

lijmen van metalen

vm 87

VWM

FME  CWM

lijmen van metalen

vm 87



een uitgave van de

Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
Telefoon: (079) 353 11 00
Telefax: (079) 353 13 65
E-mail: info@fme.nl
Internet: <http://www.fme.nl>

© Vereniging FME-CWM/januari 2008

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd 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 Technologie en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: <http://www.fme.nl>

lijmen van metalen

Toelichting:

In het kader van actualisering van voorlichtingspublicaties (een samenwerkingsverband tussen FDP, FME, NIL, NIMR, Syntens en TNO Industrie & Techniek), is deze voorlichtingspublicatie aangepast aan de huidige stand der techniek. De originele publicatie is in 1991 tot stand gekomen door samenwerking van de Vereniging FME/CWM en het Nederlands Instituut voor Lastechniek in het kader van het FME/NIL project "Het lijmen als verbindingstechniek".

Deze publicatie vormt een deel van een serie voorlichtingspublicaties over lijmtechnieken. De andere publicaties in deze reeks zijn:

- VM 86 lijmen algemeen - algemene inleiding in de kenmerken van de lijmtechniek en in de kenmerken van lijmsystemen;
- VM 88 lijmen van kunststoffen;
- VM 89 keuren van lijmen en lijmverbindingen.

Het lijmen als verbindingstechniek is sterk in opkomst. Het lijmen heeft zich internationaal al een goede positie weten te veroveren naast andere verbindingstechnieken, zoals lassen, solderen en mechanische verbindingstechnieken. Dit komt onder meer door het toenemend gebruik van nieuwe, moeilijk lasbare materialen (bijvoorbeeld beklede staalplaat, technische kunststoffen) en door de toenemende vraag naar het verbinden van ongelijksoortige materialen. Ook zijn er vele ontwikkelingen op het gebied van geavanceerde applicatie-apparatuur en op het gebied van nieuwe lijmformuleringen.

In vele takken van industrie wordt al gebruik gemaakt van de voordelen van het toepassen van de lijmtechnologie. Ontwerpvrijheid bij het construeren, een betere corrosiebestendigheid van de verbinding en een grotere demping van mechanische en geluidstrillingen zijn er enkele voorbeelden van.

De Nederlandse industrie maakt in sommige sectoren onvoldoende gebruik van de mogelijkheden van de lijmtechnologie. Dit is onder meer veroorzaakt door het ontbreken van goede nederlandsstalige voorlichtingspublicaties. De FME en het NIL hebben indertijd het initiatief genomen om de bestaande kennis op overzichtelijke wijze in een aantal voorlichtingspublicaties te bundelen.

De voorlichtingspublicaties zijn zeer geschikt als handleiding bij de introductie van de lijmtechnologie in bedrijven, onderwijsinstellingen en andere organisaties.

Samengesteld in 1991 door:

C.C.J. Kaasschieter en H.H. van der Sluis (IPL-TNO)

Herzien in 2007 door:

A. Kwakernaak, J.A. Poulis, P.A. de Regt (Hechtingsinstituut TU Delft)

Technische informatie:

Nederlands Instituut voor Lastechniek

- bezoek en correspondentie-adres: Boerhavelaan 40, Zoetermeer (wijk 15)
- correspondentie-adres: Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
- telefoon: 088-4008560
- telefax: 079-3531178
- e-mail: info@nil.nl
- internet: www.nil.nl

Hechtingsinstituut TU Delft

- bezoek- en correspondentie-adres: Kluyverweg1, 2629 HS Delft
- telefoon: 015-2785353
- telefax: 015-2787151
- e-mail: info@hechtingsinstituut.nl
- internet: www.hechtingsinstituut.nl

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

Vereniging FME-CWM, afdeling Technologie en Innovatie/Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- bezoekadres: Boerhavelaan 40, Zoetermeer (wijk 15)
- correspondentie-adres: Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
- telefoon: 079-3531341/3531100
- telefax: 079-3531365
- e-mail: info@fme.nl
- internet: www.fme.nl

Inhoudsopgave

1 Algemene inleiding	5	5 Aanbreng- en verhardingstechnieken	40
1.1 Wat is lijmen?	5	5.1 Het aanbrengen van de lijm	40
1.2 Waarom lijmen?	5	5.1.1 Het aanbrengen van vloeibare lijm	40
1.2.1 Technische voor- en nadelen van het lijmen	5	5.1.2 Het aanbrengen van lijm in vaste vorm	42
1.2.2 Economische voor- en nadelen van het lijmen	5	5.2 Het totstandkomen van de lijmverbinding	43
1.3 Lijmhechting en lijmsamenhang	5	5.2.1 Verhardingsdruk	43
1.3.1 Lijmsamenhang (cohesie)	5	5.2.2 Verhardingstemperatuur	44
1.3.2 Hechting (adhesie)	6	5.2.3 Verhardingstijd	44
1.4 Stappen die de lijmtechniek bepalen	6	5.3 Bijzondere toepassingen	44
1.5 Kwaliteitszorg en kwaliteitsborging	6	5.3.1 Aanbrengen van de lijm	44
1.6 Nieuwe ontwikkelingen op lijmgebied	6	5.3.2 Voorwaarden	45
1.7 Verdere inhoud voorlichtingspublicatie	7	5.3.3 Doseerinstallatie	45
		5.3.4 Onderhoud van lijm/kit-installaties	45
2 Constructieve vormgeving	8	6 Kwaliteitsbeheersing	46
2.1 Inleiding	8	6.1 Wat is kwaliteit?	46
2.1.1 Het belasten van lijmverbindingen in een constructie	8	6.2 Algemene aspecten lijmverbindingen	46
2.1.2 De produceerbaarheid van een lijmconstructie	8	6.3 Kwaliteitsbeheersing van het lijmmateriaal	47
2.2 Belastingsvormen bij lijmverbindingen	8	6.4 Kwaliteitsbeheersing van de adhesie	47
2.2.1 Trek- of drukbelasting	8	6.5 Kwaliteitsbeheersing van de cohesie	48
2.2.2 Scheur- of afpelbelasting	9	6.6 Eindcontrole	48
2.2.3 Schuifbelasting	9	7 Beproeven van de lijmverbinding	50
2.3 Sterkte en uitvoeringsvormen van gelijmde lapnaden	10	7.1 Algemeen	50
2.3.1 Spanningsverdeling in de lapnaad	10	7.2 Standaard beproevingsmethoden voor lijmverbindingen	51
2.3.2 Factoren die de toelaatbare gemiddelde schuifspanning van lapnaden beïnvloeden	11	7.2.1 Niet-destructieve beproevingsmethoden	51
2.3.3 Sterkte van gelijmde lapnaden	13	7.2.2 Destructieve beproevingsmethoden	52
2.4 Berekenen van lijmverbindingen	15	8 Veiligheid en hygiëne	53
2.5 Gelijmde hoekverbindingen	19	8.1 Algemeen	53
2.5.1 Trekbelasting/afpelbelasting	19	8.2 Maatregelen bij voorbehandelingen	53
2.6 Gelijmde paneelconstructies	20	8.3 Maatregelen bij het werken met lijmen	53
2.6.1 Verhoging van de stabiliteit	20	8.4 Werkplek	54
2.6.2 Aanpassing doorsnede aan plaatselijke belasting	21	8.5 EHBO	54
2.6.3 Geconcentreerde belastingen	21	8.6 Maatregelen per type lijm	54
2.6.4 Sandwichconstructies	21	8.7 Milieu	54
2.7 Gelijmde plaatverstijvingen	22	9 Normen	55
2.8 Gelijmde buis/ronde verbindingen	23	Literatuur	59
2.8.1 Axiale belasting (trek, druk)	23	Trefwoordenregister	60
2.8.2 Torsiebelasting	23		
2.9 Toepassingen	24		
2.10 Praktijkvoorbeelden	26		
3 De keuze van het lijmtyp	29		
4 Keuren van de lijmverbinding	32		
4.1 Inleiding	32		
4.2 Doel van de voorbehandeling	32		
4.3 Methodes van voorbehandelen	32		
4.3.1 Ontvetten	32		
4.3.2 Mechanische voorbehandeling	33		
4.3.3 Chemische behandeling	33		
4.3.4 Plasma behandelen (fysische behandeling)	33		
4.3.5 Voorbehandelen met primers	34		
4.4 Toepassingen chemische behandelingen voor metalen	35		

Hoofdstuk 1

Algemene inleiding

1.1 Wat is lijmen?

Lijmen is een verbindingstechniek naast andere verbindingen als lassen, solderen, klinken, drukvoegen, bouten, enz.. Er wordt van lijmen gesproken wanneer twee lichamen aan elkaar worden bevestigd met behulp van een niet-metalen tussenstof, die zich hecht aan beide lichamen en die ook zelf voldoende sterkte bezit. Deze stof noemen we lijm. Het lijmen kan ook in combinatie met bijvoorbeeld puntlassen, klinken en drukvoegen worden gebruikt.

1.2 Waarom lijmen?

De keuze voor lijmen als verbindingstechniek dient men te nemen op grond van een aantal overwegingen.

1.2.1 Technische voor- en nadelen van het lijmen

Voordelen:

- ▶ lijmverbindingen zijn "ononderbroken" verbindingen; er treden geen vervormingen of verzwakkingen op zoals bij klinken en bouten;
- ▶ lijmverbindingen zorgen voor een gelijkmatige verdeling van de spanningen in de verbinding, waardoor goede dynamische sterkte-eigenschappen worden verkregen;
- ▶ er treedt, in vergelijking tot lassen, geen of slechts geringe temperatuurverhoging op (beïnvloeding van het materiaal);
- ▶ ongelijksoortige materialen kunnen met elkaar worden verbonden;
- ▶ de verbindingen zijn vaak onzichtbaar, alleen de zijkant geeft een dunne lijmmaad te zien, hetgeen het uiterlijk van het product ten goede komt;
- ▶ de verbindingen zijn vloeistof- en dikwijls ook gasdicht, waardoor elektrolytische spleetcorrosie wordt voorkomen;
- ▶ zeer dunne materialen en kleine onderdelen kunnen worden verbonden, waardoor miniaturisatie mogelijk is;
- ▶ het gebruik van lijmen biedt de constructeur geheel nieuwe mogelijkheden;
- ▶ zowel elektrisch als thermisch isolerende of geleidende verbindingen kunnen worden gemaakt;
- ▶ lijmverbindingen dempen trillingen, zoals vibraties of geluid;
- ▶ nabewerken van de lijmverbinding is in het algemeen niet nodig; er ontstaat een glad en strak oppervlak;
- ▶ lijmen in combinatie met puntlassen of mechanisch verbinden, verhoogt de dynamische weerstand, stijfheid en corrosieweerstand ten opzichte van alleen puntlassen of mechanisch verbinden.

Nadelen:

- ▶ het maken van een lijmverbinding vergt vaak extra zorg en toezicht;
- ▶ voor een optimale verbinding moeten de te verbinden materialen meestal zorgvuldig worden voorbereid;
- ▶ de lijmverbinding heeft een beperkte temperatuurvastheid;
- ▶ de sterkte van de lijmverbinding als constructie-element is moeilijk vooraf te berekenen;
- ▶ de verkregen hechting van de lijm op het materiaal is achteraf moeilijk niet-destructief te controleren;
- ▶ er moet een verhardingstijd (ook uithardingstijd genoemd) in acht worden genomen, voordat de verbinding de vereiste sterkte bezit;

- ▶ de verbindingen kunnen in het algemeen moeilijk worden gedemonteerd.

1.2.2 Economische voor- en nadelen van het lijmen

Voordelen:

- ▶ besparing in ontwerp- en constructietijd en verlaging van de kostprijs;
- ▶ ruimere maat- en oppervlakteruwheidstoleranties zijn toelaatbaar, ten opzichte van andere verbindingstechnieken;
- ▶ verhoging van duurzaamheid en betrouwbaarheid, waardoor verlaging van onderhoudskosten, mits de nodige voorzorgsmaatregelen zijn genomen, zoals een goede voorbehandeling.

Nadelen:

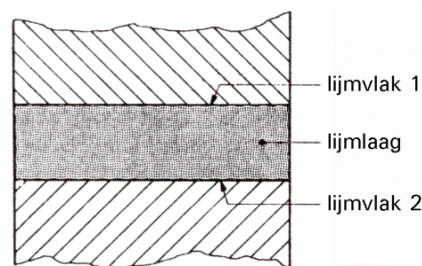
- ▶ de voorbehandeling kan extra kosten in tijd en apparatuur vergen;
- ▶ de toepassing van lijmen, etsmiddelen en oplosmiddelen vereisen een goede bescherming van de mens in de vorm van een goede afzuiging en beschermingsmiddelen om inademing en contact met de huid en de ogen tegen te gaan;
- ▶ nauwkeurige procescontrole is noodzakelijk;
- ▶ de afvallijmstoffen moeten als chemisch afval worden afgevoerd.

1.3 Lijmhechting en lijmsamenhang

Een lijmverbinding bestaat uit een lijmlaag en twee te lijmen onderdelen (figuur 1.1). De sterkte van de lijmverbinding wordt beïnvloed door twee factoren:

- ▶ de sterkte van de lijmlaag, ook wel de cohesie-sterkte genoemd;
- ▶ de sterkte van de hechting van de lijmlaag aan de lijmvlakken, ook wel adhesiesterkte genoemd.

Het is dus belangrijk om naast een goede keuze van de lijm er eveneens voor te zorgen dat de lijm goed aan de te lijmen oppervlakken zal hechten.



figuur 1.1 De drie schakels in een lijmverbinding
 - de adhesie tussen lijmlaag en lijmvlak 1
 - de cohesie van de lijmlaag
 - de adhesie tussen lijmlaag en lijmvlak 2

1.3.1 Lijmsamenhang (cohesie)

De samenhang van de lijm berust op de moleculaire en atomaire krachten in de lijm zelf. Een goede samenhang mag bij een lijm echter pas ontstaan, nadat een goede bevochtiging is verkregen. Met andere woorden, de lijm moet eerst aan de te lijmen oppervlakken hechten en mag pas daarna uitharden.

Een belangrijke eis is, dat in de lijm tijdens de verharding zo weinig mogelijk inwendige spanningen ontstaan tengevolge van krimpverschijnselen. Deze verlagen de uiteindelijke verbindingsterkte. Krimpverschijnselen zijn meestal een gevolg van de doorharding van de lijm (chemische contractie), de verdamping van eventuele vluchtige lijmbestanddelen en een verschil in thermische uitzettingscoëfficiënt van de lijm (warmuithardend) en het te lijmen materiaal.

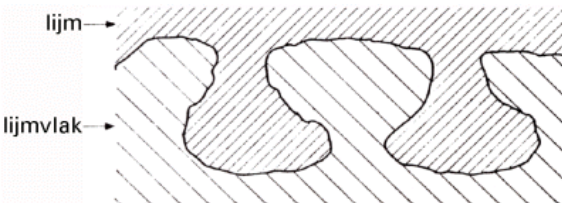
1.3.2 Hechting (adhesie)

De hechting van een lijm op een te lijmen oppervlak kan berusten op een drietal verschillende principes of combinaties ervan:

- ▶ mechanische verankering;
- ▶ adsorptie;
- ▶ vermenging van de stoffen (diffusie).

mechanische verankering

Hierbij heeft de lijm zich in vloeibare toestand zodanig in de poriën van het te lijmen oppervlak gedrongen, dat na de overgang van vloeibare in vaste toestand het lijm materiaal door de niet-lossende vorm van de poriën in het lijmvlak verankerd blijft (figuur 1.2).



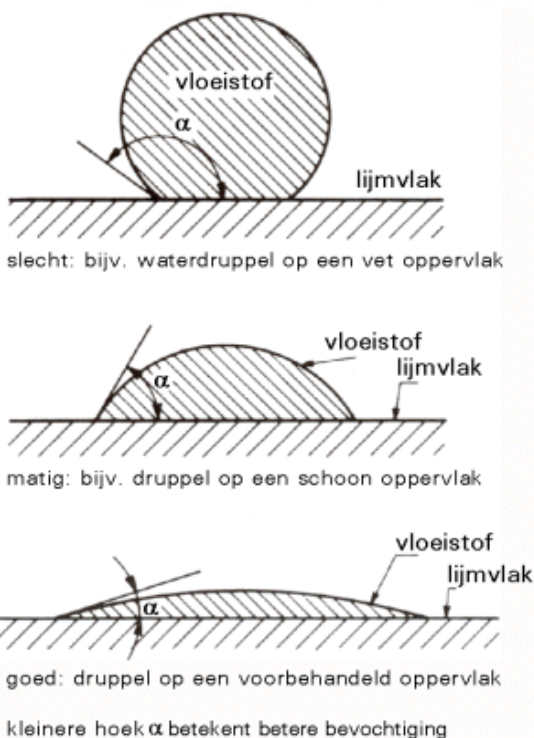
figuur 1.2 Mechanische verankering van de lijm

adsorptie

Dit is een hechtingsverschijnsel van de lijm op het lijmvlak als gevolg van intermoleculaire krachten, die werken ter plaatse van het grensvlak. Het is deze vorm van adhesie, die geacht mag worden bij het lijmen van metalen de belangrijkste rol te spelen.

Evenals bij magnetisme worden daarbij aantrekkende en afstotende krachten onderscheiden. Voorwaarden voor adsorptie is, dat de aantrekkende krachten overheersen en dat het lijm materiaal zo goed mogelijk in de oppervlakte-onregelmatigheden kan dringen. Aangezien de bedoelde krachten slechts over zeer kleine afstanden werkzaam zijn, is het noodzakelijk dat de lijm het te lijmen oppervlak zo dicht mogelijk kan benaderen.

Dit kan worden bevorderd door het oppervlak van het te lijmen materiaal voor te behandelen, bijvoorbeeld ontvetten. Hierdoor wordt de bevochtiging door de lijm bevorderd (figuur 1.3).



figuur 1.3 Bevochtiging

De viscositeit van de lijm is een belangrijke factor voor de bevochtiging. Hoe lager de viscositeit hoe beter de bevochtiging. Verhoging van de temperatuur van de lijm bevordert meestal de bevochtiging, onder andere door verlaging van de viscositeit van de lijm.

vermenging van de stoffen (diffusie)

De hechting kan in sommige gevallen eveneens voor een deel berusten op de vermenging van de lijm en het te lijmen materiaal, waarbij een verankering op moleculaire en atomaire schaal ontstaat.

1.4 Stappen die de lijmtechniek bepalen

In het voorgaande is al een opsomming gegeven van factoren, die de keuze voor het al dan niet gebruiken van de lijmtechniek bepalen. Er is een aantal stappen te onderscheiden in het proces van lijmen. Elk van deze stappen moet goed worden overwogen en op schrift gesteld, alvorens een definitieve keuze voor de techniek en de wijze van uitvoering kan worden gemaakt. De stappen zijn in tabel 1.1 weergegeven in volgorde van het lijmproces zelf; de stappen hebben echter een nauwe relatie met elkaar.

