

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van de diverse lijmprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast de algemene publicatie (TI.03.13) tevens drie andere verbindingstechnieken behandelen, zoals lassen (TI.03.14), mechanisch verbinden (TI.03.16) en solderen (TI.03.17).

### Inhoud

1	Inleiding	1
2	Indeling lijmprocessen	1
3	Kenmerken van het lijmen voor dunne plaat toepassing	2
4	Toepasbaarheid van lijmen	2
5	Apparatuur ten behoeve van het lijmen	2
6	Voorbehandeling en voorbereiding	3
7	Lijmtechnisch construeren	3
8	Het lijmen van dunne materialen	5
9	Lijmdetails	5
10	Automatisering van het lijmen	6
11	Kwaliteitsaspecten bij het lijmen	6
12	Nabehandeling en nabewerking	7
13	Economische aspecten van het lijmen	7
14	Arbo- en milieu-aspecten van het lijmen	7
15	Normering	8

### 1 Inleiding

Vanaf de ontdekking van bakeliet werd hechting als onderwerp van onderzoek pas echt serieus ter hand genomen. Lijmen werd tot 1900 eigenlijk alleen gebruikt om hout en andere celstofmaterialen met elkaar te verbinden. Het echte onderzoek aan lijmen begon pas toen synthetische polymeren ter beschikking kwamen.

Toch bestaan hechtmiddelen al eeuwenlang. De oudste gegevens daarover stammen uit Egypte. Gravures van 3300 jaar geleden laten al zien hoe een dun laagje finer wordt aangebracht op een plank van een doodskist. Meer algemeen kan worden gesteld, dat in oudheidkundige vondsten van meer dan 4000 jaar oud gelijmde constructies voorkomen tussen materialen als hout, steen en glas.

Lijmverbindingen waarbij metalen delen worden verbonden, zijn pas rond de tweede wereldoorlog in gebruik gekomen. De eerste gelijmde metalen delen werden toegepast in trillingdempende constructies, waarbij rubberlagen tussen metalen delen geïmpregneerd werden. Vrijwel tegelijkertijd ontdekte "De Bruyne" dat warmhardende lijmmiddelen op uitstekende wijze aan metaal bleken te hechten. De eerste grootschalige toepassing van deze techniek betrof een vleugelconstructie van een jachtvliegtuig van de Britse "Havilland Aircraft Company". Een andere mijlpaal in de geschiedenis was de publicatie van een artikel in het jaar 1946 door de Zwitserse firma "CIBA - AG" met daarin de beschrijving van de ontdekking van epoxyhars. Deze kunsthars bleek uitstekende eigenschappen te bezitten als grondstof voor metaallijmen.

Inmiddels hebben er vele aanvullende ontwikkelingen plaatsgevonden. Vooral op het gebied van nieuw ontwikkelde lijmtypen voor allerlei (zeer) specifieke toepassingsmogelijkheden. Tegenwoordig worden er zelfs voor specifieke doeleinden zelfs verschillende lijmtypen gemengd om de beste eigenschappen van verschillende lijmen te combineren. Maar ook op constructietechnisch niveau hebben de ontwikkelingen niet stilgestaan. Er zijn vele analytische rekenmodellen ontwikkeld. Vooral met de huidige computertechnologie zijn krachtoverdrachten via lijmverbindingen snel en secuur door te rekenen (op basis van eindige elementen methoden). Daarnaast zijn er veel technieken en methoden ontwikkeld om lijmverbindingen te testen. Zowel op hun initiële sterkte als op hun duurzaamheid.

Het resultaat is dan ook dat lijmverbindingen terug zijn te vinden in de meest uiteenlopende producten; van babyluiers tot in vliegtuigen en automobielen. Lijmen biedt dan ook nog vele ongekennde en fantastische mogelijkheden als het verbinden betreft.

### 2. Indeling lijmprocessen

Lijmen is een geweldige constructiewijze om metalen te verbinden en is als verbindingstechniek niet weg te denken uit ons dagelijks bestaan. Lijmen kan - mits de juiste lijm en bevestigingsmethode wordt toegepast - een zeer fraaie, duurzame en economisch bijzonder interessante methode zijn om metalen en/ of kunststofdelen blijvend te verbinden.

Lijmverbindingen bezitten een groot aantal voordelen ten opzichte van andere verbindingstechnieken zoals lassen, solderen of mechanisch verbinden. Lijmverbindingen isoleren de verschillende materialen van elkaar en hierdoor zullen corrosieprocessen minder snel optreden. Daarnaast is er vaak geen, of slechts beperkte, warmte-inbreng benodigd voor het verlijmen. Dit voorkomt mechanische vervormingen als gevolg van thermische spanningen. Lijmen wordt daarom vaak als alternatieve verbindingstechniek ingezet voor lassen of solderen, waarbij een hoge maatnauwkeurigheid een belangrijke rol speelt (bijvoorbeeld bij kleine onderdelen). Dit geldt zeker voor het verbinden van ongelijksortige metalen, maar tevens voor metalen met (kunststof)deklagen, waar andere verbindingstechnieken niet of moeilijk toepasbaar zijn.

Een nadeel van lijmverbindingen is, dat als een verbinding eenmaal gemaakt is, deze vaak alleen nog kunnen worden losgenomen na een sterke temperatuurverhoging of -verlaging van het product. De algemene losneembaarheid van lijmverbindingen is dus gering. Echter, er is inmiddels een aantal producten op de markt verschenen, die onder specifieke omstandigheden (bijvoorbeeld bij verhoogde temperatuur) losneembaar zijn.

Lijmen is een complex proces waarbij vele fysisch-chemische processen met nog meer variabelen een rol spelen. Er is een grote mate van vakmanschap vereist om een goede lijmverbinding te construeren. Hierbij spelen voornamelijk de reiniging van de producten, de lijmselectie en de vorm van de lijmspleet (in relatie met het overbrengen van de krachten) een zeer belangrijke rol. Wat dat betreft is er weinig verschil met lassen, solderen, of mechanisch verbinden.

Lijmprocessen zijn op verschillende wijzen in te delen. De wijze van indeling heeft eigenlijk alleen invloed op de rangschikking van de lijmen of lijmsystemen. Hierbij valt te denken aan een onderscheid in fysisch of chemisch uithardende lijmsystemen. Dat wil zeggen uitharding op basis van bijvoorbeeld verdamping van een oplosmiddel (fysische uitharding) respectievelijk het optreden van een reactie tussen verschillende stoffen (chemische uitharding). Maar het is natuurlijk net zo goed mogelijk om een lijm te selecteren op basis van de meest gewenste wijze van aanbrengen (kwasten, borstelen, kitspuit, drukspuit, gieten, walsen enz.) en/of de beoogde wijze van lijmuitharding (lijmklemmen bij kamertemperatuur, lijmpers verwarmd, UV-licht, enz.).

Na deze praktische hoofddeel, waarbij de lijm onder-

geschikt is geworden aan de wijze van aanbrengen of uitharding, komt vaak nog maar een beperkt assortiment aan lijmen in aanmerking voor de gewenste toepassing. Verdere praktische keuzen, zoals het aantal te verlijmen componenten (één of twee componenten) en bijvoorbeeld de gewenste duurzaamheid, laten uiteindelijk een nog verder beperkt aantal toepasbare lijmsystemen over.

### 3. Kenmerken van het lijmen voor dunne plaat toepassing

Kenmerk van lijmen is het tot stand brengen van een verbinding tussen twee of meer onderdelen met een polymeer als tussenstof, die zich hecht aan de te verbinden delen. Dit polymeer bestaat uit één of twee componenten in vaste, vloeibare of pasteuze vorm, afhankelijk van het type lijm:

- Lijmen welke van tevoren of tijdens het lijmp proces op verhoogde temperatuur moeten worden gebracht (smeltlijmen en lijmfilms). De consequentie is dan vaak dat deze lijmen bij lage temperatuur (vrieskist) dienen te worden bewaard.
- Lijmen welke vóór het aanbrengen op de onderdelen moeten worden vermengd. Door deze vermenging van de componenten komt een chemische reactie op gang, die resulteert in uitharding van de lijm (twee-component lijmen).
- Lijmen waarbij tijdens het uitharden wordt gebruikge maakt van de luchtvochtigheid. (snellijmen, elastische lijmen).
- Lijmen waarbij tijdens het aanbrengen het oplosmiddel verdampt (contactlijmen);
- Lijmen waarbij tijdens het uitharden wordt gebruikge maakt van een katalysator (licht-uithardende lijmen).

