden aangetast. De bestandheid tegen zwak zuur en zwakke base en zoutoplossingen is goed. Hoewel de waterdoorlatendheid groot is, is de waterabsorptie laag. Enige zwellings door vocht treedt alleen op bij bepaalde gevulde typen. In laagmoleculaire ketonen, esters, ethers, gechlorideerde koolwaterstoffen en vooral in alifaten en aromaten treedt zwellings op. Hierdoor wordt de lijm op zich niet aangetast, maar gaat de hechting wel verloren. De speciale fluorsiliconen hebben wel een goede bestandheid tegen brandstoffen, oliën en vele oplosmiddelen.

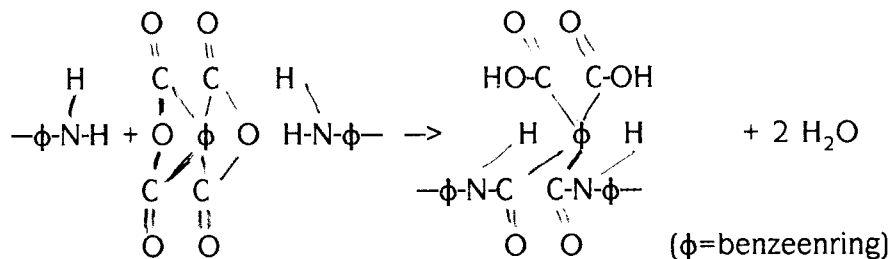
### 1.9.13 Polyimidelijmen

Kenmerken. Polyimidelijmen zijn de meest thermisch resistente organische lijmen die commercieel verkrijgbaar zijn. Ook andere thermisch resistente polymeren, zoals op basis van polybenzimidazole, polybenzoxazole, polybenzthiazole, polyquinoxaline, polyimidazoquinoxaline, poly-bis(benzimidazobenzophenanthroline) en polyphthalocyanine kunnen als lijm gebruikt worden. Deze polymeren zijn echter niet commercieel verkrijgbaar. Poly-

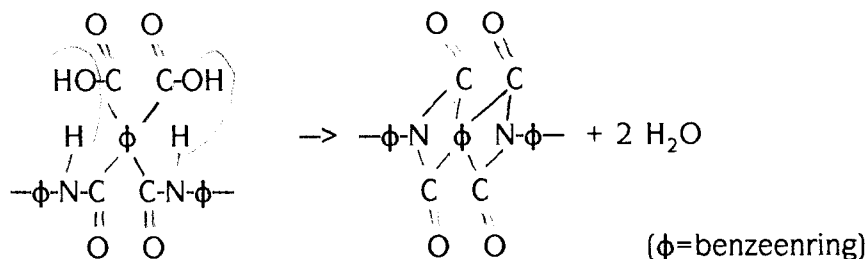
imidelijmen zijn duur en zijn lastig te verwerken. Toepassingen liggen vooral in het verlijmen van metalen (vaak titanium) en keramiek voor de ruimtevaart- en militaire luchtvaart.

Onderverdeling. Onderscheiden worden: het condensatietype en verschillende additietypen. Polyimidelijmen zijn 1-component systemen.

Uithardingschemie. Lijmen van het condensatietype zijn bereid uit de onvolledige reactie tussen een aromatisch tetrazuuranhydride en een aromatisch diamine:



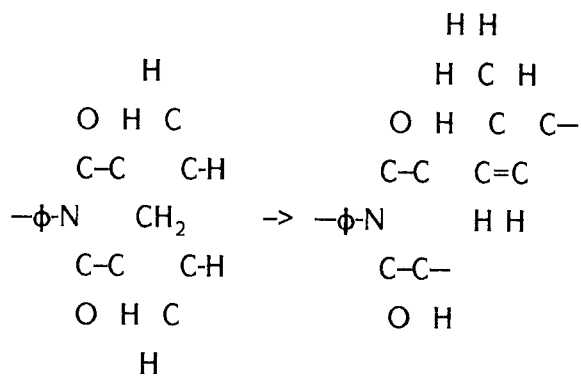
Het tussenproduct is oplosbaar en smeltbaar. Door uit te harden bij hoge temperatuur ontstaat het onsmeltbare en onoplosbare polyamide:



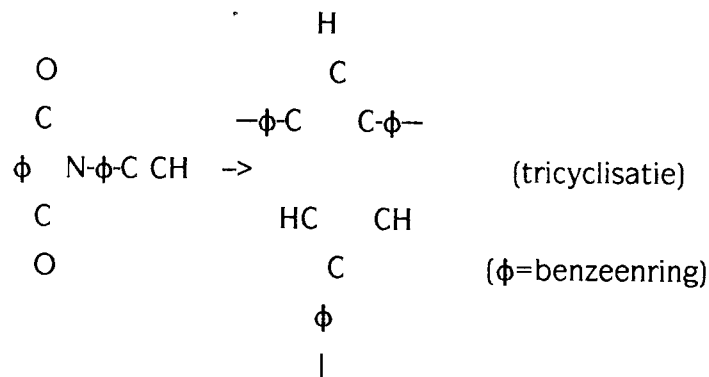
Aan de reactievergelijking is te zien dat er water gevormd wordt. Samen met resten oplosmiddel leidt dit tot gasinsluitingen (voids) in de lijmverbinding. Een hoge druk gedurende de uitharding is nodig om de gasinsluitingen zo klein mogelijk te houden.

Polyimidelijmen van het additietype bestaan uit laagmoleculaire prepolymeren die al volledig tot imide zijn doorgereageerd. De uitharding vindt plaats door een additiereactie van de eindstandige reactieve groepen. Dit kunnen zijn:

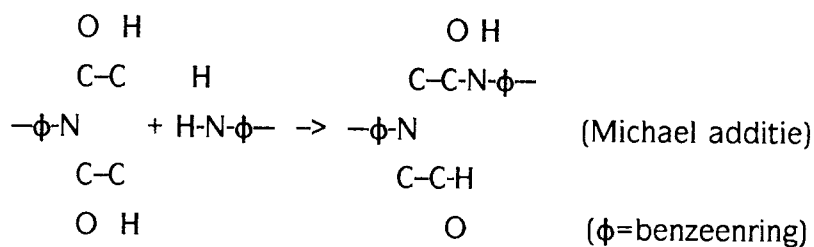
\* norborneen:



\* acetyleen:



\* bismaleïmide:



Bij de polyadditiereacties komt geen water vrij, zodat er, afgezien van resten oplosmiddel, geen aanleiding is voor gasinsluitingen. In het geval van norborneen eindgroepen kan echter cyclopentadien als bijproduct ontstaan hetgeen wel enige voidvorming tot gevolg kan hebben.

Hechting. De hechting aan goed voorbehandelde metalen is doorgaans uitstekend. De afschuifsterktes zijn vergelijkbaar met die van veel epoxies.

Applicatie. De meeste polyimidelijmen worden geleverd als thermoplastische film met een glasweefsel als drager. In enkele gevallen wordt de lijm als oplosmiddelhoudende pasta geleverd. Bismaleïmiden kunnen laagvisceuze vloeistoffen zijn. De producten dienen koel bewaard te worden en zijn beperkt houdbaar. Indien de lijm oplosmiddel bevat, dan dient dit na het aanbrengen door verdamping bij verhoogde temperatuur verwijderd te worden. De uitharding vindt plaats gedurende 30 minuten tot 4 uur bij 175 tot 205 °C onder een druk van 0,25 tot 0,65 MPa (druk is nodig, omdat de viscositeit hoog is, waardoor de bevochtiging moeizaam verloopt). Tot slot wordt er nagehard gedurende 2 tot 4 uur bij 205 tot 315 °C. Het opwarmen en afkoelen dient gelijkmatig te geschieden.

Mechanische eigenschappen. Polyimiden hebben een hoge afschuifsterkte. Echter, vanwege het brose karakter zijn de afpelsterkte en de weerstand tegen impact slecht. Met rubbers op basis van siliconen, fluorsiliconen of andere fluor-elastomeren wordt de taaiheid verhoogd, zonder dat daarbij de thermische resistentie erg veel afneemt.