Voor het maken van een goede keuze moet bij iedere stap duidelijk zijn wat de eisen zijn en wat de wensen zijn. Dit hele samenspel is noodzakelijk om voor een bepaalde toepassing van het lijmen een betrouwbare lijmverbinding te kunnen garanderen.

tabel 1.1 De verschillende stappen te onderscheiden in het proces van lijmen

specificatie van het product	pakket van eisen
productontwerp	type verbinding
materiaalkeuze	verbindingstechniek
lijmtechniek?	eisen en wensen ten aanzien van de lijmverbinding formuleren en vastleggen
materialen	vormgeving van de verbinding
lijmkeuze	lijmtype applicatie: benodigde apparatuur en kennis uitharding keuren: bepalen testmethoden
keuze voorbehandeling	veiligheids- en milieuvoorschriften
procesonderzoek	vaststellen procesgrenzen voorbehandelen en lijmen opstellen processpecificaties
proefproductie	proefverbinding of gehele product
kwaliteitszorg	
kwaliteitsborging	
logistiek regelen	

1.5 Kwaliteitszorg en kwaliteitsborging

Zoals bij ieder productie-onderdeel vereist de lijmtechniek een goede kwaliteitszorg en kwaliteitsborging. Dit betekent dat van iedere stap moet worden nagegaan wat er precies wel (en soms ook wat er niet) gedaan moet worden en dat één en ander volledig moet worden vastgelegd.

Het proces moet aan de hand van deze voorschriften worden afgewerkt. De controle op de naleving van de werkvoorschriften moet zijn gewaarborgd via een kwaliteitsborgingssysteem. Een voorbeeld voor een kwaliteitsborgingssysteem is te vinden in bijvoorbeeld de normbladen NEN-ISO 9001 en 9002.

1.6 Nieuwe ontwikkelingen op lijmgebied

lijmen van vette plaat

Bij toepassing van staalplaat, bijvoorbeeld in de auto-industrie, is deze plaat vaak voorzien van een conser-

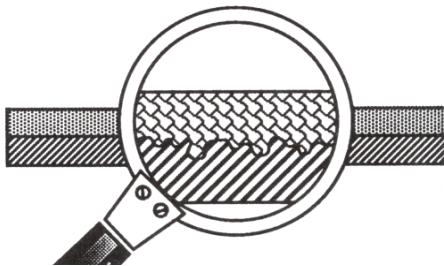
veringsolie. Voor deze toepassing zijn lijmsorten ontwikkeld, die er voor zorgen dat de olie door de lijm wordt opgenomen, waardoor zonder ontvettingsbehandeling toch een goede lijmverbinding wordt verkregen. Het sterkteniveau kan wel lager uitvallen, afhankelijk van de hoeveelheid olie per oppervlakte-eenheid, zodat deze manier van lijmen vaak in combinatie met felsen of puntlassen wordt toegepast. Meestal zijn deze lijmen geoptimaliseerd voor een bepaald type olie en werken minder of helemaal niet bij andere oliesoorten

lijmen van beklede plaat

Bij toepassing van organisch beklede plaat, bijvoorbeeld gelakte plaat, is het lijmen een goede verbindingstechniek, mits de keuze van de lijm goed op de materiaalcombinatie is afgestemd.

lijmen met behulp van lijmtapes

Een handzame verschijningsvorm van lijmen zijn lijmtapes; in feite is dit lijm op een rol in plaats van in een blik. De lijmtapes zijn homogeen van opbouw en bezitten goede vloeieigenschappen, waardoor ze doordringen tot in de poriën van het oppervlak (figuur 1.4). Deze vloeieigenschappen zorgen ervoor dat eventuele ongelijkheden in het oppervlak worden overbrugd. Lijmtapes kunnen eveneens goed in combinatie met mechanische verbindingstechnieken worden gebruikt.



figuur 1.4 Lijmtape

lijmen met MS polymeer

Lijmen die zijn ontwikkeld op basis van MS-polymeer. Deze zijn verkrijgbaar als eencomponent- en tweecomponentenlijmsysteem. De eencomponentlijmsystemen harden uit onder invloed van vocht bij kamertemperatuur. Dit geeft direct een beperking aan van het lijmsysteem: de trage doorharding (bij kamertemperatuur ongeveer 24 uur) als gevolg van de noodzakelijke vochtindringing. Bij de tweecomponentensystemen wordt het vocht toegediend via een parallelle cilinder. Vaak wordt de opsplitsing van de tweecomponentensystemen gebruikt, om in beide containers een ander tweecomponentenlijmsysteem bij te mengen, zoals een epoxyhars en hardener. Hierdoor ontstaan combinaties van lijmsystemen, die buiten een hoge flexibiliteit ook een verbeterde sterkte kunnen behalen.

De toepasbaarheid van de MS-polymeer lijmsystemen omvat een breed gebied, vanwege de lage gevoeligheid van het lijmsysteem voor de oppervlaktevoorbereiding. Goed reinigen en in een aantal gevallen reinigen in combinatie met het aanbrengen van een primer blijkt vaak voldoende. De kit-achtige MS polymeren zijn geschikt om zowel metalen, als hout, glas, alsook de meeste kunststoffen te verbinden. Ze zijn over het algemeen erg goed vocht- en UV-lichtbestendig, overschilderbaar en hebben een hoge breukrek. Daardoor nemen zij in de groep "elastische" lijmen een plaats in tussen siliconen en polyurethaan kitachtige lijmen met als gezamenlijke eigenschappen: uitharding d.m.v. vocht, relatief hoge rek en lage sterkte.

Lijmen op natte oppervlakken

Bepaalde epoxy systemen en MS polymeren blijken geschikt te zijn om onder vochtige of natte omstandig-

heden lijmverbindingen tot stand te brengen. Dit gebeurt, doordat het lijmsysteem in staat is vocht van het oppervlak te verdringen, en de uitharding niet of in geringe mate wordt beïnvloed door het aanwezige water. Dit biedt mogelijkheden voor het lijmen onder zeer natte omstandigheden of zelfs onder water, zoals bij kelder-, sluisdeur- en scheepsreparaties, of bij lijmtoepassingen op vers gestort beton. Het sterkteniveau kan soms wat lager uitvallen.

1.7 Verdere inhoud voorlichtingspublicatie

In de volgende hoofdstukken komen de meest belangrijke aspecten voor het toepassen van de lijmtechniek als verbindingstechniek aan de orde, zoals:

- ▶ **Constructieve vormgeving** - in hoofdstuk 2 worden de constructieve aspecten behandeld waaraan een lijmverbinding moet voldoen, afhankelijk van de in de praktijk optredende belastingsvormen;
- ▶ **De keuze van het lijmtyp** - in hoofdstuk 3 wordt de keuze van het lijmsysteem en de lijmmethode in afhankelijkheid van het toe te passen materiaal behandeld;
- ▶ **Voorbehandeling** - in hoofdstuk 4 worden allerlei methoden beschreven waarmee het te lijmen oppervlak een goede hechting van de lijm kan verkrijgen;
- ▶ **Aanbreng- en verhardingstechnieken** - in hoofdstuk 5 wordt een overzicht gegeven van een aantal mogelijkheden voor het aanbrengen van de lijm en een aantal mogelijkheden om de verharding te beïnvloeden.
- ▶ **Kwaliteitsbeheersing** - in hoofdstuk 6 wordt ingegaan op zaken die de kwaliteit van de lijmverbinding moeten garanderen;
- ▶ **Beproeven van lijmverbindingen** - in hoofdstuk 7 wordt een beschrijving gegeven van een aantal destructieve en niet-destructieve methoden om de sterkte en de kwaliteit van de lijmverbinding te bepalen, eventueel vastgelegd in normen;
- ▶ **Veiligheid en hygiëne** - in hoofdstuk 8 worden allerlei aspecten behandeld over het omgaan met lijm voor wat betreft de veiligheid en de hygiëne van de gebruikers.

Hoofdstuk 2

Constructieve vormgeving

2.1 Inleiding

2.1.1 Het belasten van lijmverbindingen in een constructie

Bij het toepassen van lijm als verbindingstechniek voor constructiedelen, moet men reeds bij het ontwerp van de verbinding rekening houden met de specifieke eigenschappen van lijm (lijmsystemen).

De lijmverbinding moet zo worden geconstrueerd, dat de sterkte van de lijm optimaal wordt benut. Dit vereist een specifieke vormgeving om optredende belastingen zo gunstig mogelijk "in te leiden" en over te dragen. Om dit te bereiken dient op schuif-, druk- of centrische trekbelasting te worden geconstrueerd.

Excentrische trek- en scheurbelasting moeten worden vermeden.

2.1.2 De produceerbaarheid van een lijmconstructie

Bij de vormgeving van een constructie met lijmverbindingen moet erop worden gelet, dat de verbindingen goed met lijm kunnen worden samengebouwd. Dit houdt in, dat er goede mogelijkheden moeten zijn voor het uitvoeren van de voorbehandeling, lijmapplicatie, het naar elkaar toe kunnen bewegen van de lijmvlakken en het aanbrengen van een gelijkmatige lijmdruk. De vormgeving van eventueel benodigde lijmgereedschappen, zoals aandrukstukken, moet ook in de ontwerp-fase van de constructie gestalte krijgen. Kwaliteitsproblemen zijn vaak een gevolg van ontwerpgebreken!

2.2 Belastingvormen bij lijmverbindingen

De sterkte van lijmmaterialen is (in het algemeen) aanzienlijk minder dan die van de gangbare constructiematerialen. De lijmverbinding moet dus zodanig worden geconstrueerd, dat met de relatief zwakke lijm toch een aanzienlijke sterkte wordt verkregen ten opzichte van de sterkte van de te lijmen materialen.

Men onderscheidt de volgende belastingvormen, waarop de lijmverbindingen kunnen worden belast:

- ▶ trek- of drukbelasting;
- ▶ scheur- of afpelbelasting;
- ▶ schuifbelasting.

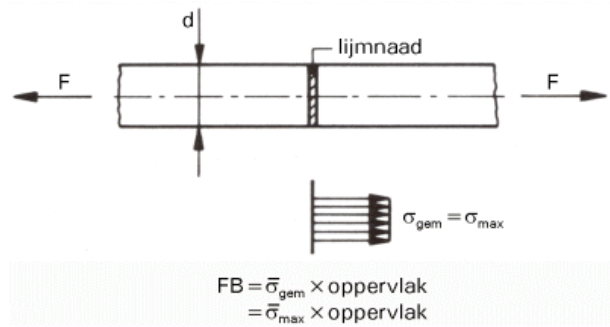
Deze belastingen treden in de praktijk meestal in combinatie met elkaar op.

2.2.1 Trek- of drukbelasting

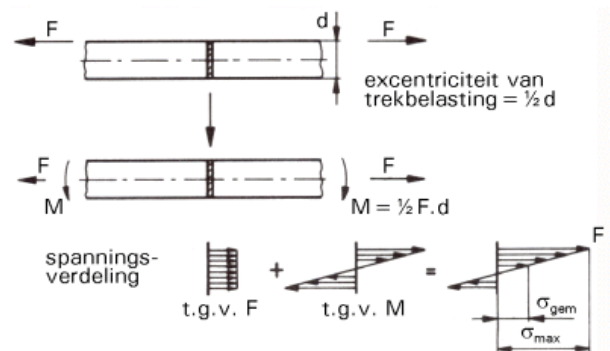
Wordt een lijmverbinding op trek belast, dan moet er naar worden gestreefd, dat de trekbelasting symmetrisch is verdeeld (figuur 2.1). De treksterkte van de verbinding is bij een goede hechting en een voldoende stijfheid van de verbinding maximaal gelijk aan de sterkte van het lijm materiaal zelf.

Aangezien de optredende trekkrachten in de praktijk vaak asymmetrisch zijn verdeeld, zal de toelaatbare treksterkte aanzienlijk lager uitvallen dan men op grond van de treksterkte van de lijm zou mogen verwachten (figuur 2.2).

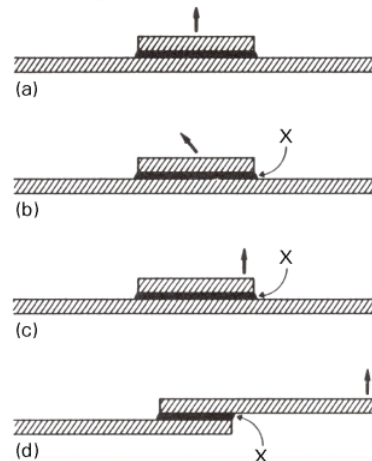
Bij een asymmetrisch of niet haakse trekbelasting zal één van de uiteinden van de lijmverbinding plaatselijk hoger worden belast, eventueel met buiging, waardoor de lijmverbinding ter plaatse van de lijmeinden kan inscheuren en uiteindelijk in zijn geheel zal splijten (figuur 2.3).



figuur 2.1 Centrische trekbelasting

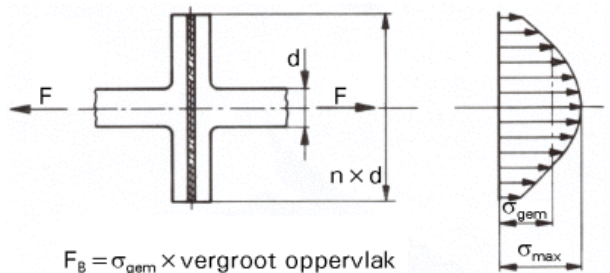


figuur 2.2 Excentrische trekbelasting



figuur 2.3 Afwijkende belastingvormen ten opzichte van zuivere trek (a)

Het is derhalve raadzaam zo te construeren, dat de lijmverbindingen zo min mogelijk op trek worden belast. Is een op trek belaste lijmverbinding onvermijdelijk, dan geeft het vergroten van het lijmoppervlak een betere garantie voor een aanvaardbare sterkte (figuur 2.4).



figuur 2.4 Trekspanningsverdeling in de lijmnaad met flenzen

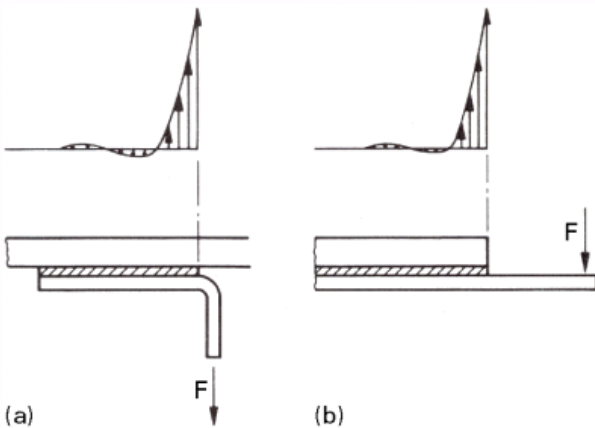
In het geval van een vergroting van het lijmoppervlak door het aanbrengen van een flens, zal de verdeling

van de trekspanning bij een geringe dikte van de flens niet lineair verlopen als gevolg van de niet eindige buigstijfheid van de flens. De verbinding zal bezwijken als de spanning gelijk wordt aan de treksterkte van de lijm. Bij het laten toenemen van de dikte van de flens zal dit een vlakker spanningsverloop opleveren en de sterkte van de verbinding wordt daardoor verhoogd.

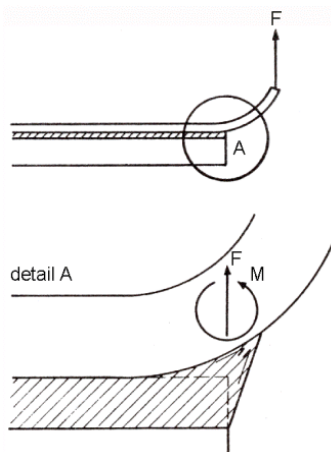
Het optreden van een drukbelasting in de lijmverbinding zal meestal geen grote problemen opleveren bij een stijve constructie. Bij een slappe constructie zullen in de lijmverbinding door optredende vervormingen eveneens buig- en afpelbelasting optreden, die de sterkte aanzienlijk zullen beïnvloeden.

2.2.2 Scheur- of afpelbelasting

Wanneer een lijmverbinding excentrisch (uit het midden) op trek wordt belast (zie figuur 2.5 en 2.6), dan treedt in de lijmnaad een complexe spanningstoestand op. Bij een dergelijke belastingsvorm wordt de lijmverbinding op scheuren of afpellen belast. Hierbij zullen hoge piekspanningen aan de rand van de lijmnaad optreden. Doordat de trekkracht buiten de lijmnaad aangrijpt, zal er tevens een buigend moment M in de lijmovergang optreden (zie figuur 2.6). Aangezien het plaatmateriaal niet oneindig stijf is, zal er doorbuiging optreden. Bij het toenemen van de doorbuiging, zal de spanningsverdeling ongunstiger worden. Lijmverbindingen waarbij de lijmnaad op scheuring of afpelling wordt belast, moeten in de praktijk indien mogelijk worden vermeden.



figuur 2.5 Spanningspiek bij afpelbelasting: a. Gebogen plaat; b. Vlakke plaat



figuur 2.6 Optreden van buigend moment tengevolge van excentrische belastingsvorm

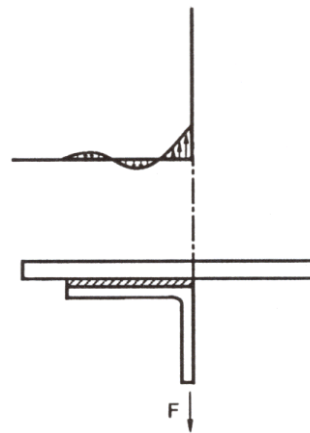
Door het aanpassen van de vormgeving van de verbinding en door de lijmkeuze kan de scheursterkte worden verbeterd. Gebruikt men een lijmsoort met een grote

taaiheid, waarbij wel geldt dat bij het toenemen van de taaiheid de treksterkte afneemt, dan kan wel de toelaatbare belasting worden vergroot door een grotere overlappingslengte te kiezen. Er moet dus worden gezocht naar een optimum. Ook de dikte van de lijmnaad heeft een invloed op de spanningsverdeling. De spanningspiek langs de rand van de lijmnaad is lager bij grotere dikte; de scheurbelasting kan dan groter zijn.

De scheursterkte van verbindingen zoals in figuur 2.5 wordt verbeterd door gebruik te maken van profielen (zie figuur 2.7), waarin de optredende vervormingen onder een trekbelasting aanzienlijk lager zijn. Door de stijvere hoek doet een grotere breedte van de lijmnaadrand mee in het opnemen van trekspanningen.

Een aanzienlijke verbetering van de lijmnaadsterkte wordt verkregen door toepassing van T-profielen (zie figuur 2.8).

De stijfheid van de te lijmen delen is dus eveneens van belang en heeft een gunstiger uitwerking naarmate ze groter is.



figuur 2.7 Voorbeeld van een constructie met lagere spanningspiek

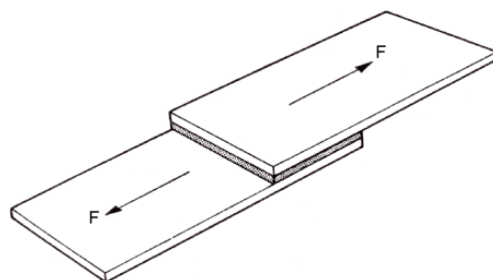


figuur 2.8 Toepassing T-profiel

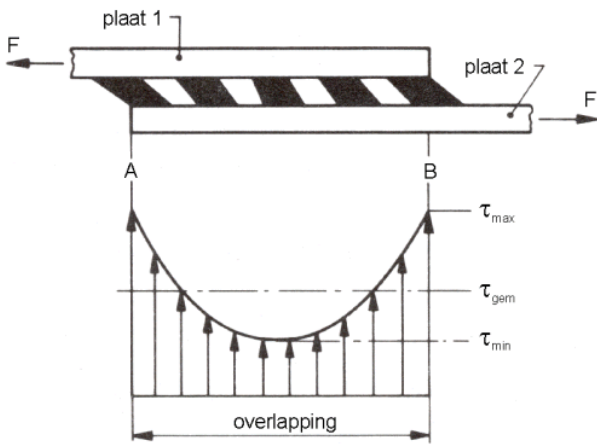
2.2.3 Schuifbelasting

De meest gunstige belastingsvorm voor lijmverbindingen is de belasting van de lijmnaad in axiale richting, dus op afschuiving. Ondanks de ten opzichte van metaal geringe schuifsterkte van de lijmmaterialen, kunnen er in de afschuifrichting aanzienlijke belastingen worden overgedragen door de lijmverbinding, daar de belasting door het gehele lijmoppervlak wordt opgenomen.