Bij de bovenstaand vernoemde reacties vindt bij de verlijming een toestandsverandering plaats als gevolg van een chemisch/fysische reactie. Deze resulteert uiteindelijk in de uitharding en hechting van de lijm.

#### Één- of tweecomponent systemen

Veel vochtuithardende lijmsystemen (dit zijn lijmsystemen die vocht uit de omgevingslucht gebruiken om uit te harden) zijn zowel verkrijgbaar als één- of tweecomponent lijmsysteem. Wanneer zij worden gebruikt als tweecomponent systeem, dan zijn zij in het gebruik vaak nog bijna even handelbaar als de ééncomponent lijmsystemen.

Vrijwel alle tweecomponent lijmsystemen zijn tegenwoordig verkrijgbaar met bijpassende lijmpistolen, boosters (die direct vocht inbrengen in de lijm tijdens het aanbrengen) en statische mengers, zodat zij zich in de praktijk bijna net zo eenvoudig laten gebruiken als het ééncomponent lijmsysteem.

#### Het verbreken van een lijmverbinding

Er bestaat een beperkt aantal mogelijkheden om een lijmverbinding na fabricage weer uiteen te nemen zonder al teveel schade te berokkenen aan de verlijmdede delen:

- het product sterk in temperatuur verhogen, zodat de lijm verweekt of zelfs verbrandt;
- het product sterk in temperatuur verlagen (bijvoorbeeld met vloeibare stikstof) en daarna met een mechanisch hulpstuk de verlijmdede delen loswerken en/of de lijm verwijderen;
- het product in een oplosmiddel (in sommige gevallen gewoon water) leggen, zodat de lijm verweekt en waarna het, door middel van krabben, vaak eenvoudig wegneembaar is.

### 4. Toepasbaarheid van lijmen

Lijmfilm en twee-component lijmen zijn de meest toegepaste structurele lijmsystemen, die in alle industriële branches en producten worden toegepast. Maximale schuifspanning bij breuk kan oplopen van 30 tot 40 MPa. Vaak is een warmte-inbreng bij het uitharden noodzakelijk.

Er bestaat tevens een groot aantal ééncomponent lijmsystemen. Uitharding van deze systemen is op vele verschillende wijzen mogelijk, vaak op basis van vocht (uit de lucht), maar ook door het buitensluiten van zuurstof of het belichten met UV-licht. De hechtsterkte kan zeer sterk uiteenlopen en is afhankelijk van het type lijm en de ondergrond waarop wordt gelijmd.

De elastische lijmen, contactlijmen en tapes hebben, in tegenstelling tot de bovenstaande structurele lijmen, slechts een bezwijklast van 0,5 tot 2 MPa. Het voordeel van deze laatste groep lijmsystemen is echter, dat zij door hun mogelijkheid tot vervorming - en dus het uitblijven van hoge piekspanningen aan de uiteinden van een lapnaad - bij grote overlaplengten en beperkte krachtoverdracht vaak uitstekend toepasbaar zijn.

Voor een hoge sterkte en duurzaamheid is een voorbehandeling van het te verlijmen oppervlak vrijwel altijd noodzakelijk. Een oppervlak dient minimaal goed ontvet te zijn.

De duurzaamheid (levensduur onder vooral vochtigheid en verhoogde temperatuur) van een lijmverbinding (in het bijzonder bij metalen) kan in veel gevallen worden verlengd door het gebruik van primers, die de oppervlaktegradatie en/of het indringen van vocht op het lijmvlak tegengaan.

Lijmtoepassingen op metaal, hout, beton, glas en de meeste kunststoffen zijn in het algemeen goed te realiseren, ook in combinaties van twee geheel verschillende materialen. Veel thermoplastische kunststoffen zijn zonder speciale voorbehandeling moeilijk te lijmen. Een specifieke voorbehandeling is dan noodzakelijk (UV/ozon, corona, plasma, vlambehandeling en in sommige gevallen een speciale primer).

De mate van de lijmhechting is materiaalafhankelijk. Bij veel materialen kan de hechting en duurzaamheid sterk worden verbeterd door de juiste voorbehandeling van de lijmvlakken.

Bij lijmverbindingen is het van belang dat de te verlijmen delen een (per lijmtypen) goed gedefinieerde lijmnaad bezitten. Hierbij spelen zowel de breedte, de lengte als de dikte van de lijmnaad een rol. Bij structurele lijmen is de dikte vaak beperkt tot 0,2 mm. Bij 'secondenlijmen' kan de lijm vaak capillair worden ingezogen in de lijmspleet. Zeer dunne lijmnaden zijn dan mogelijk. Bij elastische lijmsorten is de dikte van de lijmspleet echter aanzienlijk. Deze kan oplopen tot 2 mm of meer. Dikke lijmnaden hebben het nadeel, dat zij de momentwerking, als gevolg van de verlengde arm waarop de kracht werkt, vergroten.

Naarmate een hogere productkwaliteit wordt vereist, zal een meer geautomatiseerde reiniging (oppervlakte-voorbehandeling) en lijmtoevoeging uitkomst bieden.

De meeste lijmen zijn goed toepasbaar in een temperatuursgebied tussen de  $-20^{\circ}\text{C}$  en  $+80^{\circ}\text{C}$ . Buiten dit gebied dienen speciaal daartoe uitgeruste lijmen te worden verkozen.

### 5. Apparatuur ten behoeve van het lijmen

Een heel scala van eenvoudige en semi-handbediende instrumenten tot zeer robuuste en geheel geautomatiseerde apparatuur staan ter beschikking. De keuze van het soort instrument is mede afhankelijk van het type lijm. Hieronder volgt een greep uit het scala van instrumenten:

#### Lijm mengen (twee-component systemen)

Bij twee-component lijmsystemen behoren de bestanddelen te worden afgewogen en daarna te worden gemengd in een beker of op een plaat. De zogenaamde 'dubbelspuiten' zijn door het opschroeven van een statische mixer op de lijmreservoirs snel gebruiksgereed.

## Smeltlijmen

Smeltlijmen behoren in een reservoir, klein (handpistool) of groot (verwarmde bak), tot smelten te worden gebracht.

## Aanbrengen

Kwast, rakel, spatel, plamuurmes, aandrukrol, lijmwals, gieten, dompelen, drukken, spuiten, enz. staan als applicatietechniek ter beschikking. In grotere productieprocessen worden dit soort technieken veelal (semi)automatisch uitgevoerd.

## Samenbouwen

Het verdient aanbeveling om de productonderdelen allereerst droog in elkaar te passen met enkele paspen of hulpnagels. Vervolgens wordt het product weer uit elkaar genomen om - indien alle onderdelen op maat zijn - te worden verlijmd.

Het lijmonderdeel kan zo nodig worden afgeplakt met tape, om te voorkomen dat lijm op de verkeerde plaats terecht komt. Indien mogelijk, moet de lijm tweezijdig worden aangebracht. Hierna kan de tape weer worden verwijderd. Bij het sluiten van de lijмнаad behoort men er op toe te zien dat de productdelen 'dichtscharnieren', zodat de kans op luchtinsluiting zo gering mogelijk is. Hierna paspen aanbrengen of fixeren met tape om het onderling verschuiven van de onderdelen tijdens het drogen van de lijm tegen te gaan.

## Aandrukken

Druk kan op verschillende manieren worden aangebracht. Bijvoorbeeld met een lijmklem, een gewicht, (rubber)pers, vacuümzak of autoclaafdruk. Let op, dat bij het gebruik van (lijm)klemmen deze niet teveel lokaal druk uitoefenen. Dit kan resulteren in het asymmetrisch uitharden van de lijмнаad of het uitlopen van de lijm.

## Uitharden

De temperatuurgevoelige lijmsystemen (zoals de lijmfilm) worden bij verhoogde temperatuur uitgehard, meestal 120°C, gedurende 1 uur en mogen pas nadat zij zijn afgekoeld tot 70°C worden gelost uit de omhullende mal.

Het uitharden van twee-component lijmen geschiedt gewoonlijk bij kamertemperatuur, maar kan worden versneld door de temperatuur te verhogen, bijvoorbeeld 1 uur bij 80°C. Daartoe staan ter beschikking de autoclaaf, verwarmde pers, oven, warmtedeken, of desnoods een föhn. Dit kan (vooral initieel) veel invloed hebben op de sterkte van de verbinding.