Temperatuurbereik en chemische bestandheid. Bij bismaleïmiden is de gebruikstemperatuur beperkt tot +175 à +230 °C. De overige typen kunnen tot +260 °C gebruikt worden. Omdat de stijfheid bij hoge temperaturen nauwelijks afneemt kunnen gedurende korte tijd temperaturen tot 350 à 380 °C verdragen worden. Ook lage temperaturen kunnen verdragen worden, mits (vanwege het brose karakter van de lijm) het verschil in thermische uitzetting van de twee gelijmde delen niet te groot is. De bestandheid tegen apolaire oplosmiddellen, aromatische brandstoffen, olie en veel andere chemicaliën is goed. De bestandheid tegen water, salt-spray

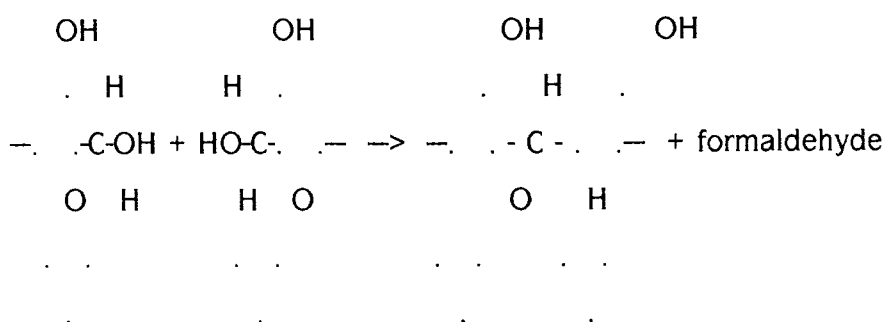
en zwak zuur is eveneens goed. Vocht met een alkalische pH leidt bij verhoogde temperatuur echter tot hydrolyse.

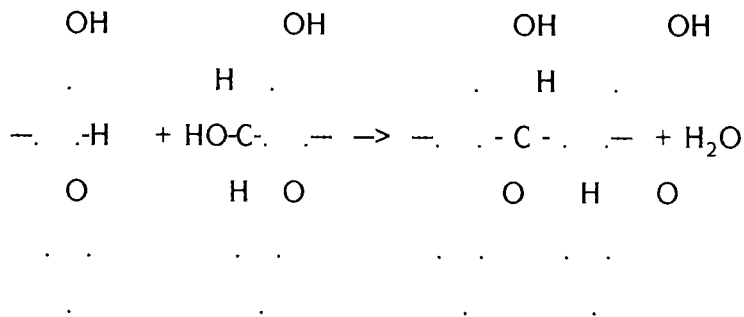
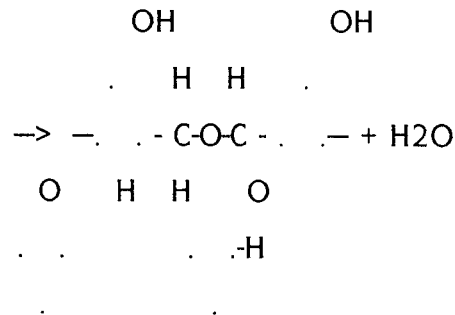
#### 1.9.14 Fenolharslijmen

Kenmerken. Fenolharslijmen kenmerken zich door een vaak goede en duurzame hechting, een goede bestandheid tegen vocht, weersinvloeden en chemicaliën en een hoge afschuifsterkte die bij bepaalde soorten tot hoge temperaturen gedurende lange tijd behouden blijft. Vanwege de hoge temperatuur en druk, die bij de uitharding nodig zijn, ondervinden deze lijmen veel concurrentie van de epoxylijmen.

Onderverdeling. Onderscheiden worden ongemodificeerde fenolharsen en mengsels van fenolhars met rubber (fenol-nitril, fenol-neopreen), polyacetaal (fenol-vinyl), epoxyhars (fenol-epoxy) of polyamide (fenol polyamide). Ook modificaties met polyurethaan en acrylaat worden in de literatuur genoemd. Fenolharslijmen kunnen zowel 1-component als 2-componenten systemen zijn.