De in de praktijk meest voorkomende lijmverbinding die op afschuiving wordt belast is de enkelvoudige lapnaad (figuur 2.9). De schuifspanningsverdeling bij zuivere axiale belasting is weergegeven in figuur 2.10.



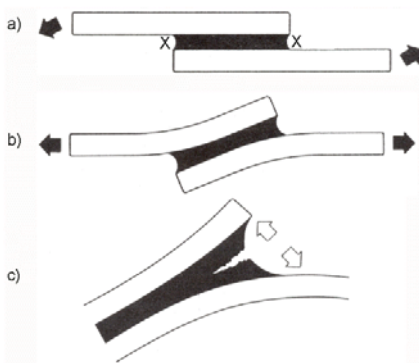
figuur 2.9 Gelijmde lapnaad onder schuifbelasting



figuur 2.10 Schuifspanningsverdeling in de lapnaad

Daar de stijfheid van de gelijmde delen in de praktijk nooit oneindig groot is, zal er buiging in de constructie kunnen optreden, waardoor naast een afschuifbelasting eveneens een trekbelasting in de lijmnaad zal ontstaan (figuur 2.11a).

Bij het toenemen van de belasting zullen de spanningspieken aan de randen van de overlap steeds hoger worden (figuur 2.11b), tot tenslotte de breukspanning van het lijm materiaal wordt bereikt en de lapnaad vanaf de randen inscheurt en breekt (figuur 2.11c).



figuur 2.11 Vervormingsverloop enkelvoudige lapnaadverbinding tot lijmbreuk

In paragraaf 2.4 wordt nader ingegaan op de eigenschappen en uitvoeringsvormen van op afschuiving belaste lijmverbindingen. Bij het construeren van lijmverbindingen dient men ernaar te streven, dat de verbindingen hoofdzakelijk op afschuiving worden belast en dat de stijfheid zo groot mogelijk is. Stijfheidsverschillen en plotselinge overgangen moeten zo veel mogelijk worden vermeden.

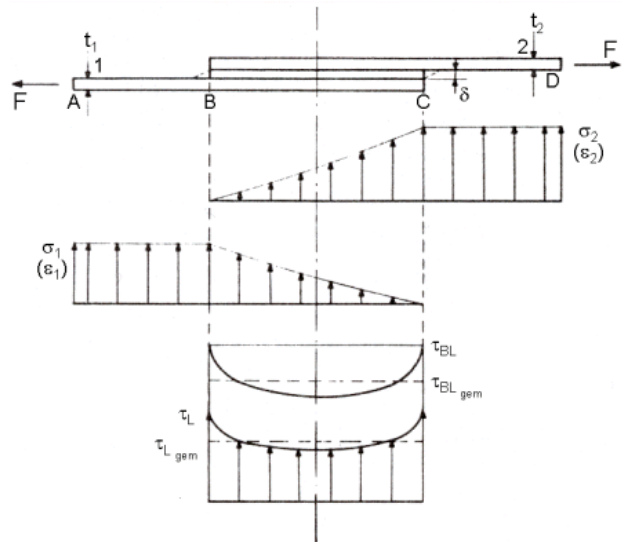
2.3 Sterkte en uitvoeringsvormen van gelijmde lapnaden

Bij het aangeven van de sterkte van een lijmverbinding wordt ervan uitgegaan, dat de hechting van de lijm aan het metaal dermate goed is, dat er bij het opvoeren van de belasting breuk optreedt in de lijmlaag zelf (cohesiebreuk) en niet voortijdig in de grenslaag van lijm en metaal (adhesiebreuk).

2.3.1 Spanningsverdeling in de lapnaad

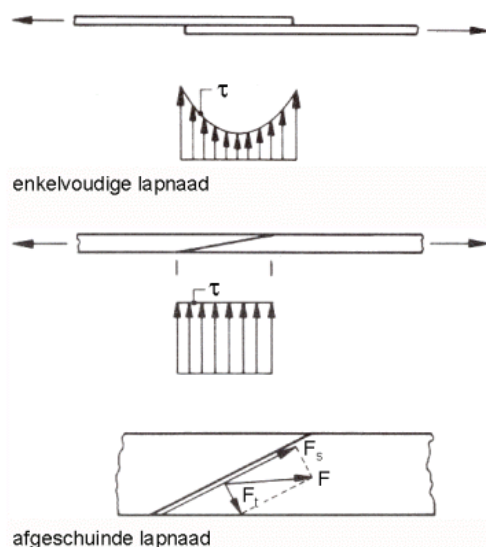
Van de lapnaadverbindingen vertoont de enkelvoudige lapnaadverbinding de meest ongunstige spanningsverdeling in de lijmnaad (figuur 2.10 en figuur 2.12). Als gevolg van de schuifkracht F rekken de strippen 1 en 2. In het gebied van de lijmnaad neemt in beide

strippen de rek naar de rand van de lijmnaad geleidelijk af tot nul. Aangezien de lijmnaad dit rekverschil moet overbruggen, treedt als gevolg daarvan een schuifspanning op, die het hoogst is aan de randen van de overlapping en het laagst in het midden. De lijmnaad breekt, wanneer de schuifspanningspieken aan de randen de breukschuifspanning bereiken. Op het moment van breuk is de gemiddelde schuifspanning over het gehele lijmvlak dus lager, dan de maximale schuifspanning die de lijmnaad kan opnemen.



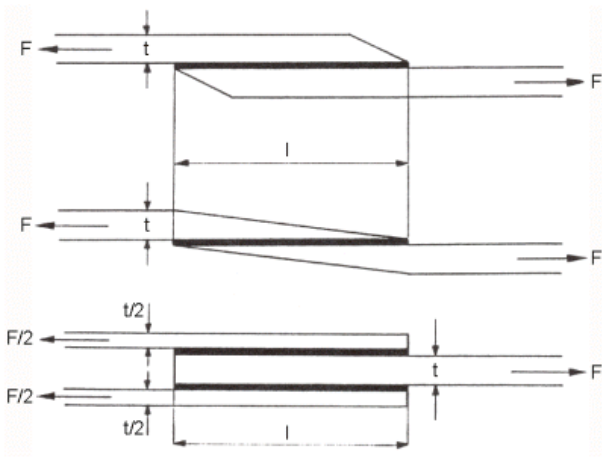
figuur 2.12 Spanningsverdeling in een enkelvoudige lapnaadverbinding

De meest gunstige spanningsverdeling in de lapnaad wordt verkregen bij de afgeschuimde lapnaadverbinding (figuur 2.13). Door het gelijkmatige verloop van de plaatdoorsneden is de schuifspanning constant over de volle lengte van de overlapping. De optredende vervorming van deze verbinding is onder belasting minimaal in vergelijking met de enkelvoudige lapnaad. De afgeschuimde lapnaadverbinding is echter in hoofdzaak alleen goed te realiseren bij dikke platen.



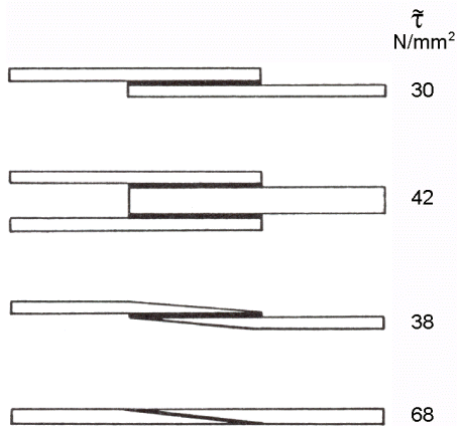
figuur 2.13 Afgeschuimde lapnaadverbinding

Naast de afgeschuimde lapnaadverbinding zijn er nog andere constructievormen mogelijk om een gunstige spanningsverdeling te krijgen (zie figuur 2.14). Met de uitvoering van een dubbele lapnaad wordt tevens de excentriciteitsinvloed voor een groot deel uitgeschakeld.



figuur 2.14 Verbeteren van de spanningsverdeling

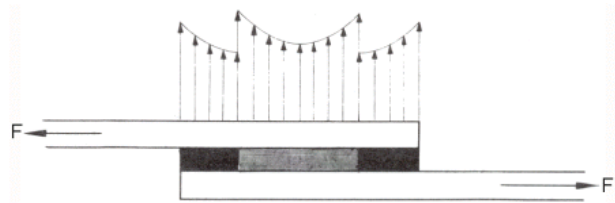
Voor een indicatie van de invloed van de lapnaadverbinding op de toelaatbare schuifspanning bij toepassing van een bepaald lijmsysteem op een aluminiumlegering, waarbij de verhouding plaatdikte/lijmnaadlengte = 0,1, wordt in figuur 2.15 een voorbeeld gegeven.



figuur 2.15 Voorbeeld van afschuifsterkten op een aluminiumlegering

Voor speciale gevallen dient men echter de invloed experimenteel te bepalen als berekening niet goed mogelijk is en de praktijk dit vereist.

Opvallend is de methode, waarbij aan de randen van de overlapping een lijm wordt gebruikt met een lagere glijdingsmodulus dan die van de lijm in het midden-gedeelte van de overlap. De vervormingsverschillen tussen de gelijmde platen veroorzaken daardoor geringere spanningsconcentraties, zodat een hogere gemiddelde breukschuifspanning kan worden bereikt (zie figuur 2.16).



figuur 2.16 Speciaal gelijmd (2 lijmtypen)

Naast een constructieve aanpassing van de lapnaadvorm heeft ook de vorm van de lijmlaag zelf invloed op de belastbaarheid van de lapnaadverbinding. Tabel 2.1 geeft hiervan een voorbeeld voor een dubbele lapnaadverbinding.

2.3.2 Factoren die de toelaatbare gemiddelde schuifspanning van lapnaden beïnvloeden

Overlappende

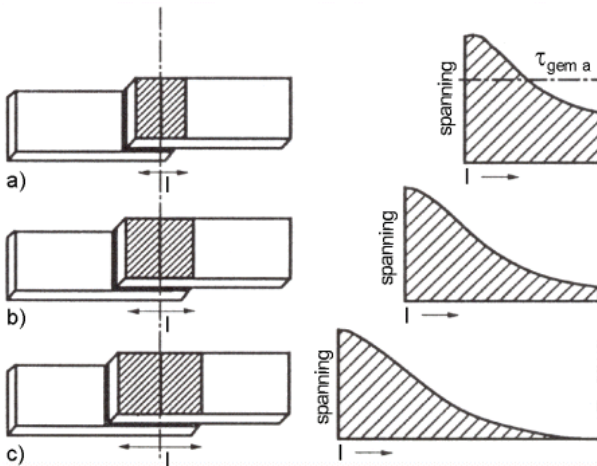
Wanneer de overlappende van bijvoorbeeld een enkelvoudige lapnaadverbinding wordt vergroot, zal de schuifspanning aan de rand, bij een gegeven belasting, afnemen (zie figuur 2.17).

De toelaatbare gemiddelde schuifspanning zal eveneens lager uitvallen. Daar τ_{gem} minder afneemt dan l toeneemt, wordt de lapnaadsterkte toch hoger: $\tau_{gem_c} \cdot l(c) \cdot \text{breedte} > \tau_{gem_b} \cdot l(b) \cdot \text{breedte} > \tau_{gem_a} \cdot l(a) \cdot \text{breedte}$.

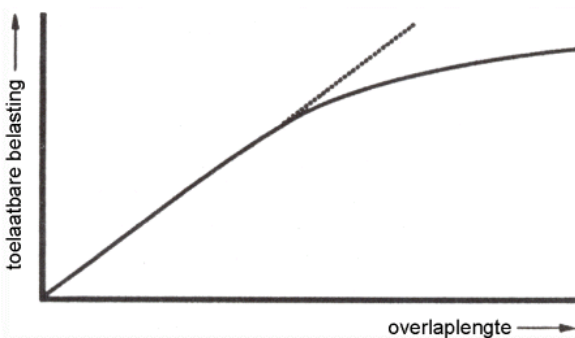
De toelaatbare belasting zal dus ook toe kunnen nemen. Dit bereikt wel een maximum, afhankelijk van het te lijmen materiaal en de dikte ervan (zie figuur 2.18).

tabel 2.1 (Relatieve) afschuifsterkte van metaal-composiet lijmverbinding, uitgedrukt in belastbaarheid per breedte-eenheid van de verbinding

Ontwerp van een dubbele overlapverbinding	Breukbelasting (proefondervindelijk) in MN/m
<p>Normaal</p>	0,93
<p>Afgeschuinde materiaalkant</p>	0,89
<p>Naar binnen afgeschuinde materiaalkant</p>	1,0
<p>Afgeschuinde materiaal- en lijmkant</p>	3,0
<p>Afgeschuinde materiaalkant naar binnen en lijmkant naar buiten</p>	3,4



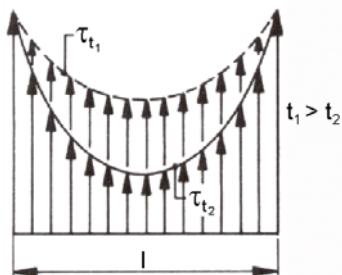
figuur 2.17 Spanningsverloop bij verschillende overlaplengten



figuur 2.18 Bepaling toelaatbare belasting/overlaptengte

Plaatdikte

Een grotere plaatdikte resulteert in een grotere stijfheid van de platen, waardoor het middengedeelte meer bijdraagt in de krachtoverdracht. τ_{gem} kan dus groter zijn naarmate de plaat dikker is (dikte t in figuur 2.19). Bij grotere plaatdikte is echter ook de excentriciteit van de lijmverbinding groter. Daarmee zijn ook de secundaire trekspanningen in de lijmnaad aan de randen groter. De verbinding is daardoor minder sterk dan uit de invloed van de toeneming van de plaatdikte mag worden verwacht.



figuur 2.19 Invloed van de plaatdikte op de schuifspanningsverdeling

Elasticiteitsmodulus van het plaatmateriaal

Een hogere elasticiteitsmodulus van het te lijmen plaatmateriaal heeft eenzelfde effect als een grotere plaatdikte, echter zonder een grotere excentriciteit van de lapnaad. Hierdoor ontstaat een hogere τ_{gem} en dus een grotere breukkracht F_B .

Elasticiteitsmodulus van het lijm materiaal

Een hogere elasticiteitsmodulus van het lijm materiaal - dit betekent een minder flexibel lijm materiaal met

lage scheurweerstand - heeft hetzelfde effect als een kleinere plaatdikte. Een hogere elasticiteitsmodulus van het lijm materiaal geeft een lagere τ_{gem} en dus een lagere breukkracht F_B .

Bij gebruik van zeer flexibele kit-achtige lijm materialen zullen de spanningspieken aan het einde van de overlap veel lager zijn en de gemiddelde schuifspanning vrijwel gelijk aan de breukspanning. Echter door de lagere sterkte van dit soort lijmen is de breukkracht F_B toch lager.

Plasticiteit van het lijm materiaal

In de schuifspanningsverdeling van figuur 2.19 is uitgegaan van lineair elastisch gedrag van lijm materiaal. Hierbij zal de lijmverbinding bezwijken als de piek in de spanningsverdeling de breukspanning van de lijm bereikt. Veel moderne taaie lijmsystemen vertonen plastisch gedrag. Dit betekent dat als de spanningspieken aan de uiteinden van de overlapverbinding de "elasticiteitsgrens" van de lijm bereiken, deze pieken worden afgevlakt. Pas bij bereiken van de breukrek van de lijm zal dan de breuk in lijmverbinding optreden.

Rekgrens van het plaatmateriaal

Wanneer de trekspanning in het plaatmateriaal de elasticiteitsgrens overschrijdt, neemt de plaatrek sneller toe dan uit de wet van Hooke volgt. Het rekverschil tussen de beide platen aan het begin en einde van de lapnaad (zie figuur 2.11) neemt dan ook sneller toe. Hierdoor ontstaat een toenemende concentratie van schuifspanningen aan de randen van de overlapping. Een lagere rekgrens van het plaatmateriaal geeft een lagere τ_{gem} en dus een lagere breukkracht F_B .

Overlapverbindingen met ongelijke plaatmaterialen

Indien twee verschillende materialen (met verschillende elasticiteitsmodulus) met elkaar worden verlijmd, zal de symmetrie in de spanningsverdeling (figuur 2.19) verstoord worden. In het materiaal met de lagere stijfheid zal meer vervorming optreden. Hierdoor zal aan deze kant van de verbinding de piek in de schuifspanningsverdeling toenemen. De verbinding zal bezwijken bij een lagere gemiddelde schuifspanning.

Uitvoeringsvorm van de lapnaad

In het voorgaande is reeds aangetoond dat de spanningsverdeling in de lijmnaad sterk wordt beïnvloed door de uitvoeringsvorm ervan.

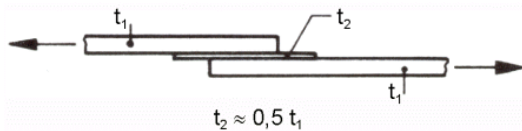
Hieronder volgt naast de reeds eerder genoemde afgeschuinde lapnaad- en de dubbele lapnaadverbinding nog een aantal andere mogelijke variaties van lapnaadvormen die de schuifspanningsverdeling gunstig beïnvloeden. Dit houdt in hoofdzaak in dat de schuifspanningspieken aan de randen van de lijmnaad worden verminderd, waardoor een hogere toelaatbare gemiddelde schuifspanning mogelijk wordt.

- Door *afschuining van de plaatranden* van de enkelvoudige lapnaad (figuur 2.20) wordt de schuifspanningspiek aan de rand enigszins verminderd. Deze afschuining is gemakkelijker te realiseren dan de afgeschuinde lapnaad, maar vereist een extra bewerking.



figuur 2.20 Plaatranden afgeschuind

- Vermindering van spanningspieken langs de randen van de overlapping kan ook worden verkregen door het *meelijmen van een dunne strip* (figuur 2.21).



figuur 2.21 Dunne strip in plaats van afgeschuinde plaatranden

- *Eenzijdige vlakke verbinding* met behulp van een koppelstrip. Deze is eenvoudig uit te voeren en wat sterkte betreft ongeveer gelijk aan de enkelvoudige lapnaad, waarbij minder vervorming in de verbinding optreedt (figuur 2.22).



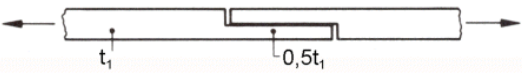
figuur 2.22 Eenzijdige vlakke lapnaad

- Een *variant op de eenzijdige vlakke verbinding* wordt gegeven in figuur 2.23. Door één van de plaatranden om te zetten, wordt toch een vlakke verbinding verkregen en treedt er minder vervorming op.