De vochtuithardende lijmen (ook de zogenaamde snellijmen) zijn vrij snel handvast. Zij hebben echter vaak meerdere dagen nodig, voordat hun volledige sterkte is bereikt. Daarbij mag de breedte van de lijnaad, vanwege de vochtintreding, niet breder zijn dan 25 mm, anders duurt het te lang voordat het centrum van de lijмнаad is uitgehard. Soms helpt een fijne vochtnevel of vocht inbrengende tweede component, toegepast direct bij of anders vlak na het aanbrengen van de lijm op de lijmvlakken, om het uithardingsproces te versnellen. Aan-klemmen blijft noodzakelijk, totdat de lijm voor een groot deel is uitgehard.

De contactlijmen, zelfklevende tapes en smeltlijmen bereiken vrij snel (vrijwel direct, afhankelijk van temperatuur en type product) hun sterkte na het aandrukken. Hiertoe is geen bijzondere apparatuur benodigd.

## 6. Voorbehandeling en voorbereiding

Alvorens het lijmproces kan worden uitgevoerd, moeten alle te lijmen onderdelen en materialen aanwezig zijn. Alle onderdelen moeten goed op elkaar passen, zodat tijdens het lijmproces een gelijkmatige lijmnaddikte kan worden gerealiseerd. Indien ten behoeve van de positionering van de onderdelen tijdens uitharding lijmfixeer-

pennen of boutjes worden gebruikt, moeten de hiervoor benodigde gaatjes vooraf worden geboord.

Bij moeilijk hechtende materialen of sterk vervuilde oppervlakken is een voorbehandeling noodzakelijk. Pas dan kan de hoge sterkte van een lijm volledig worden benut. De functie van het voorbehandelen is het bereiken van de maximale hechting van de te lijmen oppervlakken aan de lijm. Een hoge reinheid (geen organisch restmateriaal) is de minimale eis voor een goede hechting. Hierdoor wordt een goede spreiding van de lijm verhoogd en daarmee de hechting en duurzaamheid van de verbinding verbeterd. Ook het bereiken van een bepaalde oppervlakteruwheid kan een doel van de voorbereiding zijn, maar een hoge ruwheid is nog geen garantie voor een goede hechting.

Voorbehandelingen kunnen worden verdeeld in mechanische en chemische processen.

Een minimale, maar veel gebruikte, voorbehandeling is: ontvetten, schuren en aansluitend nogmaals ontvetten. Ander mechanische reinigingsmethoden zoals slijpen, schuren en stralen worden ook toegepast. Onder chemische reinigingsmethoden worden ontvetten, etsen, beitsen of anodiseren gerekend. Voor aluminiumlegeringen wordt vaak beitsen en/of anodiseren aanbevolen, voor staalsoorten vaak stralen of schuren.

Vooral voor kunststoffen worden vaak fysische reinigingsmethoden toegepast, zoals plasma-etsen, corona behandelen, een UV-ozon behandeling of bevlammen. Om het oppervlak zo snel mogelijk na de voorbehandeling te consolideren (zodat er geen ongewenste vervuiling meer op neer kan slaan), kan een lijmprimer worden toegepast. Ook voor lijmtoepassingen, welke in de praktijk aan een hoge vochtbelasting worden onderworpen, wordt vaak een primer aanbevolen. Veel van deze lijmprimers of hechtverbeteraars moeten wel bij verhoogde temperatuur worden gedroogd of uitgehard.

Er zijn daarnaast tevens lijmen (epoxies, acrylaten) verkrijgbaar, die zonder voorbehandeling op vervuild plaatmateriaal kunnen worden gebruikt (voor de automobiell-industrie). De maximale sterkte van de verbinding is dan wel lager. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de vervuiling dan wel in zekere mate gedefinieerd is.

## 7. Lijmtechnisch construeren

### Ontwerpaspecten

De initiële sterkte en de duurzaamheid van een gelijmde verbinding worden voornamelijk bepaald door de volgende parameters:

- ▶ type lijm;
- ▶ type substraat (het product);
- ▶ reiniging van het substraat en de consolidatie van het oppervlak (zoals bescherming van de oxidehuid tegen degradatie bij metalen);
- ▶ omgevingscondities (zowel die tijdens het lijmen als tijdens het gebruik);
- ▶ ontwerp van de verbinding;
- ▶ type van op het product uitgeoefende belastingen.

Het ontwerp van de verbinding kan worden gezien als één van de belangrijkste parameters om optimaal gebruik te kunnen maken van een lijmverbinding en het gekozen lijmsysteem. Het ontwerp moet worden aangepast aan de beperkingen van de lijm en daarbij moet het optreden van ongunstige belastingen, zoals pellen en slijten, zoveel mogelijk worden voorkomen. Daarnaast moet men rekening houden met de materiaalkeuze in relatie met verlijmbaarheid. Tevens moeten er processtappen of procesvormen (de wijze van produceren algemeen) worden bedacht, die (tussentijdse) meting van de kwaliteit van de verlijming mogelijk maken (kwaliteitsborging van het proces).

Bij het ontwerpen van een lijmverbinding moet er op

worden gelet, dat de verbinding goed met lijm kan worden samengebouwd. Dit houdt in, dat er goede mogelijkheden moeten zijn voor het schoonmaken en voorbehandelen van de te lijmen oppervlakken. Verder moet de lijm eenvoudig kunnen worden aangebracht, de delen naar elkaar toe kunnen worden bewogen (zonder inbreng van luchtbellens!) en met een gelijkmatige lijmdruk worden aangebracht. De dikte van de lijmlaag moet - afhankelijk van het toegepaste lijmtypen - zorgvuldig worden gedimensioneerd. Dit is vaak mogelijk door glasparels met een gedefinieerde diameter in de lijm mee te mengen. Deze glasparels hebben hierbij de functie als afstandhouder. Het effect van een geringe hoeveelheid ingemengde hoeveelheid (bijvoorbeeld 4 gew. %) van glasparels op de eigenschappen van de lijmverbinding zijn in negatieve zin niet meetbaar, in positieve zin wel.

### Soorten belastingen

De mechanische sterkte van de lijm (polymeer) is in de regel aanzienlijk lager dan de te verbinden (metalen) delen. De lijmverbinding moet dus zodanig worden geconstrueerd, dat met de relatief zwakke lijmlaag toch een aanzienlijke sterkte van het product als geheel kan worden verkregen. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het ontwerp zodanig aan te passen, dat de belastingen op een gunstige manier in de lijmverbinding worden geleid met een minimum aan pelkrachten.

De volgende belastingvormen kunnen worden onderscheiden:

- ▶ druk;
- ▶ afschuiving;
- ▶ trek;
- ▶ pel- of kloof.

Deze belastingen treden in de praktijk veelal in combinatie op.

Drukbelastingen leveren in de regel geen problemen op.

Voor trekbelastingen geldt in de regel, dat lijmverbindingen vrij goed functioneren. Doch alleen indien zuiver op trek belast (dus centrisch). In de praktijk zal dit echter moeilijk te verwezenlijken zijn. Bij niet-centrische (dus excentrische) belastingen zullen buigmomenten optreden met een aanzienlijke verlaging van de sterkte tot gevolg.

Bij pel- en kloofbelastingen is de spanning niet gelijkmatig verdeeld over de lijm, maar voornamelijk geconcentreerd aan een enkele zijde. Het effectief gebruikte lijmpoppervlak is dan dus bijzonder klein, waardoor de breuksterkte vaak laag zal zijn. Men spreekt van pelbelastingen, indien minstens één van de substraten een flexibel materiaal is, anders van kloofbelastingen. Pelbelastingen dienen te allen tijde te worden vermeden.

De meest gunstige belastingvorm voor een lijmverbinding is afschuiving, typisch in een overlapverbinding. Hierbij wordt een vrij groot oppervlak van de lijm effectief betrokken bij de belastingoverdracht.

### Ontwerpregels

Het ontwerpen van een lijmverbinding is gebaseerd op het principe van falen in de lijmlaag (een zogenaamde cohesieve breuk) en niet door het loslaten van de lijm aan het oppervlak (grensvlak lijm-substraat, of interface). De oppervlaktebehandeling van de te verlijmen delen dient dus zodanig te zijn, dat deze later (lees bij hogere kracht) bezwijkt dan de lijm.