Uithardingschemie. Fenolharsen worden bereid uit fenol en formaldehyde. Omdat fenol op drie posities kan reageren, kan een grote verscheidenheid aan moleculaire structuren ontstaan. Wanneer de fenolhars onder basische condities wordt bereid met een overmaat formaldehyde, dan ontstaat een visceuze vloeistof die resol wordt genoemd. Deze is rijk aan methylol-groepen (-CH<sub>2</sub>-OH), die onder temperatuursverhoging als volgt tot uitharding leiden:





De methyleenbruggen (-CH<sub>2</sub>-) ontstaan vooral in basisch milieu bij temperaturen boven 130 °C. De etherbruggen (-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>-) ontstaan vooral in zuur milieu. Bij de tweede en derde reactie wordt water afgescheiden. Bij de eerste reactie formaldehyde (dit is giftig).

Wanneer de fenolhars onder zure condities wordt bereid met een ondermaat formaldehyde, dan wordt een thermoplastische vaste stof verkregen die novolac wordt genoemd. Deze hars kan alleen tot uitharding worden gebracht door een methyleen-donor (zoals paraformaldehyde of hexamethyleentetramine) toe te voegen en daarbij de temperatuur te verhogen. Er ontstaan structuren die analoog zijn aan de bovenstaande reacties. In het geval van hexamethyleentetramine ontstaat als bijproduct ammoniak in plaats van water.

Door fenolharsen geheel of ten dele te bereiden uit resorcinol of m-aminofenol, ontstaan zeer reactieve harsen die reeds bij kamertemperatuur vernetten. De reactiviteit wordt meestal iets teruggebracht door de methylgroepen of de fenolische hydroxylgroepen om te zetten in alkylethers,zo-

dat de hars pas bij enige temperatuursverhoging vernet. De uitharding kan op gang worden gebracht door:

- de temperatuur te verhogen (1-component resolharsen)
- een geschikte pH in te stellen door bijvoorbeeld als tweede component paratolueensulfonzuur toe te voegen (2-componenten resolharsen). De reactie verloopt bij kamertemperatuur, maar enige verhoging van de temperatuur is wenselijk.
- door paraformaldehyde of hexamethyleentetramine toe te voegen en de temperatuur te verhogen (2-componenten novolacharsen)
- door polyvinylbutyral of polyvinylformal toe te voegen (2-componenten resolharsen) en de temperatuur te verhogen. De tweede component kan als poeder in de reeds opgebrachte lijm gestrooid worden, maar kan ook in opgeloste vorm gemengd worden.

Ook toevoegingen kunnen deel nemen aan de uithardingsreactie:

- epoxygroepen reageren met de methylolgroepen en fenolische hydroxylgroepen
- carboxyl getermineerd acrylonitrilrubber bevat onverzadigde bindingen, nitrilgroepen en carboxylzuurgroepen die op verschillende wijzen met de fenolhars reageren
- polyvinylformal en polyvinylbutyral bevatten segmenten polyvinylalcohol, welke met de methylolgroepen reageren
- polyamideharsen kunnen eindstandige aminogroepen bevatten die met de methylolgroepen reageren

Applicatie. Fenollijmen zijn verkrijgbaar als vloeibare of pasteuze systemen en als lijmfilm. De 1-component systemen zijn beperkt houdbaar en dienen gekoeld bewaard te worden. Vloeibare typen kunnen oplosmiddelen bevatten (zoals water, alcohol, toluen, ethylacetaat, aceton en methyl-ethylketon). Na het opbrengen van de lijm dient dit eerst gedurende 15 tot 30 minuten bij 80 à 90 °C verwijderd te worden. De verharder van de 2-componenten systemen kan vloeibaar of poedervormig zijn. Er zijn systemen waarbij de hars en de verharder gescheiden kunnen worden opge-



bracht, zodat menging en uitharding pas plaatsvinden wanneer de delen worden samengevoegd. Uitharding van de warm-hardende typen vindt plaats in 15 minuten tot 2 uur bij 140 tot 180 °C (in enkele gevallen zelfs tot 260 °C). Om gasinsluitingen ten gevolge van de vrijkomende vluchtige bestanddelen te voorkomen, dient er met een druk van 0,1 tot 4 MPa te worden uitgehard. Hierdoor is de lijmlaagdikte beperkt tot ca. 0,4 mm.