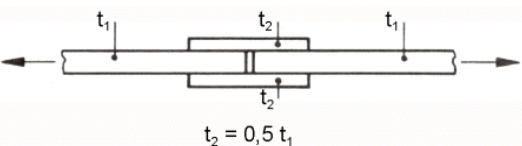
figuur 2.23 Variant eenzijdige vlakke lapnaad

- Bij toepassing van een *enkelvoudige getrapte lapnaad* (figuur 2.24) wordt de sterkte van de plaat (met dikte t_1) gereduceerd met 50%. Wat schuifspanningsverdeling betreft is de verbinding vergelijkbaar met de enkelvoudige lapnaad met een vergelijkbare dikte van $0,5t_1$.



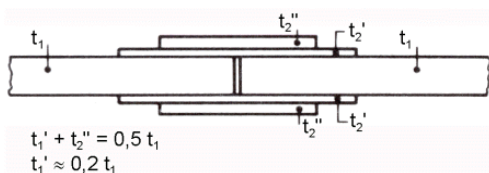
figuur 2.24 Enkelvoudige getrapte lapnaad (beide zijden vlak)

- In de reeds eerder genoemde *dubbele lapnaad* (figuur 2.25) is de excentriciteit van de verbinding aanzienlijk minder. Deze lapnaadvorm is vooral geschikt voor het verbinden van dikke platen (dikte t_1). Bovendien kunnen door de parallelschakeling van de twee lijmnaden, kortere overlappingsen worden toegepast.



figuur 2.25 Dubbele lapnaad

Bij verbindingen van zeer dikke platen kan een verdere verbetering in de spanningsverdeling worden verkregen als de koppelstrippen (dikte t_2) uit twee of meer samengelijmde strippen worden opgebouwd, zoals aangegeven in figuur 2.26.



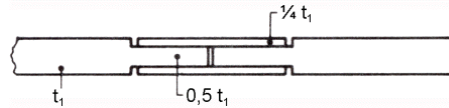
figuur 2.26 Getrapte dubbele lapnaad

- Bij toepassing van een platenpakket kan worden gekozen voor een *getrapte verbinding*, zie figuur 2.27. De schuifspanningsverdeling is bij deze constructie vrij constant.



figuur 2.27 Getrapte verbinding in platenpakket

- In figuur 2.28 is nog een voorbeeld gegeven van een dubbele lapnaad, die aan twee zijden vlak is.



figuur 2.28 Tweezijdige getrapte vlakke verbinding

2.3.3 Sterkte van gelijmde lapnaden

Het bepalen van de sterkte van een lijmverbinding langs theoretische weg is niet zo eenvoudig en is sterk afhankelijk van een aantal factoren (zie §2.4). Onder andere moeten de materiaaleigenschappen goed bekend zijn en zijn verschijnselen als excentriciteit en vooral plastische rek in het plaatmateriaal moeilijkheidsfactoren bij het berekenen.

Een praktische methode is het langs experimentele weg bepalen van de sterkte van lijmverbindingen aan lijmproefstukken (zie hoofdstuk 7).

Voor sterkteberekeningen is de maximaal toelaatbare schuifspanning in de lijm geen geschikte rekengrootte, daar de schuifspanning in de lijmnaad niet gelijkmatig is verdeeld. Het is eenvoudiger te werken met de toelaatbare gemiddelde schuifspanning, waarin tevens is inbegrepen de trekspanning tengevolge van de excentriciteit van de belasting.

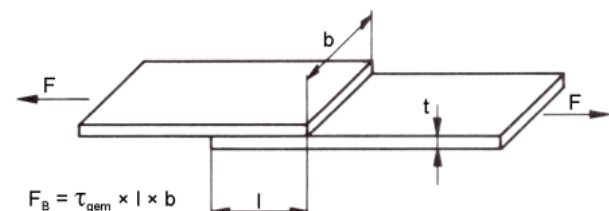
De (toelaatbare) gemiddelde schuifspanning (τ_{gem}) is niet alleen afhankelijk van de sterkte van de lijm, maar ook van factoren die verband houden met de vormgeving van de lapnaad en de eigenschappen van de te lijmen materialen.

Statische sterkte (korte-duursterkte)

De sterkte van een enkelvoudige lapnaad (figuur 2.29) wordt uitgedrukt in: $F_B = \tau_{gem} \times b \times l$.

Hierin is F_B de breukbelasting en τ_{gem} de toelaatbare gemiddelde schuifspanning.

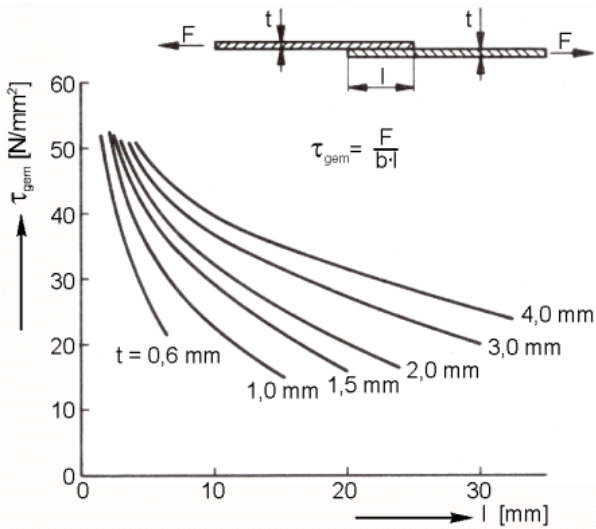
De breukbelasting wordt eveneens begrensd door de plaatdikte.



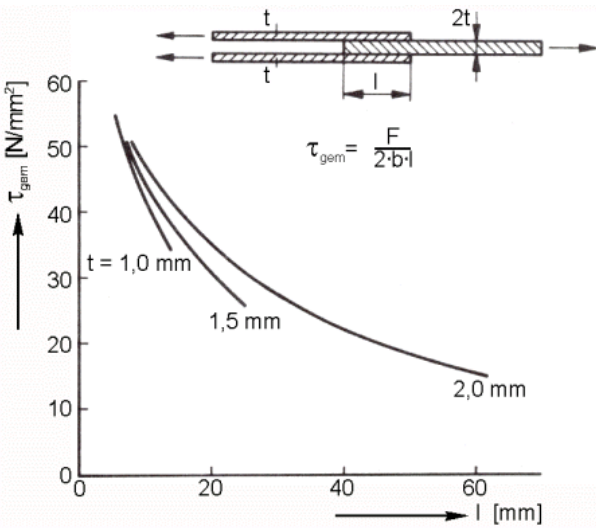
figuur 2.29 Breuksterkte van lapnaad

Figuren 2.30 en 2.31 geven een voorbeeld van het verloop weer van de toelaatbare gemiddelde schuifspanning (τ_{gem}) als functie van de plaatdikte "t" en de overlappingslengte "l" voor een enkelvoudige en dubbele lapnaad. Deze waarden gelden voor een bepaalde materiaal/lijmcombinatie. Voor andere materiaal/lijmcombinaties dienen deze verbanden proefondervindelijk te worden bepaald.

Bij ongelijke dikte van de te lijmen platen wordt uitgegaan van de dunste plaat.



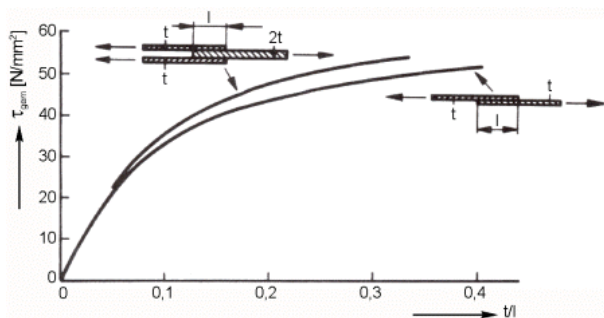
figuur 2.30 Toelaatbare gemiddelde schuifspanning als functie van overlappende en plaatdikte in enkelvoudige lapnaad



figuur 2.31 Toelaatbare gemiddelde schuifspanning als functie van overlappende en plaatdikte in dubbele lapnaad

Wordt τ_{gem} uitgezet als functie van het quotiënt t/l (gelijkvormigheidsfactor), dan kunnen de lijnenbundels in de figuren 2.30 en 2.31 worden weergegeven door enkele lijnen (zie figuur 2.32).

Dit geeft de mogelijkheid om met een beperkt aantal proefstukken de sterkte van elk type lapnaad te bepalen.



figuur 2.32 Toelaatbare gemiddelde schuifspanning als functie van het quotiënt van plaatdikte en overlappende

Uit figuur 2.32 is af te leiden dat voor kleine t/l -waarden (dat wil zeggen voor dunne platen en/of lange overlappingsen), de krommen voor de enkelvoudige en dubbele lapnaden nagenoeg samenvallen.

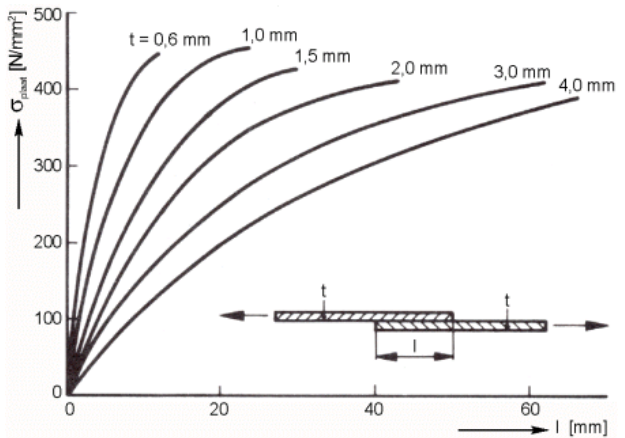
Voor de constructeur is het gemakkelijker om aan de hand van de voor het plaatmateriaal berekende spanning te bepalen wat de vereiste overlappende lengte moet zijn. Worden de voor een gewenste materiaal/lijmcombinatie bepaalde sterktegegevens gerelateerd aan de plaatspanning, dan kan de constructeur uit de hiermee opgestelde grafieken (figuren 2.33 en 2.34) direct de vereiste overlapping l aflezen.

De omrekening van deze gegevens is als volgt:

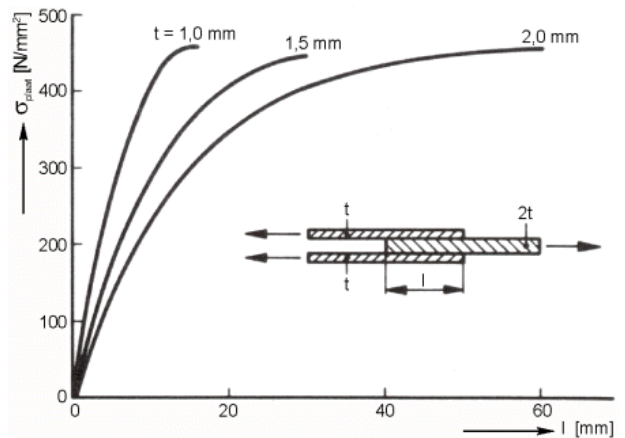
$$F_B = \tau_{gem} \cdot b \cdot l$$

$$F_B = \sigma_{plaat} \cdot b \cdot t$$

Hieruit volgt: $\sigma_{plaat} = \frac{\tau_{gem} \cdot l}{t}$



figuur 2.33 Plaatspanning als functie van overlappende en plaatdikte in enkelvoudige lapnaad



figuur 2.34 Plaatspanning als functie van overlappende en plaatdikte in dubbele lapnaad

Kruipgedrag (statische lange-duursterkte)

Door de visco-elastische eigenschappen van de lijm vertoont deze neiging tot kruipen onder langdurige belasting. Hierdoor kan breuk optreden bij een lagere belasting dan de statische korte-duursterkte.

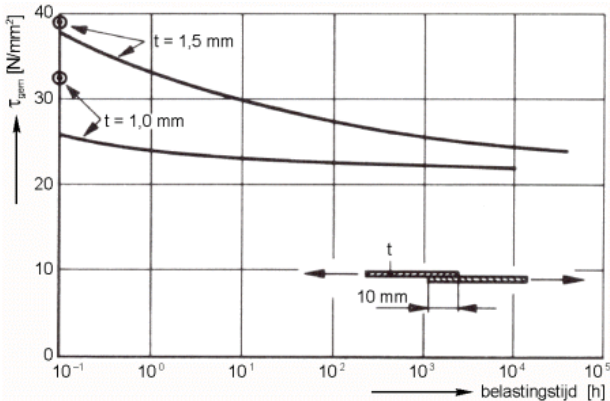
De kruipweerstand hangt af van de kruipeigenschappen van de toegepaste lijm.

Figuur 2.35 geeft als voorbeeld de kruipgrafieken voor twee lapnaden van een aluminiumlegering gelijmd met een epoxylijm.

Het kruipgedrag is sterk te verbeteren door een lange overlappende lengte te kiezen. Het middengedeelte van de verbinding met een zeer lage schuifspanning zal geen kruip vertonen en daarmee het bezwijken ten gevolge van kruip verhinderen.

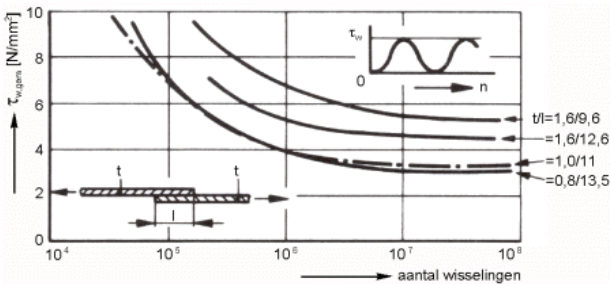
Vermoeiingsgedrag

Ook hier geldt dat bij lijmverbindingen die wisselend worden belast (vermoeiing), breuk optreedt bij belastingen die lager zijn dan onder een statische belasting.

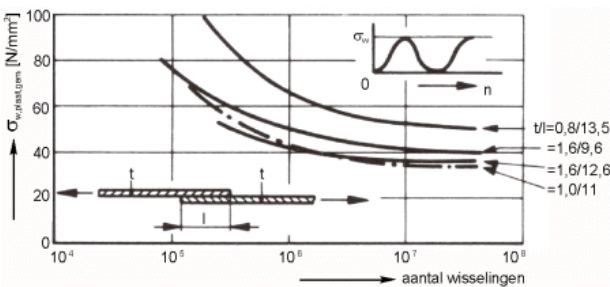


figuur 2.35 Kruipgedrag van enkelvoudige lapnaad

Figuren 2.36 en 2.37 geven voorbeelden van vermoeiingskrommen van enkele lapnaden van een aluminiumlegering gelijmd met een epoxylijm. De toelaatbare wisselschuifspanning in de lijmnaad is als functie van de levensduur gegeven (τ_{gem} , figuur 2.36) en daaruit afgeleid de toelaatbare wisseltrekspanning in de plaat (σ_{gem} , figuur 2.37).



figuur 2.36 Toelaatbare schuifspanning als functie van het aantal belastingswisselingen



figuur 2.37 Toelaatbare trekspanning in de plaat van een lapnaad als functie van het aantal belastingswisselingen

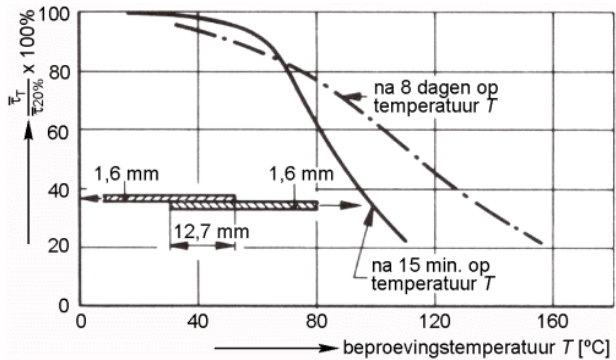
De proefstukken van de lapnaden met $t = 1,0$ mm, $l = 11$ mm en $t = 1,6$ mm, $l = 12,6$ mm vertoonden lijmnaadbreek na $10^5 - 10^6$ wisselingen, daarboven plaatbreek. Alle andere proefstukken vertoonden uitsluitend plaatbreek, onmiddellijk langs de lijmnaad. Het optreden van breuk in de lijmnaad, dan wel in het plaatmateriaal, is afhankelijk van factoren zoals:

- ▶ vermoeiingseigenschappen van het lijm materiaal;
- ▶ vermoeiingseigenschappen van het plaatmateriaal;
- ▶ afmetingen van de lapnaad (t, l);
- ▶ spanningsconcentratie in de lijm en de plaat langs het begin van de lijmnaad tengevolge van buiging in de plaatstrippen.

Temperatuurvastheid

Verhoging van de temperatuur resulteert meestal in een vermindering van de statische sterkte. De temperatuurvastheid van een bepaalde lijm kan soms worden verbeterd door langdurig blootstellen aan verhoogde temperatuur, alvorens bij die temperatuur de verbinding te beproeven (figuur 2.38). Dit is echter een onpraktische methode. Men kan beter gebruik maken van speciaal ontwikkelde lijmsorten met een hoge temperatuurvastheid.

Ook het gedrag van lage temperaturen verandert en resulteert vaak in lagere sterkte. De meeste lijmen vertonen een hogere stijfheid en vermindering van plasticiteit bij lage temperatuur. Voor toepassing bij lage temperaturen, zelfs voor cryogene toepassingen zijn speciale lijmsystemen geschikt.



figuur 2.38 Invloed van de temperatuur op de schuifspanning

Verouderingsbestandheid

Langdurig blootstellen van gelijmde verbindingen aan een vochtige omgeving (tropenklimaat) of andere vloeistof- of vloeistofdampmilieus bij verschillende temperaturen beïnvloedt de sterkte van de lijmverbinding. Dit verschijnsel wordt ook wel chemische aantasting en thermo-oxidatieve veroudering genoemd. Een complicerende factor hierbij is, dat de bestandheid tegen chemicaliën in belangrijke mate kan afhangen van de kwaliteit van het gehele verwerkingsproces. Naast de chemische veroudering bestaat er ook een mechanische veroudering in de vorm van blootstelling aan vervormingskrachten, afschuivingskrachten, al of niet dynamisch, of verwerkingskrachten. Al deze factoren kunnen leiden tot een degradatie van de verbinding en in het ergste geval breuk veroorzaken.

Bij de keuze van de lijm dient dus te worden gelet op de bestandheid van de lijm tegen het milieu waarin de verbinding wordt toegepast en een goede verwerking van de lijm inclusief een verantwoorde voorbehandeling van het lijmoppervlak (zie tevens hoofdstuk 3).

2.4 Berekenen van lijmverbindingen

De lijmtechnologie kan slechts optimaal ten nutte worden gebracht voor constructief lijmen, als men bij machte is de sterkte van de gelijmde verbindingen te voorspellen als functie van de materiaaleigenschappen, de geometrie van de verbinding en de belastingsituatie. De ontwerper zal enerzijds kennis moeten vergaren door het uitvoeren van experimenten aan lijmverbindingen en anderzijds inzicht moeten hebben in de mechanica van gelijmde verbindingen. Dit is noodzakelijk om beter het effect van invloeden in te schatten die niet rechtstreeks te berekenen zijn, zoals de invloed van de oppervlaktetoestand, temperatuur- en krimpvormingen, niet uniforme lijmeigenschappen of lijm laagdikten, enzovoort.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de theoretische modellen die worden toegepast voor de berekening van gelijmde verbindingen. Als rekenmethoden komen in aanmerking de analytische rekenmethode en de numerieke rekenmethode, in het bijzonder de eindige elementenmethode.