De volgende regels moeten zoveel mogelijk in acht worden genomen bij het ontwerp:

- ▶ **Minimaliseer afpel en splijtbelastingen.** Bij afpel- of splijtbelastingen wordt een grote belasting via een relatief klein deel van de lijm overgebracht met een lage sterkte als gevolg.
- ▶ **Maximaliseer het lijmpoppervlak.** Het vergroten van het lijmpoppervlak verlaagt over het algemeen de gemiddelde belasting op de lijm.

- ▶ **Vermijd excentrische belastingen.** Excentrische belastingen zullen leiden tot pel- en kloofbelastingen, waardoor de sterkte van de verbinding sterk afneemt.
- ▶ **Vermijd spanningsconcentraties.** Vaak kunnen elastische lijmsystemen worden gebruikt. Vooral bij grotere overlappingslengtes hebben deze voordelen ten opzichte van brosse lijmsystemen. Dit, omdat een groter deel van het lijmvlak draagt, met het uitblijven van spanningspieken aan de uiteinden.
- ▶ **Maak zoveel mogelijk gebruik van belastingoverdracht via druk en/of schuifbelastingen.**
- ▶ **Vermijd trekbelastingen.** Excentriciteiten zullen leiden tot een aanzienlijke vermindering van de sterkte, dus indien mogelijk vermijden.

### Spanningsverdeling in lapnaad

De meest gunstige vormgeving voor een lijmverbinding is in de regel de overlap. Hierbij zal de belasting, zeker bij dunne plaatmaterialen, verdeeld kunnen worden over een groot lijmpoppervlak. Hierdoor is de lijmverbinding, ondanks de relatief lage sterkte van de lijm, toch in staat om grote belastingen over te dragen. Bij een enkelvoudige lapnaad treedt echter altijd een buigend moment op i.v.m. het niet in lijn liggen van de krachten. Dit leidt tot een verzwakking. Beter is het daarom een dubbelvoudige lapnaad te gebruiken, die dit verschijnsel niet kent, omdat de krachten daar in lijn liggen.

In een overlapverbinding is de schuifspanning niet constant over de lengte van de overlap. Dit is het gevolg van de eindige stijfheid van de te verbinden delen (substraten/ producten) Aan de uiteinden van de overlap treden daarom relatief hoge piekspanningen op, terwijl in het midden de schuifspanning relatief laag zal zijn. De verdeling van de schuifspanning over de lengte van de overlap (en dus de verhouding piekspanning t.o.v. de gemiddelde afschuifspanning) is afhankelijk van de stijfheidsverhouding tussen de te verbinden delen en de lijm. In de regel geldt, dat hoe groter het stijfheidsverschil is tussen lijm en metaal, hoe gelijkmatiger de schuifspanningen verdeeld zullen zijn. Een gelijkmatige verdeling zal dus optreden bij stijve, dikke metalen delen en/of een flexibele lijm. Bij dunne metalen delen en/of een stijve lijm zullen relatief hoge piekspanningen worden gevonden aan de uiteinden van de lijmverbinding.

Andere parameters die de schuifspanningsverdeling in de overlap beïnvloeden zijn de dikte van de lijmlaag en de lengte van de overlap. De optimale dikte van de lijmlaag is afhankelijk van de gebruikte lijm. Voor een constructieve lijm zoals een Epoxy, is deze ongeveer 0,2 mm. Voor een flexibele lijm zoals een MS-polymer ligt deze echter in de orde grootte van 2,0 mm.

In de regel is het vergroten van de overlappingslengte gunstig, onder meer vanwege het verminderen van pelbelastingen. Het verdubbelen van de overlappingslengte zal bij een stijve constructieve epoxylijm echter niet leiden tot een verdubbeling van de sterkte. Dit komt, doordat het middendeel van de verbinding vrijwel niet meedraagt, en omdat de spanningspieken aan de uiteinden van de verbinding nauwelijks dalen bij toenemende overlappingslengte. De sterkte zal wel toenemen, doch de gemiddelde schuifspanning neemt af.

Bij het gebruik van een flexibele MS-polymer lijm zal, door de vrijwel homogene verdeling van de schuifspanningen, een verdubbeling van de overlappingslengte wel leiden tot een verdubbeling van de sterkte. Anders gezegd, de gemiddelde schuifspanning blijft vrijwel gelijk.

### Rek in de lijmlaag

De invloed van de rek in de lijmlaag heeft als effect op het product, dat de verlijmde delen ten opzichte van elkaar kunnen bewegen. Over het algemeen geldt, dat hoe groter de flexibiliteit van de lijm is, des te groter de rek in de verbinding zal zijn bij dezelfde kracht. De

breukrek (dit is de rek waarbij de lijm bezwijkt) is sterk afhankelijk van het toegepaste lijmtypen. Veel flexibele lijmtypen hebben een relatief grote breukrek.

### **Factoren die de sterkte van de lijmverbinding beïnvloeden**

#### *Temperatuur*

Een lijm is een polymeer en dus zijn eigenschappen gedeeltelijk afhankelijk van de omgevingstemperatuur. In de regel zal met toenemende temperatuur de (cohesieve) sterkte en de stijfheid van het polymeer afnemen. Soms kan een stijging van de pelsterkte worden gevonden. Bij lagere temperaturen wordt de lijm juist bros (en stijf), wat ook kan leiden tot een verlaging van de sterkte van de lijmverbinding. De pelsterkte is meestal vrij laag bij lagere temperaturen. Het temperatuursgebied waarin de meeste lijmen goed functioneren, ligt tussen de  $-20^{\circ}\text{C}$  en  $+80^{\circ}\text{C}$ .

#### *Veroudering*

Na langere tijd indringing van vocht, de inwerking van UV-straling, agressieve milieus zoals zout water, enz., kan de lijm (polymeer) verouderen, waardoor de eigenschappen veranderen en de sterkte kan afnemen. Bij het ontwerp van een gelijmde verbinding moet hiermee rekening worden gehouden d.m.v. een veiligheidsfactor. Deze waarde kan men slechts bepalen aan de hand van vele duurzaamheidsproeven en kan per type toepassing, per lijmsysteem en per voorbehandeling sterk uiteenlopen. De factor zal hoog zijn bij zware omstandigheden, zoals bijvoorbeeld indien zeewaterbestendigheid geëist wordt, en gelijk aan 1 zijn, indien het verlijmde product in de huiskamer wordt gebruikt.

#### *Kruip*

Door de visco-elastische eigenschappen van lijmen vertoont een lijmverbinding (in meer of mindere mate, afhankelijk van het gekozen type lijm) neiging tot kruipen onder continue belastingen. Hierdoor kan op de lange duur bezwijken optreden bij veel lagere belastingen dan de statische sterkte van de lijm. Dit verschijnsel speelt vooral een rol bij het gebruik van lijmtapes. De invloed van kruip op de maatvastheid van de constructie is vanzelfsprekend erg groot.

#### *Vermoeiing*

De weerstand van een gelijmde verbinding tegen vermoeiing (regelmatig terugkerende en/ of een continue wisselende belasting) is afhankelijk van het lijmmateriaal, de gebruikte materialen, de toegepaste voorbehandeling, afmetingen van de lijmverbinding en de opgewekte spanningsconcentraties. Maar ook de frequentie van de opgelegde kracht kan hierbij een rol spelen. Vooral elastische lijmen kunnen een sterk dempende werking uitoefenen bij wisselende belastingen. Dit kan een sterk positief effect op de duurzaamheid van de verbinding/constructie hebben. Lijmverbindingen zijn, vanwege hun flexibiliteit, aldus in het algemeen zeer geschikt om te worden gebruikt als er in de constructie wisselende belastingen optreden. Vooral omdat zij geen spanningspieken genereren in de verlijmde producten, zoals dat wel degelijk het geval is bij klink- en boutverbindingen. Bovendien is er bij metalen geen sprake van een toegenomen brosheid van de verlijmde delen als gevolg van de ingebrachte warmte.

#### *Corrosie*

De corrosiegevoeligheid van een lijmverbinding is sterk afhankelijk van het type metaal, de voorbehandeling en de oppervlaktebehandeling. Daarnaast heeft de omgeving (zoals ondermeer temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, opgeloste zouten, maar ook de frequentie van de wisselingen hiervan) grote invloed op de duurzaamheid.