Hechting. Ten gevolge van de grote hoeveelheid fenolische hydroxylgroepen is de hechting op metalen, glas en hout uitstekend. Fenol-vinyl, fenol-nitril, fenol-neopreen en fenol-polyamide zijn ook geschikt voor bepaalde rubbers en kunststoffen. Met de fenolfilms worden de hoogste afschuifsterktes bereikt (13 tot 38 MPa). De fenolharsen leiden tot iets lagere afschuifsterktes (5 tot 15 MPa). Fenollijmen worden in opgeloste vorm veel toegepast als primer.

Mechanische eigenschappen. Een geheel uitgeharde fenolhars heeft een sterk vernette structuur, die sterk en chemisch resistent is en niet verweekt bij hoge temperaturen. Het product is echter bros en heeft daarmee slechte weerstand tegen stoot- en pelbelastingen. Door de fenolhars te modificeren met epoxyhars, weekmakende harsen of rubbers, neemt de taaierheid toe.

Temperatuurbereik en chemische bestandheid. Fenol-epoxylijmen hebben de beste thermische resistentie en kunnen gebruikt worden tot 150 à 260 °C. Ook fenol-nitrillijmen kunnen gedurende lange tijd een temperatuur van 150 °C verdragen. Bij de fenol-vinyllijmen en fenol-neopreenlijmen is de maximale gebruikstemperatuur beperkt tot 80 à 100 °C. De minimale gebruikstemperatuur is bij alle fenollijmen -50 tot -60 °C. Fenollijmen hebben een uitstekende duurzaamheid en zijn bestand tegen water, weersinvloeden, apolaire oplosmiddelen, oliën, brandstoffen, vele chemicaliën en biologische aantasting. Fenol-nitrillijmen hebben een opmerkelijke bestandheid tegen zout water. Fenol-neopreen heeft een uitstekende weerstand tegen vermoeiing.

1.10 **Doseerapparatuur**

Voor alle lijmsystemen welke in de lijmsleutel vermeld staan is doseerapparatuur te koop.

Deze doseerapparatuur wordt in de lijmsleutel niet behandeld.

Bij de auteur zijn deze gegevens wel bekend.

### 1.11 Veiligheid en milieu

Lijmen zijn chemische producten en dienen ook als zodanig behandeld te worden. De werkgever is krachtens de ARBO-wet verplicht zich op de hoogte te stellen van de eventuele gevaren en de te nemen maatregelen en dient de werknemers hierover voor te lichten. De werknemers dragen de verantwoordelijkheid om de aangereikte informatie en middelen te gebruiken. Informatie over de gevaren en de te nemen maatregelen bij het werken met een lijm wordt door de lijmleverancier gegeven in de zg. Material Safety Data Sheet (MSDS). De leverancier is verplicht om deze, wanneer daar om gevraagd wordt, te leveren. **Lees deze informatie en vraag de leverancier, een arts of een andere deskundige om uitleg indien niet alles duidelijk is !** In de MSDS worden de volgende zaken uiteengezet:

- chemische aard, verschijningsvorm en geur van de stof alsmede dampdruk, kooktemperatuur, oplosbaarheid in water, pH en viscositeit.
- reactiviteit in combinatie met andere chemicaliën
- brandbaarheid (o.a. vlampunt) en eventuele giftige verbrandingsproducten alsmede aanwijzingen voor hoe te handelen in geval van brand (o.a. blusmiddelen).
- aanwijzingen voor het omgaan met de stof (o.a. wijze van opslag, beschermingsmiddelen, ventilatie, afvoeren van afval) en aanwijzingen over hoe een gemorste hoeveelheid dient te worden opgeruimd. gegevens over de giftigheid en mogelijke schadelijke effecten op de gezondheid alsmede aanwijzingen over hoe te handelen in geval van inademing, inslikken of contact met de huid of ogen.
- gegevens m.b.t. transport over de weg
- ecologische effecten

Enkele bekende gevaren zijn:

- Brandbare dampen. Met name bij bepaalde oplosmiddelhoudende lijmen, reinigingsmiddelen en primers. Ontladingen van bijvoorbeeld een electrostatisch opgeladen vuilniszak kunnen voldoende zijn om een met het brandbare product benatte poetsdoek te doen ontbranden.