In de analytische benadering wordt gepoogd het probleem te beschrijven met een stelsel van differentiaalvergelijkingen, die met inachtneming van de randvoorwaarden moeten worden opgelost. Om tot het stelsel van differentiaalvergelijkingen te komen, moet een reeks vereenvoudigende aannamen worden gemaakt ten opzichte van bijvoorbeeld de niet-lineariteit, de niet-uniforme materiaaleigenschappen van zowel het te lijmen materiaal als het lijm materiaal zelf. Tevens kan de analytische rekenmethode worden gebruikt bij de interpretatie van de resultaten, gevonden met de numerieke methoden.

Analytische methode

Hieronder worden twee methoden beschreven voor het berekenen van de schuifspanningen in een enkelvoudige lapnaad.

1. Theorie van Volkersen [lit. 12]

De analyse van Volkersen is de eenvoudige methode, waarbij ervan wordt uitgegaan dat de lijm zich elastisch gedraagt en slechts vervormt in de afschuifrichting. Als voorbeeld wordt de enkelvoudige lapnaadverbinding genomen, die is weergegeven in figuur 2.39a. In figuur 2.39b wordt getoond welke vervorming er tengevolge van een belasting in afschuifrichting optreedt in de lijmlaag, als ervan wordt uitgegaan dat de plaatmateriaaldelen niet vervormen. Treedt er wel vervorming op in de plaatmateriaaldelen, dan ziet het vervormingspatroon er uit zoals getoond in figuur 2.39c. In de beide laatste gevallen draagt het ene materiaaldeel de gehele belasting F juist voor het overlappende over op het andere materiaaldeel via de lijm. De spanning in materiaalkant 1 zal bij de overgang (punt A) het grootst zijn en geleidelijk afnemen tot de andere overgang (punt B), waar de spanning gereduceerd is tot nul. De spanning in materiaalkant 2 verloopt in omgekeerde richting.

In het geval dat de gelijmde plaatmateriaaldelen niet vervormen, zie figuur 2.39b, zal het materiaal zich als vaste delen verplaatsen en zal de lijmlaag een gelijkmatige verdeling van de schuifrek τ_{12} in lengterichting vertonen en hieruit volgt een gelijkmatig verdeelde spanning in de lijm. In de praktijk zullen de plaatmateriaaldelen wel vervormen, waarbij de optredende trekspanning voor einde 1 in punt A groter is dan in punt B en omgekeerd voor einde 2. De hierbij behorende vervorming verloopt proportioneel over de overlappende lengte l_a , hetgeen een rekverloop in de lijm oplevert zoals getoond in figuur 2.39c en een verdeling van de schuifspanning in de lijm zoals schematisch is weergegeven in figuur 2.39d. De grootste schuifspanning in de lijm treedt dus op in de einden van de overlap bij de punten C en D. Dit kan in de praktijk niet optreden, daar dit een tegenovergestelde schuifspanning aan het vrije oppervlak van het materiaal zou inhouden, hetgeen niet het geval kan zijn. De gelijkmatige schuifparallogrammen (zie figuur 2.39b) worden verstoord en krijgen de vorm zoals getoond in figuur 2.39c. Dit verschijnsel wordt differentiële schuif genoemd.

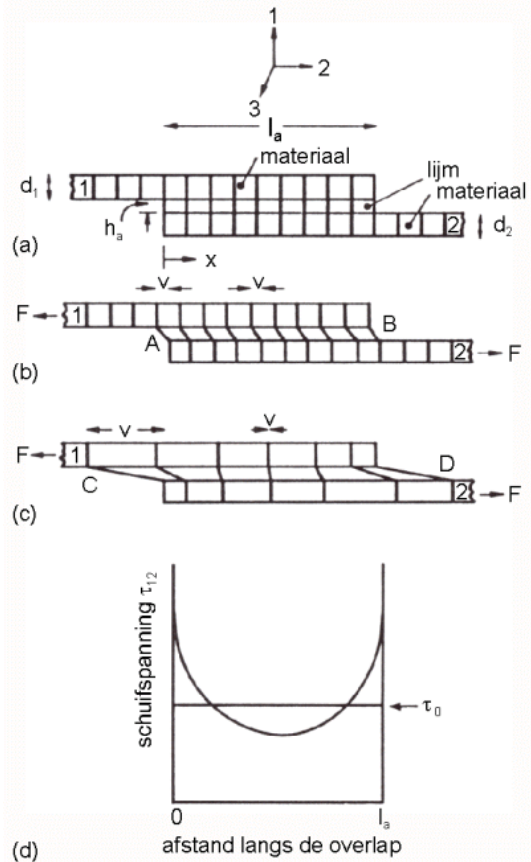
De maximale schuifspanning $\tau_{12}(\max)$ in de lijm wordt afgeleid van de gemiddelde schuifspanning τ_0 in de vorm van:

$$\eta_c(\max) = \frac{\tau_{12}(\max)}{\tau_0} \quad (1)$$

waarin η_c de spanningsconcentratie is en de waarde van τ_0 wordt gegeven door:

$$\tau_0 = \frac{F}{\text{gelijmd oppervlak}} = \frac{F}{b \cdot l_a} \quad (2)$$

Hierin is: F = de optredende trekkracht
 b = breedte van de lijmverbinding
 l_a = lengte van de lijmverbinding



figuur 2.39 Schematische presentatie van enkelvoudige overlapverbinding; (a) onbelast; (b) belast in trek, onvervormbaar materiaal; (c) belast in trek, elastische materialen; (d) verdeling van de elastische schuifspanning in de lijmlaag

Er van uitgaande dat de materialen de wet van Hooke volgen, omdat het elastische materialen zijn en de spanningen lineair zijn met de rekken, volgt hieruit dat:

$$\eta_c(\max) = \left(\frac{\Delta}{W}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{W - 1 + \cosh(\Delta W)^{\frac{1}{2}}}{\sinh(\Delta W)^{\frac{1}{2}}}\right) \quad (3)$$

waarin Δ een dimensieloze coëfficiënt is:

$$\Delta = \frac{G_a \cdot l_a^2}{E_{s2} \cdot d_2 \cdot h_a} \quad (4)$$

en W is bepaald door:

$$W = \frac{(E_{s1} \cdot d_1 + E_{s2} \cdot d_2)}{E_{s1} \cdot d_1} \quad (5)$$

waarbij geldt dat:

- $E_{s1} \cdot d_1 > E_{s2} \cdot d_2$
- E_{s1} = Elasticiteitsmodulus van eind 1
- E_{s2} = Elasticiteitsmodulus van eind 2
- d_1 = dikte van eind 1
- d_2 = dikte van eind 2
- G_a = Glijdingsmodulus van de lijm
- h_a = dikte van de lijmlaag

Voor materialen waarvoor geldt dat $E_{s1} \cdot d_1$ en $E_{s2} \cdot d_2$ gelijk zijn, dus bij delen van hetzelfde materiaal en dezelfde dikte, kan W worden gereduceerd tot 2 en

wordt de vergelijking (3) veranderd in:

$$n_c = (\Delta/2)^{1/2} \coth(\Delta/2)^{1/2} \quad (6)$$

Hierdoor wordt de spanningsconcentratiefactor n_c vereenvoudigd uitgedrukt als een ééndimensionale coëfficiënt Δ . Met de theorie van Volkersen kan worden voorspeld, dat bij het verminderen van de overlappende lengte l_a of de glijdingsmodulus van de lijm G_a of het toenemen van de stijfheid van het te lijmen materiaal of de dikte van de lijm laag, de afschuifspanningsconcentraties zullen verminderen in de lijm laag.

Of deze verminderingen echter resulteren in verbindingen met een grotere sterkte, zal vaak afhangen van andere factoren. Bijvoorbeeld een verlaging van G_a van de lijm gaat gewoonlijk samen met het verlagen van de schuifbreuksterkte τ_{af} van de lijm. Eerst als het criterium van breuk van de verbinding ligt bij $\tau_{12}(\max) = \tau_{af}$, zal dit resulteren in een kleine verbetering van de lijmverbinding, echter de vermindering in G_a zal de spanningsconcentratie n_c in de lijm verminderen. Dus het is niet waarschijnlijk dat een vergroting van de stijfheid van het materiaal de schuifspanningsconcentratie zal verminderen.

2. Goland en Reissner analyse

De situatie die door Volkersen is onderzocht, waarbij het belang is aangetoond van verschillende parameters op de potentiële sterkte van een enkelvoudige lapnaadverbinding, geeft geen compleet beeld, omdat het geen rekening houdt met de trekspanningen in de lijm als gevolg van de excentriciteit van de belasting op de verbinding. Dit wordt schematisch weergegeven in figuur 2.40a en dit aanvullende aspect werd voor het eerst beschouwd door Goland en Reissner [lit. 12], die uit laboratoriumexperimenten op lapnaadverbindingen afleidden, dat de buiging van de plaatmateriaaldelen buiten het gebied van de verbinding een belangrijke invloed had op de spanningsverdeling in de verbinding zelf. Zij stelden vast dat de lijm en het materiaal zich lineair-elastisch gedragen en dus de wet van Hooke volgen.

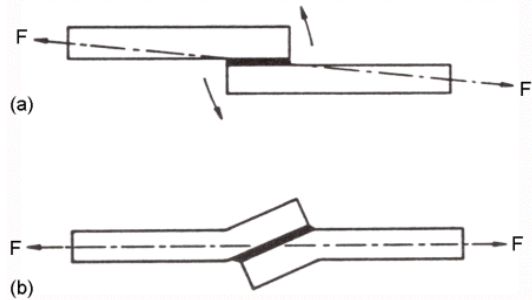
Vervolgens drukten zij de invloed van de buiging op het materiaal uit in een buigend momentfactor κ en een overeenkomstige rotatiefactor κ' . Deze parameters κ en κ' zijn niet van elkaar afhankelijk, maar κ is in het algemeen de belangrijkste factor; κ is dimensieloos en is de verhouding van het optredende buigend moment net voor de gelijkde overlap ten opzichte van de waarde van het moment voor niet-flexibele materialen:

$$\frac{1}{\kappa} = 1 + 2(2)^{1/2} \tanh \left\{ \frac{3}{2} (1 - \nu_s^2)^{1/2} \frac{l_a}{2d} \left(\frac{F}{E_s \cdot b \cdot d} \right)^{1/2} \right\} \quad (7)$$

waarin ν_s de Poisson-verhouding is van het te lijmen materiaal.

Met andere woorden, κ is afhankelijk van de geometrie van de verbinding, de elasticiteitseigenschappen van het materiaal en de spanningen in het materiaal. De waarde van κ is opgezet voor niet vervormbare materialen, maar bij het toenemen van de belasting, in het bijzonder bij vervormbare materialen, zal de waarde van κ afnemen tot de limietwaarde nul. De oorzaak van het verminderen van de waarde κ wordt getoond in figuur 2.40b, waarin te zien is dat wanneer de belasting zal toenemen het materiaal zal buigen, vooropgesteld dat breuk van de verbinding niet voortijdig zal optreden, om de overlap de gelegenheid te geven te roteren. Dit verplaatst duidelijk de lijn van actie van de aangelegde belasting dicht naar de hartlijn van de materiaaleinden, waardoor het buigend moment wordt verkleind. Als gevolg hiervan daalt de waarde van κ en de voorspelde spanningsconcentraties in de verbinding nemen af. Aan de hand van het voorgaande is het daarom voorspelbaar, dat het voorbuigen van de

materiaaleinden om een vergelijkbare situatie te krijgen zoals hierboven beschreven, zal leiden tot een verbinding met een grotere sterkte. Dit is echter moeilijk toe te passen in de praktijk. Een meer geschiktere methode om de bijbehorende invloeden van de excentriciteit van de belasting te verminderen, is het vergroten van de overlappende lengte l_a en/of een dubbele overlap te gebruiken.



figuur 2.40 Schematische weergave hoe de excentriciteit van de belastinglijn in een enkelvoudige overlapverbinding verandert als gevolg van het buigend moment en de optredende vervorming in de materiaaldelen; a. ongedeelte verbinding; b. gedeformeerde verbinding

Goland en Reissner beschouwden twee gevallen:

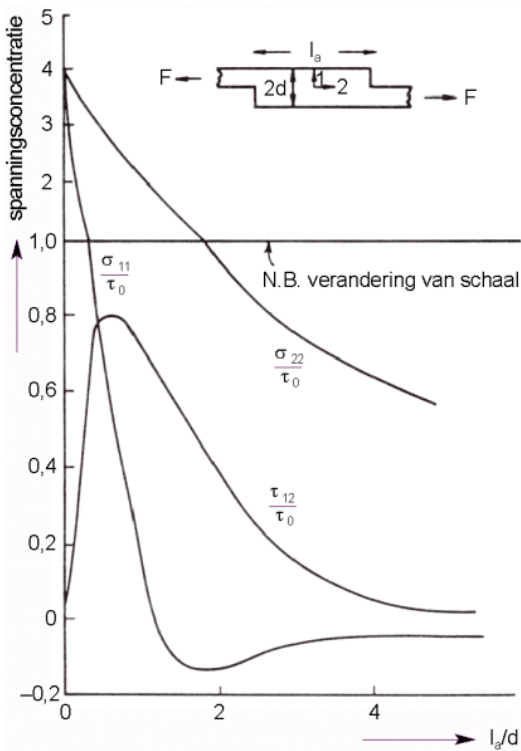
- Waar de lijm laag extreem dun is en eenzelfde elastische stijfheid als het te lijmen materiaal bezit, zodat de vervormingen minder belangrijk zijn, bijvoorbeeld, gelijkde houten verbindingen. Dit geldt onder de volgende voorwaarden dat $h_a/d \ll E_a/E_s$.
- Waar de lijm laag dun is en waar de vervorming in de lijm laag een belangrijke invloed heeft op de spanningsverdeling in de verbinding, zoals in gelijkde metaal/metaalverbindingen. Dit geldt onder de voorwaarde dat $h_a/d \gg E_a/E_s$.

Dit stelt de kwantitatieve grenzen vast voor deze aannamen bij rekenergiebeschouwingen. Ook andere onderzoekers hebben onder andere met behulp van foto-elastische technieken aangetoond, dat de analytische oplossing van Goland en Reissner een goede overeenkomst vertoont met de experimentele resultaten van zowel afschuif- als trekspanningsverdeling in de lijm laag. Voor Goland en Reissner's eerste geval is de spanningsverdeling langs het afschuifvlak weergegeven in figuur 2.41 en het verloop van de maximum spanning met de buigend momentfactor κ in figuur 2.42. Zoals men kan zien, zijn de trekspanningen σ_{11} in de dwarsdoorsnede (buiten het vlakke gedeelte) loodrecht op de doorsnede van de verbinding het hoogst aan de einden van de overlapverbinding; de van hieruit ingeleide spanningen worden vaak toegeschreven aan spijlt- of afspanspanningen, of soms 'trek'spanningen vanaf het ogenblik dat de verbinding van elkaar wordt getrokken. Opgemerkt zij, zoals hierboven behandeld en figuur 2.42 aantoont, dat verschillende spanningen afnemen als de buigend momentfactor κ afneemt in het geval dat de materialen buigen.

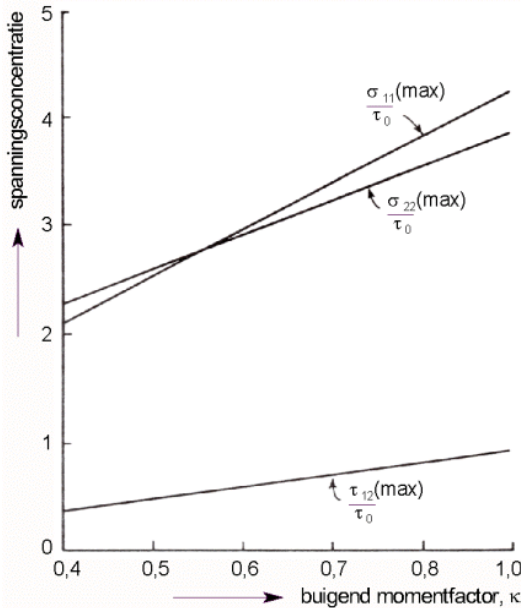
Voor hun tweede geval geldt:

$$\frac{\tau_{12}(\max)}{\tau_0} = \frac{1 + 3\kappa}{4} (2\Delta)^{1/2} \coth(2\Delta)^{1/2} + \frac{3}{4} (1 - \kappa) \quad (8)$$

en de trekspanning σ_{11} en σ_{12} zijn ook aanwezig in de lijm laag. Dus voor relatief lange overlappen en $\kappa = 1$, tonen de vergelijkingen (3) en (8) aan dat de schuifspanningsconcentratiefactor voorspeld door Goland en Reissner twee keer zo groot zal zijn als die voorspeld door Volkersen. Dit is zoals eerder vermeld het gevolg van het feit dat de Volkersen analyse geen rekening houdt met spanningsconcentraties veroorzaakt door de excentriciteit van de belasting.



figuur 2.41 Spanningsverdeling langs het schuifvlak als functie van de afstand tot de rand van de overlap. De buigend momentfactor κ is gelijk aan 1



figuur 2.42 Reductie van de maximum spanningen in het schuifvlak van een enkelvoudige overlapverbinding

Beide hier genoemde analytische methoden gaan uit van lineair elastisch gedrag van het lijm materiaal. De meeste lijm materialen die tegenwoordig worden toegepast vertonen elastisch-plastisch gedrag. Hierdoor worden de pieken in de spanningsverdeling afgevlakt. Het resultaat met deze lijmen zal in de praktijk dus betere resultaten opleveren dan met deze simpele analytische methoden wordt berekend.

De trekspanningen in de dwarsdoorsnede (buiten het vlakke gedeelte), of de splitspanningen σ_{11} , die worden veroorzaakt door de excentriciteit van de belasting, zijn een erg belangrijke factor in het breukgedrag van enkelvoudige overlapverbindingen. De invloed van deze

spanningen kunnen op verschillende manieren worden aangetoond. Zij leiden bijvoorbeeld ten eerste regelmatig tot breuk van de verbinding door het optreden van scheurinitiatie en scheurgroei vanuit de einden van de overlap. Ten tweede zijn de trekspanningen bij metaal/metaalverbindingen in de dwarsdoorsnede vaak voldoende hoog om de rekgrens van het materiaal te bereiken, waarbij eerst na breuk in de verbinding blijkt dat het materiaal plastisch is vervormd. Ten derde is, in het geval van vezelversterkte materialen, de aanwezigheid van trekspanningen in dwarsrichting gekoppeld aan een lage interlaminaire treksterkte van de composietlaminaten vaak de oorzaak van vroegtijdige verbindingbreuken door delaminatie van het materiaal, zoals schematisch is weergegeven in figuur 2.43. Het is dus te overwegen om geen enkelvoudige belasting dragende overlapverbindingen toe te passen bij composietmaterialen, mits de overlappende mate groot wordt gekozen dat excentrische effecten worden geëlimineerd.



figuur 2.43 Schematische weergave van een interlaminaire breuk van een composietmateriaal

Numerieke methode

Een aantal nadelen van de analytische methoden en de moeilijkheid van doorrekenen van complexe geometriën of van de niet constante of plaatsafhankelijke materiaaleigenschappen, worden opgevangen door de numerieke methoden, waaronder de eindige elementenmethode de meeste mogelijkheden biedt.