## **8. Het lijmen van dunne materialen**

De stijfheid van de te lijmen delen/ producten is van invloed op de faalbelasting van de lijmverbinding. In het algemeen geldt dat hoe stijver een onderdeel is, hoe minder de sterkte wordt beïnvloed door de vorm van de verbinding. Bij dunne materialen kan (afhankelijk van de constructie) door buiging een vergroting van de pelbelasting optreden, waardoor de sterkte afneemt. Aan de andere kant kan door het gebruik van een overlappende verbinding juist bij dunne materialen (en bij het gebruik van een elastische lijm) de belasting effectief worden verdeeld over een groot oppervlak. Bovendien zal een grote overlap het optreden van pelbelastingen aan de uiteinden verminderen.

Bij het lijmen van dunne materialen is niet zozeer de lijm bepalend, als wel de voorbehandeling van het lijmoppervlak. De stijfheid van de te lijmen delen heeft, zoals boven beschreven, invloed op de schuifspanningverdeling.

### **Staal**

De walshuid van staal is in de regel slecht te verlijmen. Voor een duurzame lijmverbinding dient deze te worden verwijderd d.m.v. bijvoorbeeld schuren, stralen of chemicaliën. In de regel is staal goed te verlijmen. Een speciale oppervlaktebehandeling kan de duurzaamheid van de verbinding sterk vergroten.

Bij staal met een oppervlaktebehandeling (chromium, aluminium, zink, tin, organisch, enz.) wordt de verlijmbaarheid bepaald door:

- ▶ de hechting van deze toplaag aan het staal (en dus vooral aan de voorbehandeling van het staal);
- ▶ de sterkte van de toplaag (schuif-, pelsterkte);
- ▶ de hechting van de lijmlaag op deze toplaag.

### **Aluminium**

In de regel is aluminium goed te verlijmen, onafhankelijk van het soort aluminium. Een voorbehandeling in de vorm van achtereenvolgens ontvetten, schuren of stralen en daarna ontvetten, is echter altijd noodzakelijk. Voor een goede lijmverbinding is het namelijk belangrijk om de natuurlijke oxidelaag te verwijderen d.m.v. de voorbehandeling. Een duurder variant bestaat uit het aanbrengen van een speciale coating (bijvoorbeeld zirconium of titanaat bevattend).

Het verwijderen van de oxidehuid door middel van beitsen en deze te vervangen door een anodiseerlaag is een ander (duurder) alternatief. Deze methoden garanderen echter een goede duurzaamheid van de verbinding onder agressieve omstandigheden.

### **Koper**

Nadat het product is ontvet, zijn opschuren of beitsen (met mengsels die sterke overeenkomst vertonen met de beitsbaden voor aluminium) bij verhoogde temperatuur goede methoden om de duurzaamheid van de lijmverbinding met koper te garanderen.

### **Kunststoffen**

Zoals eerder vermeld, hebben thermoplasten vaak een aanvullende handeling nodig om de energie (de polariteit) van het oppervlak te verhogen. Thermoharders zijn over het algemeen beter te verlijmen, nadat het oppervlak ontvet, geschuurd en weer ontvet is.

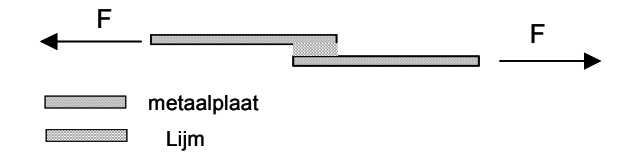
## **9. Lijmdetails**

Voor de verbindingsvorm van het verlijmen van dunne materialen kunnen vele lijmprocessen worden ingezet. Een aantal uitvoeringsvormen worden hieronder besproken.

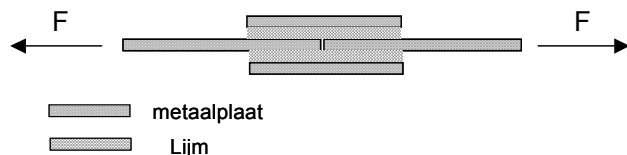
### **Lapnaad**

Men kan hierbij enkelvoudige (figuur 1) en dubbelvoudige (figuur 2) lapnaden onderscheiden. Bij het eerste

type lijmverbindingen ontstaan pelkrachten op de lijmnaad als gevolg van het niet op één lijn liggen van de trekkrachten. Bij het tweede type lijmnaad ontstaan deze krachten niet, omdat de krachten hier wel in elkaars verlengde liggen. Pelkrachten moeten bij lijmverbindingen zoveel mogelijk worden vermeden. Dit is dan ook de reden, dat het tweede type verbinding de voorkeur verdient.



figuur 1 Enkelvoudige lapnaad

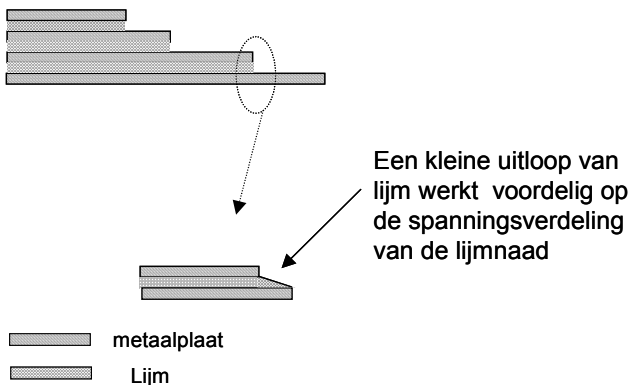


figuur 2 Dubbelvoudige lapnaad

### Lijmuitloop ("spew fillet")

Om piekspanningen (die altijd aan de uiteinden van de lijmnaad staan!) te verminderen heeft een kleine lijmuitloop vanuit de lijmnaad (figuur 3) positieve invloed op de hechtsterkte. Daarnaast is deze lijmuitloop een teken van voldoende vulling van de lijmspleet.

### Platenpakket met verlopende dikte



figuur 3 Lijmuitloop om piekspanningen aan de uiteinden van de lijmnaad te verminderen

### Platenpakket voor de aanpassing van de doorsnede aan de plaatselijke belasting

In vrijwel alle constructies varieert de belasting over de lengte van de constructie. Door het op elkaar lijmen van elementen kan de doorsnede van de constructie worden aangepast aan de plaatselijke belasting (figuur 3).

### Constructiedetails

De statische sterkte van een enkelvoudige lapnaad wordt uitgedrukt in:

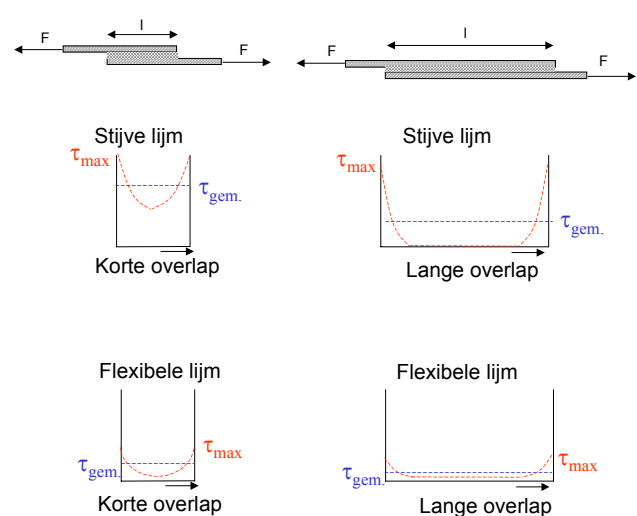
$$FB = \tau_{gem.} \cdot l \cdot b$$

Waarbij :

- FB = de breukspanning;
- $\tau_{gem.}$  = de toelaatbare gemiddelde schuifspanning;
- l = de overlaptengte van de lijmnaad;
- b = de breedte van de lijmnaad.