Dampen kunnen verder ook diverse schadelijke gevolgen hebben voor de gezondheid. Een goede ventilatie is de remedie.

- Epoxylijmen. Deze staan bekend om het veroorzaken van allergisch eczeem (jeukende huiduitslag en zwellingen). Omdat een allergie wordt 'opgebouwd' kan het zijn dat de verschijnselen zich pas manifesteren wanneer men al jaren met de stof werkt. Bij gevoelige personen kan de allergie reeds bij een eerste contact optreden. Wanneer iemand eenmaal allergisch is geworden, moet het verder werken met de stof ten sterkste ontraden worden. Sommige epoxyharsen bevatten reactieve verdunners waarvan bij dieren is aangetoond dat ze kankerverwekkend zijn. Veel epoxylijmen worden uitgehard met een amineverharder. Deze aminen zijn sterk bijtend op de huid en ogen en kunnen eveneens allergisch eczeem veroorzaken. Vluchtige typen verspreiden een vieze reuk ('ammoniak') en kunnen bij inademing ernstige ademhalingsproblemen (o.a. astma) veroorzaken. Een goede hygiëne, handschoenen, bescherming voor de ogen, beschermende kleding en ventilatie of (alleen in uiterste gevallen en van tijdelijke aard) adembescherming vormen de remedie. Bij adembescherming moet gedacht worden aan een gelaatsmasker met een koolfilterbus. Het koolfilter is slechts een beperkte tijd werkzaam. Stofmaskers hebben geen enkel nut !
- Polyurethaanlijmen. Hierbij wordt het voornaamste gevaar vertegenwoordigd door de isocyaan- verharder. Deze kan eveneens allergisch eczeem en zelfs het afsterven van de huid veroorzaken (de huid wordt dan zwart). Het inademen van een zeer kleine hoeveelheid kan al tot astma leiden (astma is een allergische aandoening van de bovenste ademhalingswegen). De meeste isocyaan- verharders zijn gelukkig weinig vluchtig. Echter bij het verspuiten van de lijm kan gemakkelijk een schadelijke concentratie ontstaan. Sommige polyurethaanlijmen bevatten aromatische aminen, waarvan bij dieren het verwekken van kanker is aangetoond. Ook polyimidelijmen bevatten aromatische diaminen.

- Acrylaatlijmen. Deze verspreiden doorgaans een onaangename reuk. De dampen kunnen irritaties aan de ogen en de ademhalingswegen opwekken en kunnen brandgevaar opleveren. Direct contact met de huid kan tot huidirritatie leiden, maar kan ook een bijtende werking hebben. De te nemen maatregelen zijn analoog aan die bij de epoxylijmen.
  
- Cyanoacrylaatlijmen. Naast de reeds onder acrylaatlijmen genoemde effecten, bestaat hier verder het gevaar dat vingers en oogleden binnen enkele seconden verkleefd raken. In dit geval dient men de verkleving met lauw water en enig geduld los te weken. Lossnijden wordt ten sterkste afgeraden. Meer informatie over gevaren voor de gezondheid t.g.v. lijmen is te vinden in de "Lijmwijzer" van de Wetenschapswinkel van de Universiteit in Amsterdam. Een zeer handzame informatiebron m.b.t. de ARBO-wet en de te nemen veiligheidsmaatregelen is het "ARBO jaarboek" van het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden te Amsterdam.

Lijmen als verbindingstechniek kan belastend zijn voor het milieu. Zo kunnen er oplosmiddelen verdampen (bijvoorbeeld bij het reinigen of primen) en kan er chemisch afval ontstaan (bijvoorbeeld vervuilde reinigingsvloeistof, vervuilde emballages en overjarige niet-uitgeharde lijm). Hoewel in Nederland de Wet Chemische Afvalstoffen van toepassing is en er ook emissienormen gelden, blijkt het niet altijd even duidelijk te zijn in hoeverre deze bepalingen van toepassing zijn. Wat de ene afvalverwerker of gemeente accepteert, kan bij de andere uit den boze zijn. Aangeraden wordt om de plannen reeds in een vroeg stadium met de milieuambtenaar van de gemeente, provincie of regio te bespreken.