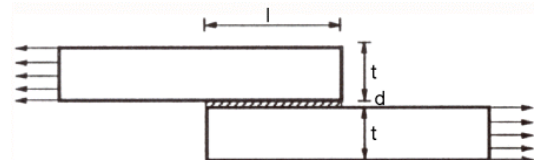
Principe van de eindige elementenmethode

In een willekeurig lichaam (= gelijkde verbinding) kan de veldveranderlijke (= verplaatsing, rek, spanning) in elk punt een andere waarde bezitten. Bijgevolg heeft een continuümprobleem oneindig veel onbekenden. In de eindige elementenmethode wordt het vraagstuk herleid tot een probleem met een eindig aantal onbekenden, doordat het oplossingsgebied wordt onderverdeeld in een aantal deelgebieden of 'elementen', waarin de onbekende veldveranderlijke wordt uitgedrukt als functie van haar waarde in discrete punten, 'knooppunten' genoemd.

Enkelvoudige lapnaad (figuur 2.44)

Hier wordt een voorbeeld gegeven hoe de procedure van een eindige elementenberekening kan verlopen. Via een trekproef en een wringproef kan men het $\sigma - \epsilon$ en het $\tau - \gamma$ diagram van de lijm bepalen en aan de hand van analytische formules een grootte-orde van de spanningen vastleggen. Eerst wordt verondersteld dat er alleen lage (schuif)spanningen in de lijm aanwezig zijn, waardoor kan worden volstaan met een lineaire berekening. Bovendien biedt een lineaire berekening het voordeel dat men met een minder geavanceerd eindige elementenprogramma kan werken.

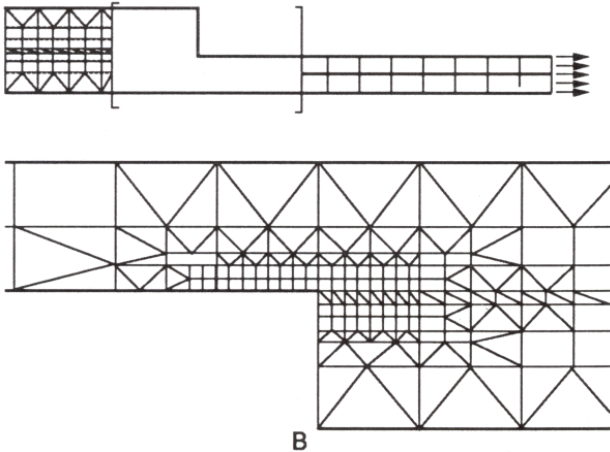
Voorbeeld: verdeling van de elementen voor een enkelvoudige lapnaad, zie figuur 2.45.



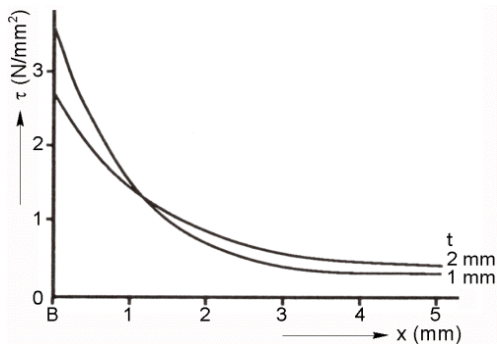
figuur 2.44 Enkelvoudige lapnaad

Een resultaat met een dergelijke elementenverdeling wordt gegeven in de figuren 2.46 en 2.47, uitgaande van de volgende gegevens:

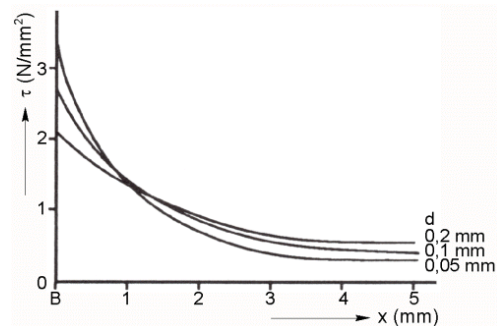
- Materiaalkarakteristieken:
 staal: $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ en $\nu = 0,3$;
 lijm : $E = 7000 \text{ N/mm}^2$ en $\nu = 0,3$ (zeer stijve lijm, normaal $E < 5000 \text{ N/mm}^2$).
- Geometrie
 Lengte van de staalplaten 20 mm en breedte 1 mm, terwijl de dikte (t) als parameter wordt beschouwd, namelijk 1 en 2 mm. De overlappende lengte bedraagt 10 mm; de dikte van de lijm laag (d) wordt als parameter beschouwd (0,05; 0,1 en 0,2 mm);
- De totale belasting aan de uiteinden van de platen bedraagt 10 N. In de verbinding heerst een vlakke spanningstoestand.



figuur 2.45 Elementenverdeling voor een enkelvoudige lapnaad



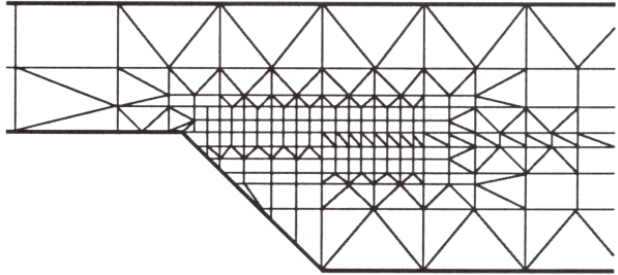
figuur 2.46 Schuifspanningen in de lijm laag (d=0,1 mm)



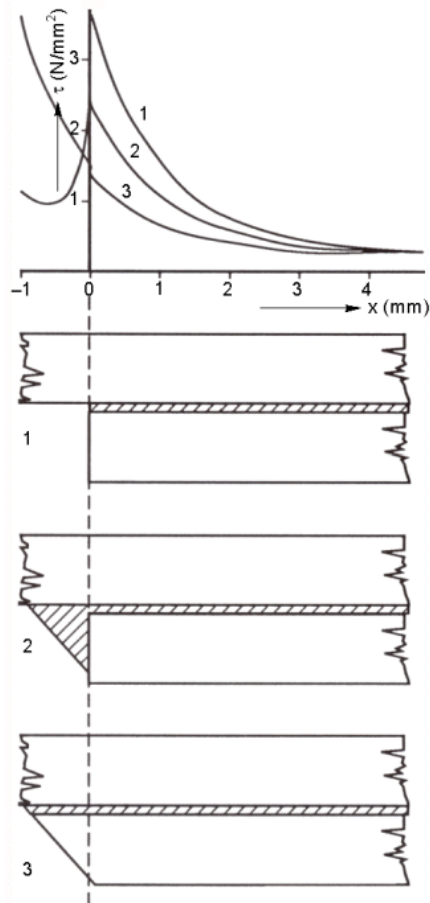
figuur 2.47 Schuifspanningen in de lijm laag (t = 2 mm)

figuur 2.48 geeft een elementenverdeling van een lijmnaad, waarbij de uitgeperste lijm niet totaal wordt verwijderd, maar een schuin verloop vertoont. Het resultaat van de berekening wordt getoond in figuur 2.49, waarin de spanningsverdeling wordt weergegeven. In de getoonde gevallen 1,2 en 3 worden de spanningen van een gewone lapnaad vergeleken met die waarbij de

discontinuïteit is opgevuld met lijm (curve 2) en met een afgeschuinde staalplaat (curve 3). Uit de berekeningen blijkt, dat een afgeschuinde staalplaat weinig effectief is, zeker niet als de afschuining bruusk verloopt. Ook bij het gebruik van eindige elementen methode is het invoeren van de elastisch-plastische eigenschappen van het lijm materiaal van belang om tot betere voorspelling van het gedrag van de lijmverbinding te komen. Dit leidt echter tot aanzienlijk langere rekentijden. Het berekenen van lijmconstructies is met de hierboven genoemde methoden mogelijk. Een groot probleem is het beschikken over correcte materiaaleigenschappen. Hiertoe is en blijft een grote hoeveelheid experimenteel werk vereist. Tevens zal met enkele experimenten het gebruikte eindige elementen model moeten worden gevalideerd.



figuur 2.48 Elementenindeling voor "spew fillet" en voor afgeschuinde staalplaten



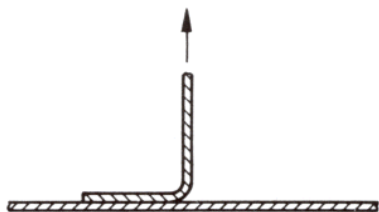
figuur 2.49 Spanningsverdeling voor drie verschillende gevallen

2.5 Gelijmde hoekverbindingen

2.5.1 Trekbelasting/afpelbelasting

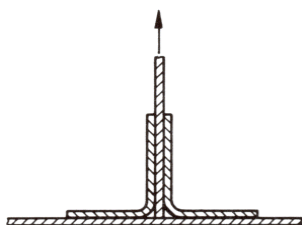
Gelijmde hoekverbindingen waarbij de lijmnaad op trek en afhankelijk van de constructie ook op afpel wordt belast, moeten bij voorkeur worden vermeden. Wanneer

dit niet mogelijk is, dan moet men een verbinding construeren met grote stijve flenzen, waarbij de lijmnad zo minimaal mogelijk wordt belast op afpellen. Een hoekverbinding zoals aangegeven in figuur 2.50 wordt ten sterkste afgeraden in verband met afpelbelasting van de lijmnadrand.

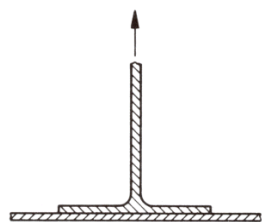


figuur 2.50 Ongunstige hoekverbinding

Dit soort verbindingen is wel goed mogelijk met een dubbele flensverbinding, zoals aangegeven in figuur 2.51. Stijve lijmfenzen worden aanbevolen om de trekspanningen over een grote breedte van de lijmnad te kunnen verdelen (zie figuur 2.52).

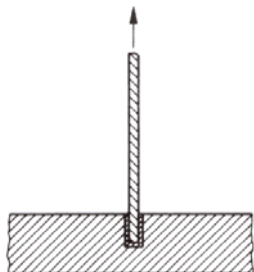


figuur 2.51 Dubbele flensverbinding



figuur 2.52 T-profielverbinding

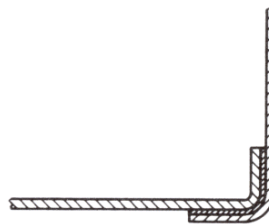
In figuren 2.53 t/m 2.55 zijn hoekverbindingen geschetst die zowel de trekbelasting als de afschuifbelasting van de lijmnad opnemen. De verbinding in figuur 2.53 wordt in de praktijk weinig toegepast, omdat de groef (diepte ongeveer 5 mm) de dikke plaat aanzienlijk verzwakt. Deze lijmverbinding moet worden uitgevoerd met een "spleetvullende" lijm, die zonder druk verhardt.



figuur 2.53 Steekverbinding



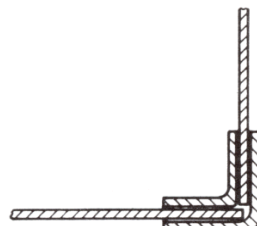
figuur 2.54 Hoekverbinding tussen vlakke platen en plaat met omgezette rand



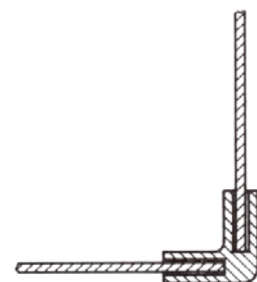
figuur 2.55 Hoekverbinding tussen platen met omgezette randen

De verbinding in figuur 2.54 wordt in hoofdzaak langs de randen van constructiedelen toegepast, waarbij de verbinding in figuur 2.55 een gunstiger belastingsverdeling geeft.

Hoekverbindingen tussen twee platen waarbij geen gevaar aanwezig is voor het inscheuren van de lijmnad, worden gegeven in de figuren 2.56 en 2.57. Lijmverbindingen zoals geschetst in de figuren 2.50 t/m 2.52 en 2.54 t/m 2.56 kunnen indien gewenst zonder lijmgereedschappen tot stand worden gebracht, wanneer spleetvullende lijm wordt gebruikt. Nadat de contactvlakken van lijm zijn voorzien, kunnen de delen op elkaar worden gefixeerd door middel van bijvoorbeeld klinknagels, bouten of andere mechanische verbindingen, die de nodige lijmdruk leveren. De steek van bijvoorbeeld de klinknagels of bouten is afhankelijk van de stijfheid van de te lijmen delen, nodig om een strak en glad oppervlak te verwezenlijken.



figuur 2.56 Hoekverbinding tussen platen met koppelprofielen



figuur 2.57 Hoekverbinding tussen platen met insteekprofielen

2.6 *Gelijmde paneelconstructies*

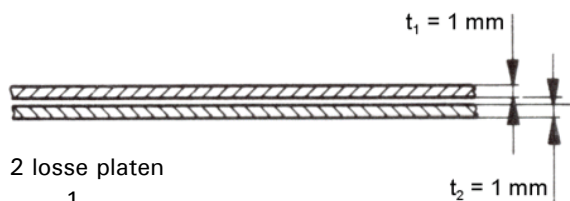
2.6.1 *Verhoging van de stabiliteit*

Eén van de belangrijkste voordelen van lijmen van paneelconstructies is de verhoging van de stabiliteit van de constructie. Bij belastingen op buiging, dan wel op druk of afschuiving (plooielastingen), speelt het traagheidsmoment ($I = 1/12 bt^3$) van de doorsnede een belangrijke rol.

Het traagheidsmoment van twee platen die niet met elkaar zijn verbonden, is gelijk aan de som van de traagheidsmomenten van de afzonderlijke platen (zie figuur 2.58).

Worden deze twee platen op elkaar gelijmd, dan dragen de platen zich als één geheel. Hiervan is de stabiliteit aanzienlijk groter dan van de niet gelijmde platen (zie figuur 2.59). Twee op elkaar gelijmde platen van 1 mm dik zijn ongeveer 5 x zo stijf als twee niet

gelijmde platen samen; vergelijk de waarden van de traagheidsmomenten in de figuren 2.58 en 2.59.

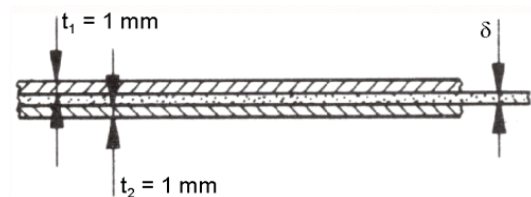


2 losse platen

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot (t_1^3 + t_2^3)$$

$$= \frac{1}{12} \cdot b \cdot (1^3 \text{ mm}^3 + 1^3 \text{ mm}^3) = \frac{2}{12} \cdot b \text{ mm}^3$$

figuur 2.58 Buigstijfheid van twee losse platen



2 gelijmde platen

δ = lijmnaddikte (stel $\delta=0,2 \text{ mm}$)

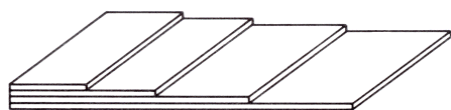
$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot (t_1 + t_2 + \delta)^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot b \cdot (1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0,2 \text{ mm})^3 = \frac{10,6}{12} \cdot b \text{ mm}^3$$

figuur 2.59 Buigstijfheid van twee gelijmde platen

2.6.2 Aanpassing doorsnede aan 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. Verspanende bewerkingen of het maken van constructiedelingen (die weer aan elkaar moeten worden gekoppeld) om het gewenste doorsnedeverloop te bewerkstelligen, kunnen dan achterwege blijven. In figuur 2.60 is een voorbeeld gegeven van een plaat met verlopende doorsnede.

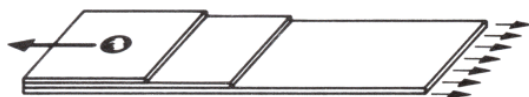


figuur 2.60 Platenpakket met verlopende dikte

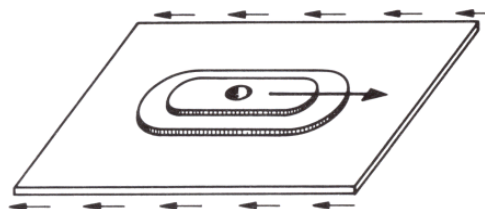
2.6.3 Geconcentreerde belastingen

Het inleiden van geconcentreerde belasting ter plaatse van bouten of klinknagels of andere bevestigingsmiddelen kan dermate hoge spanningsconcentraties veroorzaken, dat vermoeiingsscheuren onder wisselende belasting kunnen ontstaan. Ook bestaat de mogelijkheid van te hoge vlaktedruk in het gat van het plaatmateriaal.

Deze moeilijkheden kunnen worden voorkomen door het lijmen van extra platen of plaatstukken ter plaatse van de krachtinleiding. Enkele voorbeelden zijn gegeven in de figuren 2.61 en 2.62.



figuur 2.61 Plaatrand met opgelijmde strippen



figuur 2.62 Lokale versterking van plaatveld

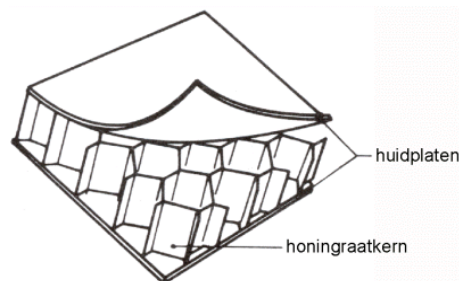
2.6.4 Sandwichconstructies

Constructiemogelijkheden

Een sandwichconstructie, waarvan figuur 2.63 een voorbeeld geeft, bestaat uit twee huidplaten (bijvoorbeeld van aluminium of staal) die op een lichte kern worden gelijmd. Als kern kan ondermeer worden gebruikt:

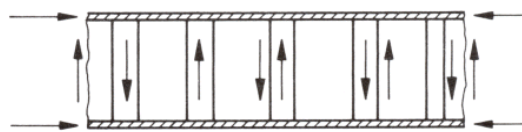
- ▶ aluminium-, papier- of kunststof honingraat;
- ▶ hout;
- ▶ (hard) schuimplastic.

De keuze van het kernmateriaal wordt bepaald door diverse factoren zoals: sterkte, gewicht, isolatie-eigenschappen en prijs.



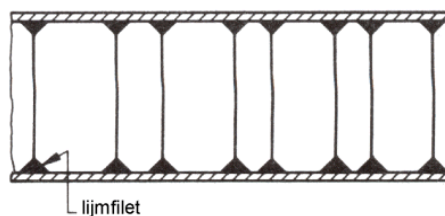
figuur 2.63 Sandwichpaneel met honingraatkern

De perfecte ondersteuning door de kern voorkomt het ontstaan van lokale plooiïvorming in de dunne huidplaten. Door het grote traagheidsmoment van de doorsnede zijn sandwichpanelen zeer stijf. Ze kunnen hoge druk-, afschuif- en buigbelastingen opnemen. De belastingen in het vlak van het paneel worden gedragen door de huidplaten, terwijl de kern de dwarskrachten opneemt (zie figuur 2.64).



figuur 2.64 Belastingsverdeling in een sandwichpaneel

Behalve koudhardende (vloeiïbare) lijmsorten zijn er voor het lijmen van sandwichconstructies met honingraatkern ook speciale warmhardende lijmsorten in de vorm van een film. Door de goede vloeï- en capillaire eigenschappen bij hardingstemperatuur kruipt de lijm tegen de honingraatwanden op en vormt zogenaamde "fillets". Zo wordt een sterke verbinding tussen honingraat en de huidplaten verkregen, met een minimum hoeveelheid aan lijm (zie figuur 2.65).