In figuur 4 wordt getoond, welke schuifspanning als gevolg van een vervorming in de lijmnaad ten gevolge van een belasting in de afschuifrichting optreedt. Deze zijn het gevolg van de eindige stijfheid van de te verlij-

men delen/producten en leiden vaak tot (hoge) spanningspieken. Deze hoge spanningspieken aan de uiteinden van de lijmnaad, waar het overgrote deel van de belasting wordt overgedragen, zijn het meest kritische deel van de lijmnaad. Mede op dit punt wordt de meeste kracht overgedragen aan het te verlijmen product. Dit stelt dan ook hoge eisen aan de voorbehandeling op dit punt.



figuur 4 Schuifspanningen als gevolg van een verschuiving in de lijmnaad

De grootte van de spanningspieken en de verdeling ervan over de lijmnaad worden echter ook mede bepaald door de stijfheid van de lijm. Indien er een flexibel lijmsysteem wordt gebruikt bij dikke en dus stijve platen, zal een meer evenwichtige vervorming over de gehele lengte van de lijmlaag plaatsvinden, met als gevolg minder hoge spanningspieken aan de uiteinden. Nadeel is de vaak lage sterkte van deze lijmsystemen.

Een vergroting van de overlaptengte zal in de regel leiden tot een grotere breuksterkte. Bij elastische lijmsystemen zal de breuklast vrijwel evenredig toenemen met de overlaptengte, d.w.z een verdubbeling van de overlaptengte geeft een verdubbeling van de breuklast. Doch een vergroting van de overlaptengte zal tevens leiden tot een grotere breuksterkte.

Bij stijve lijmsystemen is dit vaak niet het geval. Het tegendeel is het geval bij stijve lijmsystemen. Een groot nadeel van een stijf lijmsysteem is weer, dat bij het gebruik van deze lijmtypen de piekspanningen aan het uiteinde van de lijmnaad nauwelijks zullen dalen bij toenemende lengte van de lijmnaad. Boven een bepaalde overlaptengte (daar waar de grafiek de X-as raakt) zal de sterkte van dit type verbindingen nauwelijks meer toenemen.

### Kwaliteitsborging

De reproduceerbaarheid van een lijmverbinding hangt meestal af van de mate waarin de (vaak vele) verschillende procesparameters binnen - vooraf zorgvuldig - gekozen grenzen zijn gebleven gedurende het gehele productieproces (zoals de reproduceerbaarheid van de oppervlaktereiniging, totaal volume aan ingesloten lucht (bellen) in de lijmlaag, soms de luchtvochtigheid, enz.) Een goede procesbewaking (beheersing) kan uiteindelijk een zeer goed voorspelbare productkwaliteit opleveren.

## 10. Automatiseren van het lijmen

### Twee-component lijmsystemen

De twee-component lijmsystemen kunnen met een statische mengbuis goed worden ingezet in robotsystemen in massafabricage, bijvoorbeeld automobielassemblage. De meng en doseerapparatuur kan op een vaste positie worden geplaatst, waarbij de robot de lijmtoevoer en de

positionering van product ten opzichte van spuitmond en productafvoer verzorgd.

### **Één-component lijmsystemen**

Ook bij de ééncomponentige contactlijmen, elastische lijmen en licht-uithardende lijmen is een robotsysteem met spuitmond toepasbaar.

Bij snellijmen zal men de lijm pulserend kunnen aanbrengen. Een andere mogelijkheid is om de spuitmondbeweging en dosering door de robot uit te laten voeren. Voor lijmfilm zou wikkelen of een tape-laying machine toepassing kunnen vinden.

### **11. Kwaliteitsaspecten bij het lijmen**

De kwaliteitsbeheersing van gelijmde verbindingen wordt bepaald door de kwaliteit van de gebruikte lijmmaterialen en de beheersing van het gehele lijmp proces. Bij twee-component lijmsystemen is de kwaliteit daarnaast sterk afhankelijk van de juiste mengverhouding (vooral bij handmatig mengen en doseren) en de beperkte houdbaarheid in gemengde toestand (potlife).

Voor goede beheersing van het aanbrengen van de lijm en de uitharding is het wenselijk dat de uitvoering van het lijmp proces plaatsvindt in schone, geventileerde ruimte, waarbij de werkplaatstemperatuur en relatieve vochtigheid belangrijke factoren zijn. De absolute temperatuur en luchtvochtigheid dienen binnen bepaalde marges te liggen. De open tijd (de maximale verwerkingstijd waarbinnen de gemengde lijm op de lijmvlakken is aangebracht, voordat de verbinding wordt gesloten) is hiervan mede afhankelijk. Een kortere open tijd die een gevolg kan zijn van een verhoogde werkplaatstemperatuur kan resulteren in slechte lijmnaden door het te laat op elkaar brengen van de lijmdelen. Hoge relatieve vochtigheid kan leiden tot condensvorming op relatief koude lijmvlakken, hetgeen verminderde hechting tot gevolg heeft.

Bij ééncomponentige lijmsystemen geldt niet zozeer de kwaliteit van het mengen of van een 'potlife', maar wel van de zogeheten 'shelf-life'. Lijmen die in gebruik zijn genomen in de werkplaats mogen maar een beperkte tijd worden blootgesteld aan de invloed van kamertemperatuur of luchtvochtigheid.

Tijdens uitharding is de juiste beheersing van de procesdruk van groot belang. Te hoge druk leidt tot te dunne lijmnaden, bijna alle lijm wordt uitgeperst. Te lage druk leidt tot losse plekken of poreuze lijmnaden. Verder is, vooral voor warmuithardende systemen, de temperatuur van belang. Te lage temperatuur of te korte processtijd kan leiden tot niet-compleete uitharding met verminderde mechanische eigenschappen tot gevolg.

Aan de hand van eindcontrole van het gelijmde product kan de uiteindelijke kwaliteit worden vastgesteld. De eenvoudigste, goedkoopste, maar wel subjectieve methoden zijn een visuele inspectie van de lijmaadranden op uitpersing van lijm en de zogenaamde 'kloptest'. Geen uitpersing van lijm is een mogelijke indicatie van een losliggende of poreuze lijmaad. Door middel van kloppen op de lijmnaden met een metalen staafje of muntstuk kan, met enige ervaring, een plaatselijk losliggende en poreuze lijmaad worden gedetecteerd. Voor een meer objectieve detectie van afwijkingen kunnen Niet-destructieve Testmethoden worden gebruikt. De meest toegepaste methoden zijn ultrasone technieken (pulse-echo, C-scan), de resonantiemethode (Fokker Bondtester), of röntgentechneken.

### **12. Nabehandelen en nabewerking**

Over het algemeen behoeft een lijmaad geen nabewerking. Een kleine uitvloeit van lijm uit de lijmaad heeft een positieve invloed op de spanningsverdeling in de verbinding. Te veel lijmuitspersing wordt om visuele of

functionele redenen soms verwijderd door het afsteken met een beitel. Ga daarbij voorzichtig te werk, aangezien een beschadiging van het voorbehandelde oppervlak tot een verkorting van de levensduur van het product kan leiden. Vooral bij opgelegde wisselende belastingen.

Soms blijft een uitgeharde lijmaad wat kleverig, dit heeft te maken met inwerking van bestanddelen uit de lucht (bijvoorbeeld koolzuur) en kan tot gevolg hebben, dat verf daar niet op hecht. De remedie is om deze uitgeharde naad af te nemen met een doek met oplosmiddel.

### **13. Economische aspecten van het lijmen**

De pasteuze en vloeibare één- en tweecomponent lijmsystemen zijn relatief goedkoop en eenvoudig aan te brengen. De apparatuur voor toepassing bij kleine en middelgrote series is eenvoudig en vergt geen grote investering. De lijmapplicatie-apparatuur voor grote series of massafabricage vergt middelmatige tot hoge investeringen, mede afhankelijk van het al dan niet inzetten van een robot.

Ten aanzien van het uitharden is het investeringsniveau afhankelijk van de methode van aanbrengen, de uithardingsstijd en van de lijmaadruk. De vacuümzak methode (het aandrukken van de werkstukken met behulp van een vacuümzak), die ook geschikt is voor niet vlakke producten, is zeer universeel en kan dus voor vele productvormen worden toegepast. Deze techniek vergt slechts een geringe investering. Zeker in vergelijking met de aanschaf van bijvoorbeeld hydraulische persen of een autoclaaf. De loonkosten zullen in analogie met laswerk relatief hoger zijn bij klein seriewerk.

Het toepassen van hoogwaardige lijmfilms geeft, vanwege de hoge materiaalprijs, het dure transport en opslag (diepvries), een hoge kostenpost. De toepassing van dit materiaal wordt bijna uitsluitend toegepast op geanodiseerd en geprimed aluminium. Een warme lijmpers of autoclaaf is noodzakelijk voor uitharding van dit type lijm. Vanwege deze redenen is het gebruik van lijmfilm in de praktijk vrijwel uitsluitend beperkt tot de vliegtuigbouw.