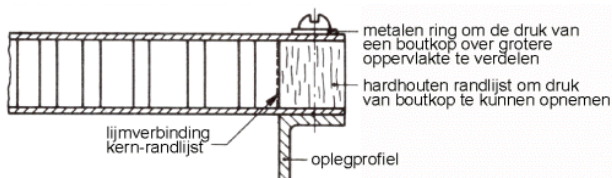
figuur 2.65 Verbinding tussen honingraat en huidplaat met lijmfillets

Sandwichpaneelranden

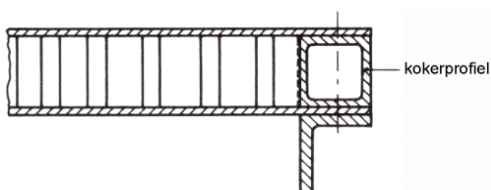
Deze worden voorzien van meegelijmde randversterkingen (lijsten of profielen) om koppeling van panelen onderling of bevestiging ervan aan de omringende constructie mogelijk te maken. De randversterking beschermt tevens de zijkanten van de kern tegen beschadigingen.

Moeten de dwarskrachten, gedragen door de kern, via het randprofiel (of randlijst) naar de omgevende constructie worden overgedragen, dan moet de kern aan het randprofiel worden gelijmd. Eventuele delingen in de kern moeten ook aan elkaar worden gelijmd.

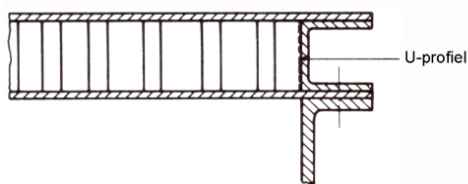
Enkele constructievoorbelden van paneelrandopleggingen worden gegeven in de figuren 2.66 t/m 2.68.



figuur 2.66 Paneelrandversterking met houten lijst



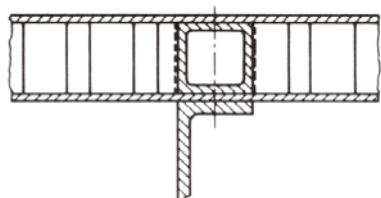
figuur 2.67 Paneelrandversterking met kokerprofiel



figuur 2.68 Paneelrandversterking met U-profiel

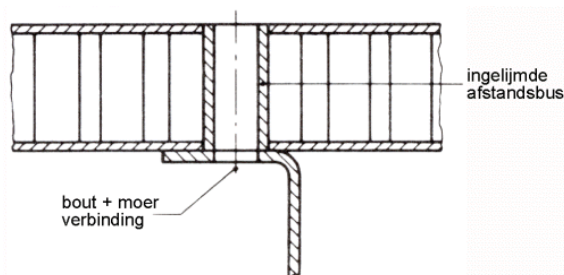
Bevestiging van constructie-elementen aan het sandwichpaneel

Voor bevestiging van constructie-elementen aan het sandwichpaneel buiten het randgebied wordt de kern, ter plaatse van de bevestiging, vervangen door lijsten of profielen, zoals ook toegepast voor randversterkingen. Door deze lijsten of profielen kunnen bouten worden aangebracht voor (plaatselijke) bevestigingen (zie als voorbeeld figuur 2.69).

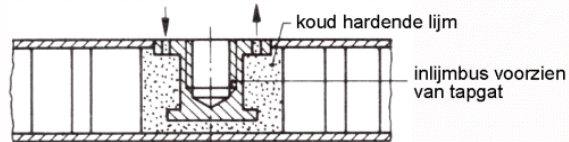


figuur 2.69 Versterkingskoker in sandwichpaneel voor lokale bevestiging

In plaats van versterkingslijsten of profielen kan er ook gebruik worden gemaakt van diverse soorten bussen, die na het lijmen van het paneel daarin worden aangebracht. Daartoe wordt in het paneel het gewenste gat geboord, waarin de bus met een koudhardende lijm aan de kern wordt vastgelijmd. Diverse soorten bussen zijn voor dit doel in de handel verkrijgbaar. Figuren 2.70 en 2.71 geven voorbeelden van deze bevestiging.



figuur 2.70 Inlijmbus voor lokale bevestiging

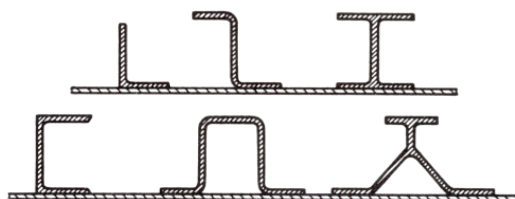


figuur 2.70 Verzonken inlijmbus

Voor het overdragen van krachten in het vlak van het paneel zal het in veel gevallen nodig zijn de huidplaat van een in- of uitwendige versterkingsstrip te voorzien, waardoor de vlaktedruk van het gat in de huidplaat wordt vermindert.

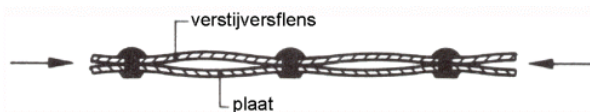
2.7 Gelijmde plaatverstijvingen

De kniksterkte van platen die worden belast op druk of afschuiving wordt verhoogd door het toepassen van verstijvers, zoals een aantal wordt getoond in figuur 2.72. Door het grotere traagheidsmoment van de doorsnede van het paneel neemt de "kniksterkte volgens Euler" (slanke of primaire knik) toe.



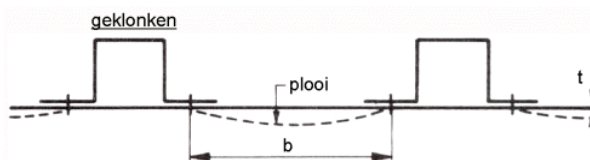
figuur 2.72 Plaat- en extrusieprofielen gelijmd op plaat

Een paneel kan behalve door primaire knik ook bezwijken door onvoldoende lokale stijfheid van de plaat-elementen in het paneel (secundaire knik), zie figuur 2.73.

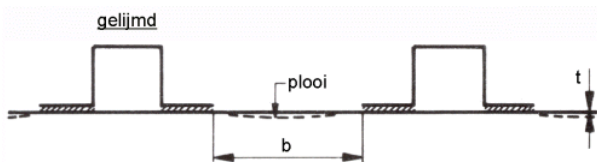


figuur 2.73 Lokale knik tussen klinknagels

In een paneel waarbij de verstijverflenzen aan de plaat zijn geklonken, kunnen lokale plooiën ontstaan in de flenzen en in de plaat tussen de klinknagels (zie figuur 2.74). De spanning waarbij deze plooiën optreden, wordt bepaald door de dikte van plaat en flens en ook van de nagelsteek. Deze vorm van lokale knik treedt niet op, wanneer de verstijvers op de plaat worden gelijmd, dank zij de grote stabiliteit van de verbinding (zie figuur 2.75).



figuur 2.74 Lokale knik van de plaat tussen verstijvers in een geklonken paneel



figuur 2.75 Lokale knik van de plaat tussen verstijvers in een gelijmd paneel

Bij lokale knikverschijnselen kunnen ook plooien ontstaan in de plaatelmente tussen de verstijvers.

De kniksterkte hangt af van $\left(\frac{t}{b}\right)^2$,

waarin t = de plaatdikte en b = de breedte van het plaatelment. In een geklonken verbinding is b de afstand tussen de rijen nagels van de verstijver-plaatverbinding (figuur 2.74).

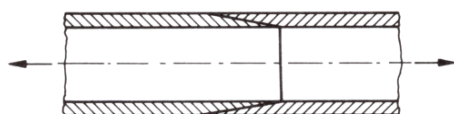
Worden de verstijvers op de plaat gelijmd, dan worden de randen van de plaatelmente over een grotere breedte ondersteund. De waarde van b van het plaatelment tussen de verstijvers wordt nu kleiner, waardoor de lokale knikspanning σ_{knik} toeneemt (figuur 2.75).

2.8 Gelijmde buis/ronde verbindingen

2.8.1 Axiale belasting (trek, druk)

Evenals bij de lapnaden kunnen bij gelijmde buisverbindingen axiale krachten het beste worden overgedragen door schuifbelasting van de lijmmaad.

Een afgeschuinde verbinding is goed uitvoerbaar bij ronde, dikwandige buizen, zie figuur 2.76. Bij het gebruik van lijmsorten die onder druk moeten worden uitgehard, is het gewenst dat de passing goed is.

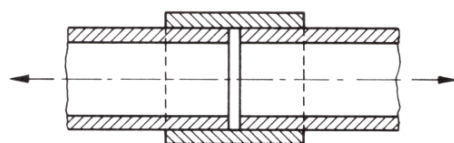


figuur 2.76 Afgeschuinde buisverbinding

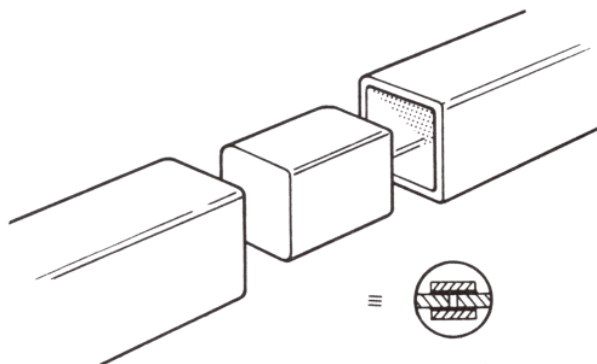
De berekening van de sterkte komt overeen met die van een afgeschuinde lapnaadverbinding.

Bij vierkante buizen zijn afgeschuinde verbindingen moeilijk uitvoerbaar. Deze verbindingen worden meestal gerealiseerd door gebruik te maken van moffen (in- of uitwendig) of door twee buizen in elkaar te schuiven (zie voorbeelden in de figuren 2.77 t/m 2.79). Deze oplossingen gelden ook voor ronde buizen. Daar de lijmnaden bij dit soort verbindingen niet kunnen worden aangedrukt, moet er een lijmsort worden gekozen die spleetvullende eigenschappen bezit en zonder druk uithardt. Voor het verkrijgen van een goede vulling van de lijm in de lijmspleet dienen de kanten te worden afgeschuind.

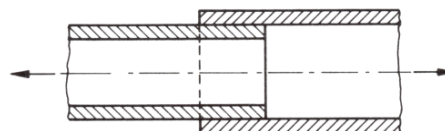
In plaats van de buizen in elkaar te schuiven kan de mof voorzien worden van enkele gaatjes ($\varnothing 3$ mm), waar de lijm doorheen geïnjecteerd wordt. Een thixotrope lijmsort is hier goed te gebruiken. De injectiemethode kan ook gebruikt worden bij het positioneren en spanningsvrij fixeren van ingewikkelde vakwerken.



figuur 2.77 Buisverbinding met buitenmof

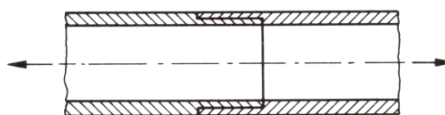


figuur 2.78 Buisverbinding met inwendige mof

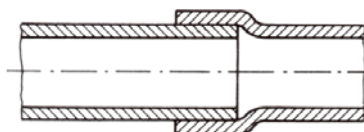


figuur 2.79 Buisverbinding met in elkaar geschoven buizen

In de figuren 2.80 en 2.81 worden nog enkele andere uitvoeringsvormen getoond van gelijmde ronde buisverbindingen, waarbij de doorvoer constant blijft.



figuur 2.80 Getrapte buisverbinding



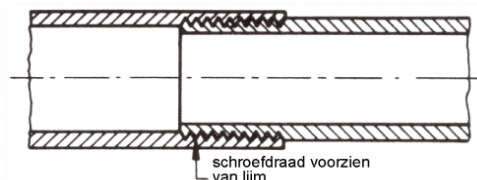
figuur 2.81 Opgetrompte buisverbinding

Gelijmde buisverbindingen hebben als voordeel, dat bij ruime passingstoleranties eveneens sterke verbindingen worden verkregen, die lucht- en vloeistofdicht zijn en niet onderhevig zijn aan elektrolytische spleetcorrosie. Voor het bepalen van de afmetingen van de lijmverbindingen voor buiskoppelingen kan gebruik worden gemaakt van de rekenwijze zoals bij lapnaadverbindingen.

2.8.2 Torsiebelasting

De geschetste buisverbindingen in de figuren 2.76 t/m 2.81 kunnen behalve axiale belastingen tevens torsiebelastingen overbrengen. Evenals bij de lapnaden is de schuifspanningsverdeling niet gelijkmatig, maar vertoont een concentratie langs het begin en einde van de verbinding. Bij een afgeschuinde verbinding, zoals gegeven in figuur 2.76, is de verdeling van de schuifspanning wel gelijkmatig door het geleidelijke verloop in wanddikte van de buizen.

Een bijzondere toepassing van lijm in buisverbindingen is gegeven in figuur 2.82. Bij montage wordt de draad van de buiseinden voorzien van lijm.



figuur 2.82 Buisverbinding met schroefdraad

Afhankelijk van de toepassing heeft de lijm in dit geval de volgende functies:

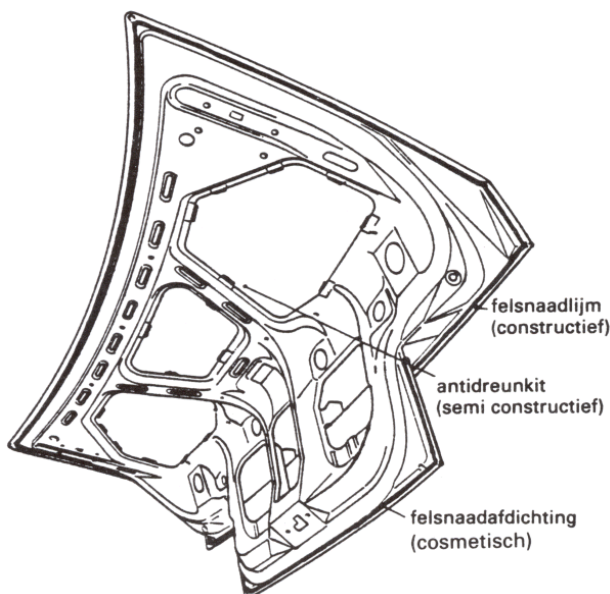
- ▶ borging van de schroefdraad;
- ▶ afdichting van de schroefdraad;
- ▶ vorming van een lijmverbinding voor het overdragen van torsiebelastingen.

Voor cilindrische verbindingen geldt eveneens dat deze naast axiale belastingen ook draaimomenten kunnen overbrengen.

Voor het bepalen van de maattoleranties en het berekenen van de sterkte van dergelijke verbindingen zijn door de lijmleveranciers richtlijnen gegeven.

2.9 Toepassingen

De toepassing van de lijmtechniek als verbindings-techniek heeft, zoals in het voorgaande reeds is behandeld, een aanzienlijk aantal mogelijkheden. In de vliegtuigindustrie wordt het lijmen als verbindings-techniek reeds gedurende lange tijd met succes toegepast, zoals bijvoorbeeld bij vleugelconstructies, sandwichpanelen voor allerlei toepassingen, enzovoort. Ook in de auto-industrie wordt de laatste jaren het lijmen als verbindingstechniek steeds meer toegepast. Figuur 2.83 geeft hiervan een voorbeeld in de vorm van het lijmen van een kofferdeksel.



figuur 2.83 Lijmtoepassing bij een automobielkofferdeksel

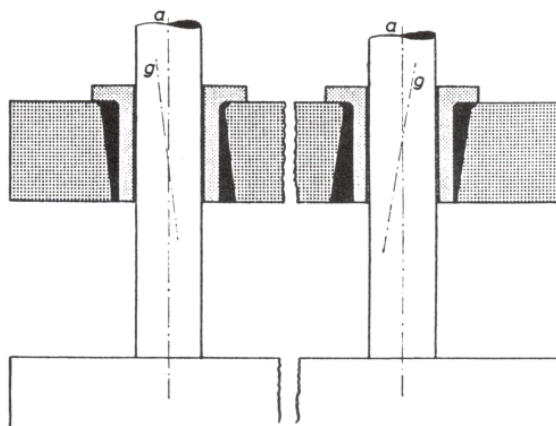
Naast de vliegtuig- en auto-industrie wordt de lijmtechniek in een groot aantal andere industrietakken toegepast als verbindingstechniek, onder andere ook voor het verbinden van metalen onderdelen, eventueel in combinatie met andere materialen zoals kunststof.

Aanvullend op de reeds beschreven toepassingen van de lijmtechniek volgen hier nog enkele andere voorbeelden van toepassingen.

Lijmstellen

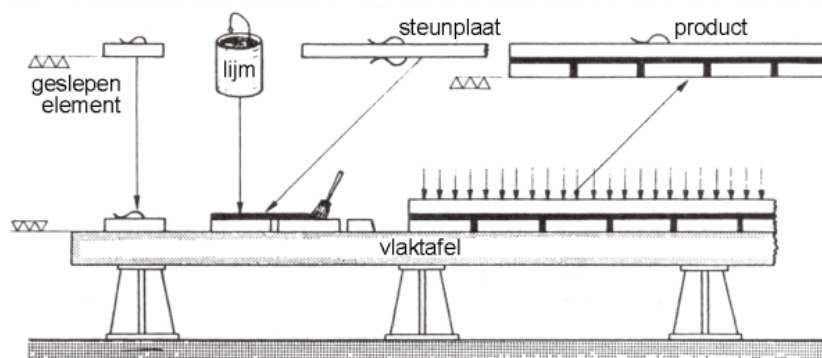
Onder lijmstellen verstaat men twee of meer onderdelen, die ten opzichte van elkaar met behulp van lijm nauwkeurig worden gefixeerd. Voor deze toepassingen gebruikt men in het algemeen koudhardende lijmen met zeer geringe hardingskrimp en met spleetvullende eigenschappen. Daardoor kunnen nauwkeurige verspanende bewerkingen op vaak kostbare machines achterwege blijven. Een voorbeeld hiervan wordt gegeven in figuur 2.84, waarin is aangegeven hoe een tafel voor een gereedschapsmachine kan worden vervaardigd. Hierbij wordt een aantal eenzijdig nauwkeurig geslepen elementen op een vlaktafel geplaatst, nadat de achterzijden ervan zijn gereinigd. Na het aanbrengen van de koudhardende lijm op de achterzijden van de elementen wordt een onnauwkeurige steunconstructie op de dikke lijmlagen geplaatst. Na het uitharden vormen de geslepen vlakken samen een nauwkeurige tafel, die een afspiegeling is van de vlaktafel.

Figuur 2.85 toont het inlijmen van lagerbussen voor de geleiding van perstafels. Hierbij worden lagerbussen in overmaatse gaten in de tafels gelijmd, nadat het geheel eerst nauwkeurig is gesteld ten opzichte van elkaar. De lagerbussen kunnen zich op deze manier precies op de juiste positie ten opzichte van de kolommen instellen. Tijdens het uitharden van de lijm dient er wel op gelet te worden dat de lijmunderdelen niet worden bewogen.