### **14. ARBO- en milieu- aspecten**

Voor alle lijmp producten worden "Veiligheids Informatie Bladen" door de lijmleveranciers verstrekt, waarin de samenstelling, toxiciteit, brandbaarheid, beschermingsmaatregelen, opslag, transport en restafvalverwerking beschreven zijn. Deze veiligheidsbladen worden ook wel afgekort als "MSDS" (afkomstig van het engelse Material Safety Data Sheets). Lees deze voor het gebruik altijd eerst aandachtig door.

In lijmen kunnen voor de mens gevaarlijke stoffen zitten zoals isocyanaten, maar ook brandbare producten zoals oplosmiddelen. Deze stoffen worden echter meer en meer verwijderd uit de lijmsystemen. Een aantal alternatieve lijmsystemen die deze stoffen niet meer bevatten zijn inmiddels verkrijgbaar.

Het werken met beschermende laboratoriumjas, handschoenen en veiligheidsbril is aan te bevelen. Sommige componenten in epoxies kunnen aanleiding geven tot huidirritaties. Acrylaatlijmen verspreiden soms een sterke geur (kan hinderlijk zijn). Eten, drinken en roken in de werkplaats is verboden.

Snellijmen kleven bij aanraking soms spontaan aan de huid (oogleden, vingertoppen). Bij een langdurige blootstelling aan lauw water verweken zij echter vaak snel.

Uitgewerkte oplosmiddelen, chemische voorbehandelingsvloeistoffen, primers en niet uitgeharde lijmmaterialen vallen allen onder gevaarlijke stoffen en moeten volgens de wettelijk voorgeschreven procedures worden verzameld en afgevoerd naar daartoe bevoegde afvalverwerkingsbedrijven.

## 15. Normering

Bij het keuren van lijmen en lijmverbindingen wordt onderscheid gemaakt in fysische en mechanisch/destructieve beproeving van het lijm materiaal, alsmede in niet-destructieve en destructieve beproevingsmethoden ten behoeve van de gelijmde verbinding.

Bij fysische beproevingsmethoden van het lijm materiaal kan worden gedacht aan het meten van eigenschappen als de viscositeit, de vloeit, de zuurgraad (pH), het soortelijk gewicht, de elasticiteit, het vlammpunt, enz. Voorbeelden van mechanisch/destructieve beproevingsmethoden van lijm materialen zijn schuifproeven, scheur- of afpelpoeven en kruipproeven. Gelijmde verbindingen kunnen niet-destructief worden getest met o.a. thermische -, ultrasone- en akoestische resonantiemethoden. Veel toegepaste destructieve beproevingsmethoden van gelijmde verbindingen zijn trekproeven en afschuifproeven.

De keuze van de beproevingsmethode voor lijm materiaal en lijmverbinding wordt vooral bepaald door de gebruiksomstandigheden waarbij de gelijmde verbinding wordt belast.

Het is gebruikelijk dat er volgens gestandaardiseerde meetmethoden wordt getest en dat gestandaardiseerde proefstukken worden beproefd in en/of na blootstelling aan een bepaald milieu (bijvoorbeeld zuur of basisch, droog of vochtig), afhankelijk van de gestelde eisen (verwachtingen) waaraan de lijmverbinding moet voldoen.

Op de website ([www.nen.nl/normshop](http://www.nen.nl/normshop)) van het Nederlands Normalisatie Instituut (NEN) zijn onderstaande normen op het gebied van lijmen en lijmverbindingen te vinden. De belangrijkste voor de toepassing van dunne platen worden hier vermeld:

*NEN-EN-ISO 10363:1995 en*

Warm-smeltlijmen; Bepaling van de thermische stabiliteit

*NEN-EN-ISO 10365:1995 en*

Lijmen; Aanduiding van de belangrijkste breukpatronen

*NEN-EN 1066:1997 en*

Lijmen; Monsterneming

*NEN-EN 1067:1997 en*

Lijmen; Onderzoek en bereiding van proefmonsters

*NEN-EN-ISO 10964:1997 en*

Lijmen; Bepaling van de weerstand tegen losdraaien van anaërobe lijmen op bevestigingsartikelen met schroefdraad

*NEN-EN 12023:1996 en*

Zelfklevende band; Meting van de waterdampdoorlatendheid in een warme en vochtige atmosfeer

*NEN-EN 12025:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de scheursterkte met de slingermethode

*NEN-EN 12026:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de afrolkracht bij hoge snelheid

*NEN-EN 12027:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de bestandheid tegen vlammen

*NEN-EN 12028:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de rek bij statische belasting

*NEN-EN 12029:1996 en*

Zelfklevend band; Bepaling van het gehalte aan, in water oplosbare corrosieve ionen

*NEN-EN 12030:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de slagweerstand

*NEN-EN 12031:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de berststerkte

*NEN-EN 12032:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de hechting van thermo-hardend plakband tijdens de uitharding

*NEN-EN 12033:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de hechting van thermo-hardend plakband na de uitharding

*NEN-EN 12034:1996 en*

Zelfklevend band; Meting van de lengte van een rol plakband

*NEN-EN 12035:1996 en*

Zelfklevend band; Het krullen van plakband

*NEN-EN 12036:1996 en*

Zelfklevend band; Het indringen van oplosmiddelen in afplakband

*NEN-EN 12092:2001 en*

Lijmen; Bepaling van de viscositeit

*NEN-EN 12188:1999 en*

Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies; Bepaling van de hechting van staal op staal voor het karakteriseren van dragende lijmen

*NEN-EN 1238:1999 en*

Lijmen; Bepaling van het verwekingspunt van thermoplastische lijmen (ring en kogel)

*NEN-EN 1239:1998 en*

Lijmen; Vries-dooi-stabiliteit

*NEN-EN 1240:1998 en*

Lijmen; Bepaling van het hydroxylgetal en/of het hydroxylgehalte

*NEN-EN 1241:1998 en*

Lijmen; Bepaling van het zuurgetal

*NEN-EN 1242:1998 en*

Lijmen; Bepaling van het isocyaangetal

*NEN-EN 1243:1998 en*

Lijmen; Bepaling van het gehalte aan vrij formaldehyde in amino- en amidoformaldehydecondensaten

*NEN-EN 1246:1998 en*

Lijmen; Bepaling van de as en de sulfaat-as

*NEN-EN 12481:2000 en*

Zelfklevend band; Termen en definities

*NEN-EN 12724:1997 Ontw. en*

Lijmen; Lijmen op waterbasis; Bepaling van de blijvende brandbaarheid (methode met gesloten kroes)

*NEN-EN 12768:1997 Ontw. en*

Lijmen voor constructiedoeleinden; Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van metalen

*NEN-ISO 13445:1995 en*

Lijmen; Bepaling van de afschuifsterkte van lijmverbindingen tussen starre elementen met de blok-afschuifmethode

*NEN-EN 13887:2000 Ontw. en*

Lijmen voor constructiedoeleinden; Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van metalen en kunststoffen voorafgaande aan lijmverbindingen

*NEN-ISO 13895:1997 en*

Lijmen; Leidraad voor de voorbereiding van kunststof oppervlakken

*NVN-ENV 13999:2001 en*

Lijmen; Kortstondige methode voor het meten van de emissie-eigenschappen van lijmen met weinig of geen oplosmiddel na behandeling;

Deel 1: Algemene procedure

Deel 2: Bepaling van het gehalte aan vluchtige organische verbindingen

Deel 3: Bepaling van het gehalte aan vluchtige aldehydes

Deel 4: Bepaling van het gehalte aan vluchtige diisocyaan

*NEN-EN 14022:2000 Ontw. en*

Structurele lijmen; Bepaling van de levensduur (bruikbaarheidsduur) van lijmen bestaande uit meerdere componenten

*NEN-EN 14173:2002 en*

Lijmen voor constructiedoeleinden; T-afpelpoef voor flexibel/flexibel gelijmde verbindingen

*NEN-EN 14256:2001 Ontw. en*

Lijmen voor niet-structurele toepassingen; Bepaling van de methode en eisen voor weerstand tegen statische belasting

*NEN-EN 14258:2001 Ontw. en*

Lijmen; Mechanisch gedrag van gelijmde verbindingen onder kortdurende of langdurige blootstelling aan temperatuursomstandigheden



*NEN-EN 14410:2002 Ontw. en*  
Zelfklevend band;Meting van de breeksterkte en rek bij breuk

*NEN-EN 14493:2002 en*  
Lijmen; Bepaling van de dynamische weerstand van de lijmmaad met hoge sterkte van gelijmde verbindingen onder botsomstandigheden; Splijt-bots methode  
*NPR-CEN/TR 14548:2002 Ontw. en*  
Lijmen; Leidraad voor beproevingsmethoden en andere normen voor algemene eisen, karakterisering en veiligheid van structurele lijmen  
*NEN-ISO 14615:1998 en*  
Lijmen;Duurzaamheid van verbindingen met constructielijmen; Blootstelling aan vochtigheid en warmte onder belasting  
*NEN-EN 1464:1995 en*  
Lijmen; Bepaling van de weerstand tegen pellen van lijmverbindingen met hoge sterkte; Drijvende-rollenmethode  
*NEN-EN 1465:1995 en*  
Lijmen;Bepaling van de trekschuifsterkte van lijmverbindingen met hoge sterkte  
*ISO 14676:1997 en*  
Adhesives; Evaluation of the effectiveness of surface treatment techniques for aluminium; Wet-peel test by floating-roller method  
*NEN-EN-ISO 14678:1995 Ontw. en*  
Lijmen;Bepaling van de weerstand tegen uitlopen (zakvormig)  
*ISO 14679:1997 en*  
Adhesives;Measurement of adhesion characteristics by a three-point bending method  
*NEN-ISO 15107:1998 en*  
Lijmen; Bepaling van de sterkte van de lijmmaad van gelijmde verbindingen  
*NEN-ISO 15108:1998 en*  
Lijmen; Bepaling van de sterkte van gelijmde verbindingen met een buig-afschuifmethode  
*NEN-ISO 15109:1998 en*  
Lijmen; Bepaling van de tijd tot breuk van gelijmde verbindingen onder statische belasting  
*NEN-ISO 15166:1998 en*  
Lijmen; Methoden voor de bereiding van bulkmonsters; Deel 1: Twee-delensystemen  
Part 2: Elevated-temperature-curing one-part systems  
*NEN-ISO 15509:2001 en*  
Lijmen; Bepaling van de verbindingsterkte van industriële lijmen voor kunststof  
*ISO 15605:2000 en*  
Lijmen; Monsterneming  
*NEN-EN 1840:1995 Ontw. en*  
Constructielijmen; Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van kunststoffen  
*152. NEN-EN 1939:1996 en*  
Zelfklevende band; Meting van de hechting op corrosievast staal of op de eigen rugzijde  
*NEN-EN 1940:1996 en*  
Zelfklevend band; Meting van de breeksterkte  
*NEN-EN 1941:1996 en*  
Zelfklevend band; Meting van de rek bij breuk  
*NEN-EN 1942:2003 en*  
Zelfklevend band; Meting van de dikte  
*NEN-EN 1943:2002 en*  
Zelfklevend band; Meting van de afschuifweerstand bij statische belasting  
*NEN-EN 1944:1996 en*  
Zelfklevende band; Meting van de afrolkracht bij lage snelheid  
*NEN-EN 1945:1996 en*  
Zelfklevend band; Meting van de beginkleefkracht

*NEN-EN 1965:2001 en*  
Lijmen voor constructiedoeleinden; Corrosie;  
Deel 1: Bepaling en indeling van de corrosie op een ondergrond van koper  
Deel 2: Bepaling en indeling van de corrosie op een ondergrond van messing  
*NEN-EN 1966:2002 en*  
Lijmen voor constructiedoeleinden; Karakterisering van een oppervlak door meting van de adhesie met de driepunts-buigmethode  
*NEN-EN 1967:2002 en*  
Lijmen voor constructiedoeleinden; Beoordeling van de doeltreffendheid van oppervlaktebehandelingstechnieken voor aluminium door gebruik van de natte-afpelproef in samenwerking met de drijvende-rollenmethode  
*NEN-EN 204:2001 en*  
Classificatie van thermoplastische houtlijmen voor niet-constructieve toepassingen  
*NEN-EN 2243-3:1992 en*  
Lucht- en ruimtevaart; Structurele lijmen; Beproevingmethoden; Deel 3: Afpelproef metaal-honingraatkern  
*NEN-EN 2667-6:2002 en*  
Aerospace series; Non-metallic materials; Foaming structural adhesives; Test methods; Part 6: Determination of water absorption  
*NEN-EN 301:1993 en*  
Lijmen voor dragende houtconstructies; Polycondensatielijmen op basis van phenolen en aminoplasten; Classificatie en prestatie-eisen  
*NEN-ISO 4588:1996 en*  
Lijmen;Leidraad voor de voorbehandeling van oppervlakken van metaal  
*NEN-EN 542:1995 en*  
Lijmen; Bepaling van de dichtheid  
*NEN-EN 543:1995 en*  
Lijmen; Bepaling van de schijnbare dichtheid van lijmen in poeder- en korrelvorm  
*NEN-EN 827:1995 en*  
Lijmen; Bepaling van het gebruikelijke vaste-stofgehalte en het vaste-stofgehalte bij constante massa  
*NEN-EN 828:1997 en*  
Lijmen; Bevochtiging; Bepaling door meting van de aanrakingshoek en de kritische oppervlaktespanning van vaste oppervlakken  
*NEN-ISO 8510:1993 en*  
Lijmen; Beproevingmethode voor buigzaam-star gelijmde proefmonsters;  
Deel 1: 90° afpeltest  
Deel 2: 180° afpeltest  
*NEN-ISO 9142:1996 en*  
Lijmen; Leidraad voor de keuze van standaard laboratoriumverouderingsomstandigheden voor de beproeving van gelijmde verbindingen  
*NEN-EN 923:1998 en*  
Lijmen;Termen en definities  
*NEN-EN 924:1995 en*  
Lijmen; Lijmen met en lijmen zonder oplosmiddel; Vlampuntbepaling  
*NEN-EN-ISO 9653:2000 en*  
Lijmen; Beproevingmethode voor slagafschuifsterkte van gelijmde verbindingen  
*NEN-EN-ISO 9664:1995 en*  
Lijmen; Beproevingmethoden voor de vermoeiingseigenschappen van structuurlijmen bij afschuiving onder trekbelasting  
*NEN-EN-ISO 9665:2000 en*  
Lijmen; Dierlijke lijmen; Methoden voor monsterneming en beproeving





## Auteur

Deze voorlichtingsbrochure is tot stand gekomen, middels een samenwerkingsverband van de Federatie Dunne Plaat FDP), het Hechtingsinstituut, het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), het Netherlands Institute for Metals Research (NIMR), Syntens, TNO Industrie en de Vereniging FME-CWM.

De auteur, H. Poulis (Hechtingsinstituut) werd ondersteund door een werkgroep bestaande uit: H.J.M. Bodt LPI (NIL), P. Boers (FME-CWM), A. Gales (TNO Industrie), H. de Kruijk (TNO Industrie), M. de Nooij (TNO Industrie), J. van de Put (Syntens) en H.H. van der Sluis (adviseur TNO Industrie).

## Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur H. Poulis (tel.: 015-2785353, e-mail: [poulis@dutlbcz.lr.tudelft.nl](mailto:poulis@dutlbcz.lr.tudelft.nl))

## Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info-bladen:

### Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,  
2713 HX ZOETERMEER  
Correspondentie-adres: Postbus 190,  
2700 AD ZOETERMEER  
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41  
Fax: (079) 353 13 65  
E-mail: [pbo@fme.nl](mailto:pbo@fme.nl)  
Internet: <http://www.fme-cwm.nl>

### Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Adres: Krimkade 20,  
2251 KA VOORSCHOTEN  
Telefoon: (071) 560 10 70  
Fax: (071) 561 14 26  
E-mail: [info@nil.nl](mailto:info@nil.nl)  
Internet: <http://www.nil.nl>

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM  
afdeling Technische Bedrijfskunde  
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer  
telefoon 079 - 353 11 00  
telefax 079 - 353 13 65  
e-mail: [pbo@fme.nl](mailto:pbo@fme.nl)  
internet: <http://www.fme-cwm.nl>



Netherlands Institute  
for Metals Research