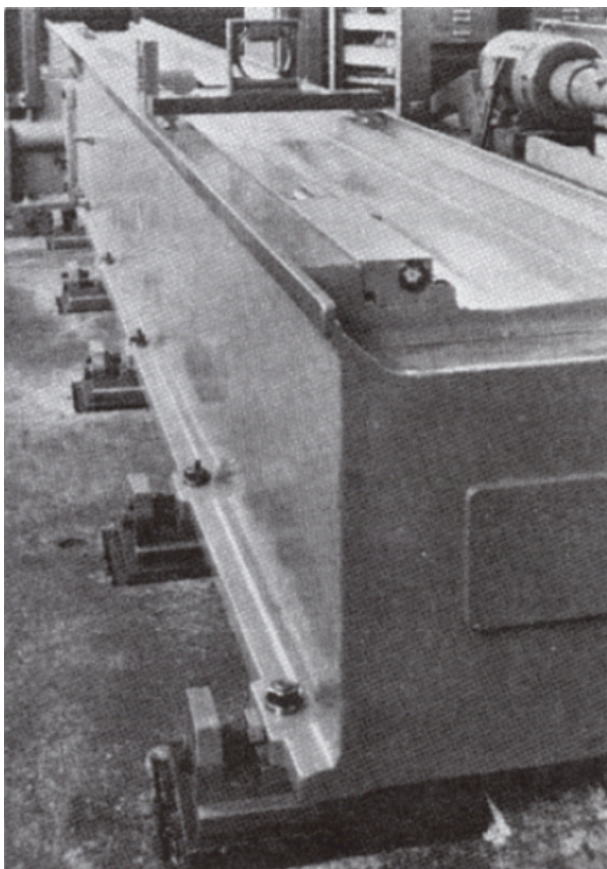
figuur 2.85 Inlijmen van lagerbussen

Andere toepassingen zijn het horizontaal afstellen van een balk of as in ruimtelijke vakwerkconstructies, zoals het horizontaal opstellen op fundaties (van vlaktafels, schaafofreesbed van machines) en van machines zelf.



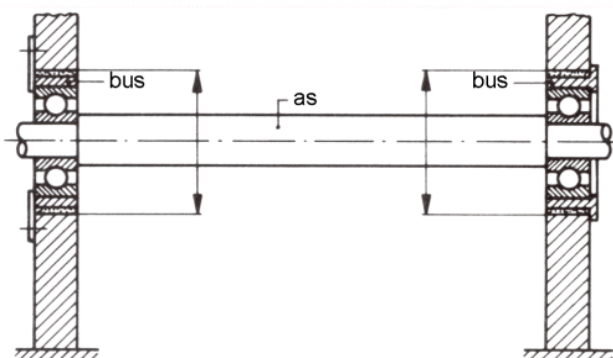
figuur 2.84 Vervaardiging tafel van een gereedschapsmachine

Figuur 2.86 toont een bed van een schaaftank, die nauwkeurig in de gewenste horizontale positie is gefixeerd door lijmlagen tussen de ondersteuningsfunctie en de machine.



figuur 2.86 Gelijmd blok van een schaaftank

Figuur 2.87 toont een constructiemogelijkheid van het zuiver plaatsen van een gelagerde as in een vakwerkconstructie. Door de lagers in bussen te lijmen blijft demontage van de lagers (inclusief de bussen) na het inlijmen nog mogelijk.



figuur 2.87 Lijmstellen van gelagerde as in vakwerkconstructie. Procedure: gaten in frame ruim geboord, vervolgens as in gewenste positie fixeren, daarna ruimte tussen bussen en gatwand in frame vullen met lijm (injecteren)

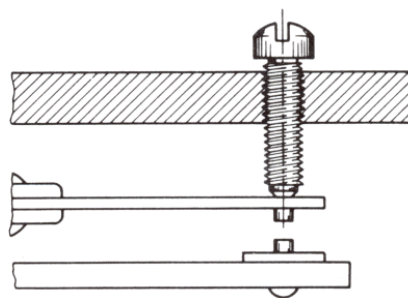
Schroefdraadborgingen

Constructie-elementen waar schroefdraad aan te pas komt, worden doorgaans gekozen voor gevallen waar de verbinding meestal weer gedemonteerd moet kunnen worden. Voortijdig losraken van deze verbindingen door bijvoorbeeld trilling, wrijving, wisselende belasting en wisselende temperaturen dient te worden voorkomen.

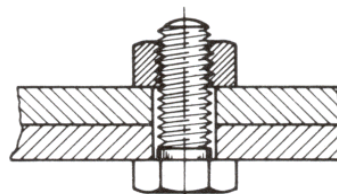
Om dit type verbindingen te borgen kan gebruik worden gemaakt van speciale lijmsorten, in dit geval de anaërobe ééncomponentlijmen. Dit zijn lijmsorten die afgesloten van de lucht uitharden. Ze zijn verkrijgbaar in soorten die verschillen in viscositeit en schuifsterkte. Deze eigenschappen zijn bepalend voor de keuze van de lijm; ze houden namelijk verband met het losdraaimoment dat nodig is. De viscositeit is bepalend voor de spleetvulling; de schuifsterkte voor het losdraaimoment.

Deze vorm van borgen waarborgt een materiaalcontact tot 100% en zorgt naast het verdelen van de belasting over het gehele oppervlak, tevens voor een afdichting.

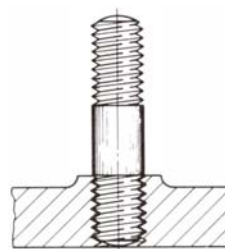
Voor stelschroeven (figuur 2.88) gebruikt men de soorten met een lage schuifsterkte. Voor verbindingen die met handgereedschap worden gedemonteerd (figuur 2.89) wordt een soort gekozen met een middelmatige schuifsterkte. Voor verbindingen die gewoonlijk niet worden gedemonteerd, zoals tapeinden (figuur 2.90), verdient de sterkste soort aanbeveling.



figuur 2.88 Stelmoerborging (licht)



figuur 2.89 Boutborging (middel normaal)

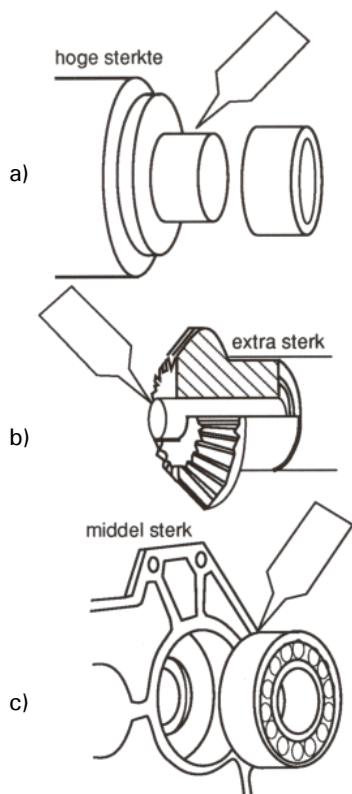


figuur 2.90 Tapeindborging (zwaar)

Steekverbindingen

Voor het bevestigen van tandwielen, lagers, snaarschijven, ventilatoren, rotoren, nokken, bussen en dergelijke kan eveneens anaërobe lijm worden gebruikt. Het lijmen van steekverbindingen heeft als voordeel dat dure perspassingen kunnen worden vervangen door een minder nauwkeurige glijdende passing. Ook hier is vaak de al of niet demonteerbaarheid van de verbinding beslissend of lijm als verbindingsmiddel wordt gekozen.

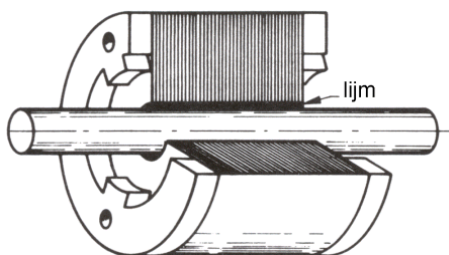
Voor het bevestigen van glij- en kogellagers (figuur 2.91a) kiest men, met het oog op demontage, een lijmsort met middelmatige schuifsterkte of in het geval van lagerbussen een lijmsort met hoge sterkte (figuur 2.91b). Voor het bevestigen van tandwielen op assen (figuur 2.91c) gebruikt men een lijmsort met een zo hoog mogelijke schuifsterkte.



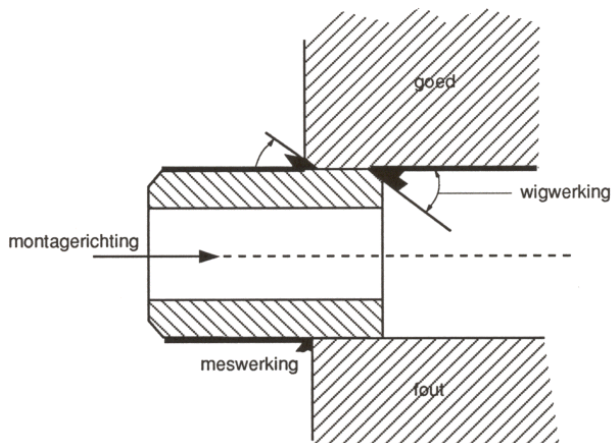
figuur 2.91 Bevestiging lagers/tandwielen

Bij verbindingen waarbij geen vervorming in de onderdelen mag optreden tijdens monteren, bijvoorbeeld bij montage van glijlagers of de bevestiging van assen in roteren van kortsluitmotoren (figuur 2.92), biedt het lijmen een goede uitkomst.

Voor het inlijmen van cilindrische delen in elkaar, dient men er voor te zorgen dat de te lijmen onderdelen afgeschuinde kanten hebben en dat de lijm aan beide oppervlakken wordt aangebracht (figuur 2.93).



figuur 2.92 Borging zonder vervorming van de as



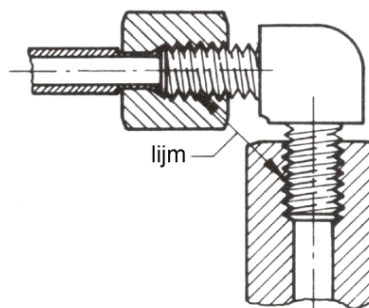
figuur 2.93 Aanbrengen van lijmen op cilindrische delen

Samenvattend zijn de voordelen van lijmen als bevestigingstechniek voor cilindrische delen:

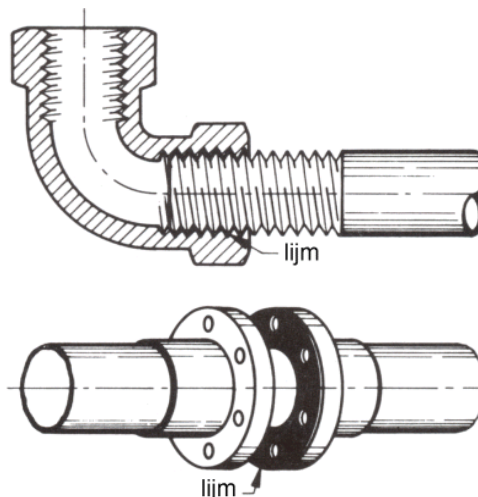
- ▶ ruimere toleranties mogelijk;
- ▶ goedkopere aanmaakkosten;
- ▶ lagere montagekosten;
- ▶ spanningsloze verbinding;
- ▶ verdeelt belasting over het totale oppervlak;
- ▶ nabewerkingskosten vervallen;
- ▶ voorkomt passings- c.q. elektrische corrosie;
- ▶ naast bevestiging ook afdichting;
- ▶ gecontroleerde sterkte.

Afdichtingen

Bij het verbinden van onderdelen kan de afdichting wel eens noodzakelijk zijn. Bijvoorbeeld bij vloeistof- of gasdichte draadpijpvverbindingen, hydraulische fittingen, flenzen en dergelijke (figuur 2.94 en 2.95). De keuze van de lijmsoort wordt hier bepaald door de vereiste chemische resistentie en het spleetvullend vermogen. Voor deze afdichtingen worden meestal anaërobe lijmen toegepast, echter kan ook gebruik worden gemaakt van elke spleetvullende lijm.



figuur 2.94 Afdichting tegen hoge druk



figuur 2.95 Afdichting van gas- en waterleidingen

2.10 Praktijkvoorbeelden

In een aantal bedrijfstakken wordt het lijmen als verbindingstechniek al veelvuldig toegepast bij zeer uiteenlopende constructies.

Enkele voorbeelden worden hieronder gegeven:

Filters

Filterelementen worden in hun behuizing ingelijmd met een ééncomponent epoxylijm, zie figuur 2.96. De eindkappen worden op een draaitafel machinaal van de warmhardende lijm voorzien.



figuur 2.96 Vervaardiging van filterelementen (foto CIBA)

Schaatsen

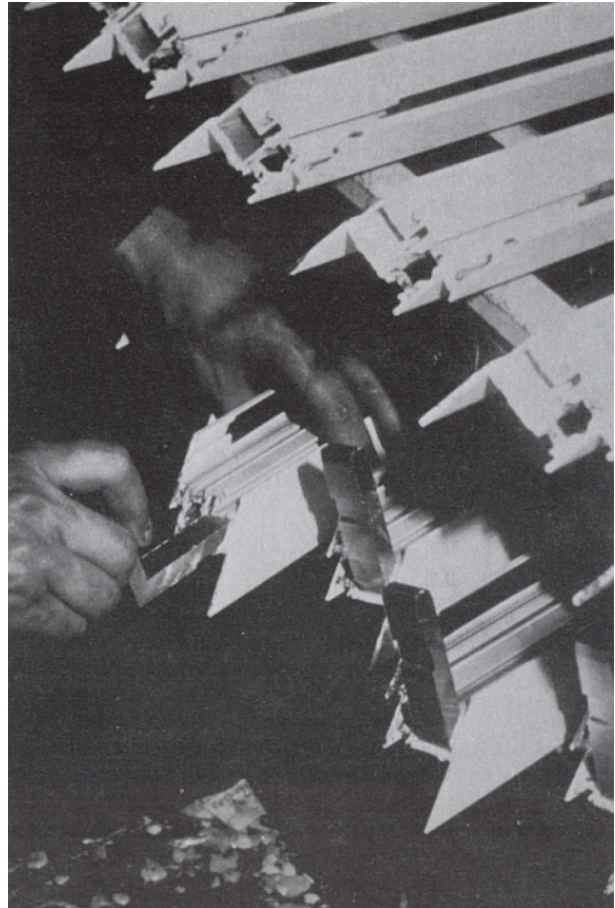
Door het toepassen van een andere constructie in combinatie met andere materialen en andere verbindingstechnieken, is een geheel nieuw type schaats ontwikkeld (zie figuur 2.97). Het lemmet van een speciale metaalsoort wordt met een ééncomponent epoxylijm aan de drager bevestigd. De lijmverbinding wordt bij een temperatuur van circa 160°C gedurende 20 minuten uitgehard, waardoor een slagvaste en chemisch bestendige verbinding wordt verkregen.



figuur 2.97 Gelijmde schaatsconstructie (foto CIBA)

Ramen en kozijnen

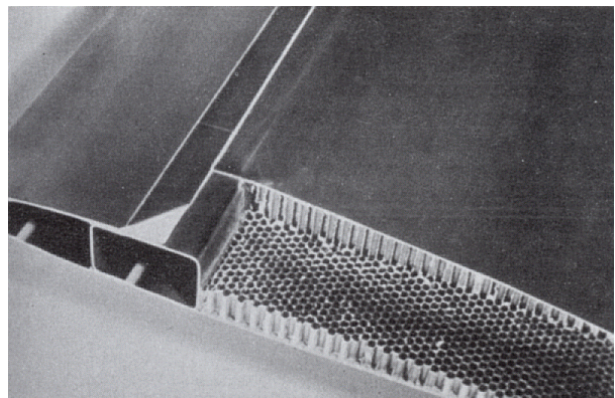
Hoekverbindingen van aluminium ramen en kozijnen worden door middel van het inlijmen van stijve hoekstukken tot stand gebracht (zie figuur 2.98). Voor dit type verbinding is een tweecomponenten epoxylijm gebruikt.



figuur 2.98 Het lijmen van raamkozijnen (foto CIBA)

Sandwichpanelen

Door toepassing van materialen met een honingraatstructuur, zoals bijvoorbeeld in dit geval aluminium, kunnen sandwichpanelen in diverse vormen met behulp van de lijmtechniek worden samengesteld. In figuur 2.99 wordt hiervan een voorbeeld gegeven van een vloerconstructie, waarbij een ééncomponent epoxylijm is toegepast.



figuur 2.99 Gelijmde sandwich-vloerconstructie (foto CIBA)

Aanrechtbladen

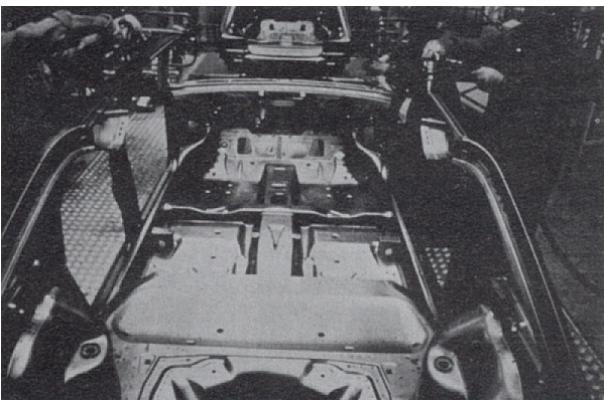
Bij deze lijmtoepping wordt in een met kunststof bekleed aanrechtblad een roestvaststalen wasbak ingelijmd (zie figuur 2.100). De lijm moet voor deze toepassing een bepaalde chemische bestendigheid bezitten en tevens verschillen in uitzetting bij temperatuurwisselingen kunnen opnemen. Hier is gekozen voor een tweecomponent epoxylijm.



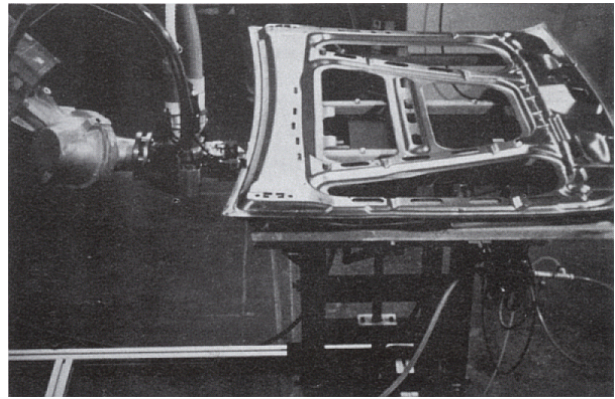
figuur 2.100 Inlijmen van een roestvaststalen wasbak in een met kunststof bekleed aanrechtblok (foto CIBA)

Automobielbouw

In de automobielbouw wordt de lijmtechniek steeds meer toegepast (zie twee voorbeelden in de figuren 2.101 en 2.102). Voor deze toepassingen wordt een ééncomponent epoxylijm gebruikt, die gelijktijdig met het lakproces wordt uitgehard. In figuur 2.101 wordt getoond hoe de lijm met de hand door middel van een lijmpistool wordt aangebracht voor het oplijmen van de dakconstructie aan de onderbouw. Figuur 2.102 laat zien hoe de lijm door middel van een lijmrobot wordt aangebracht.



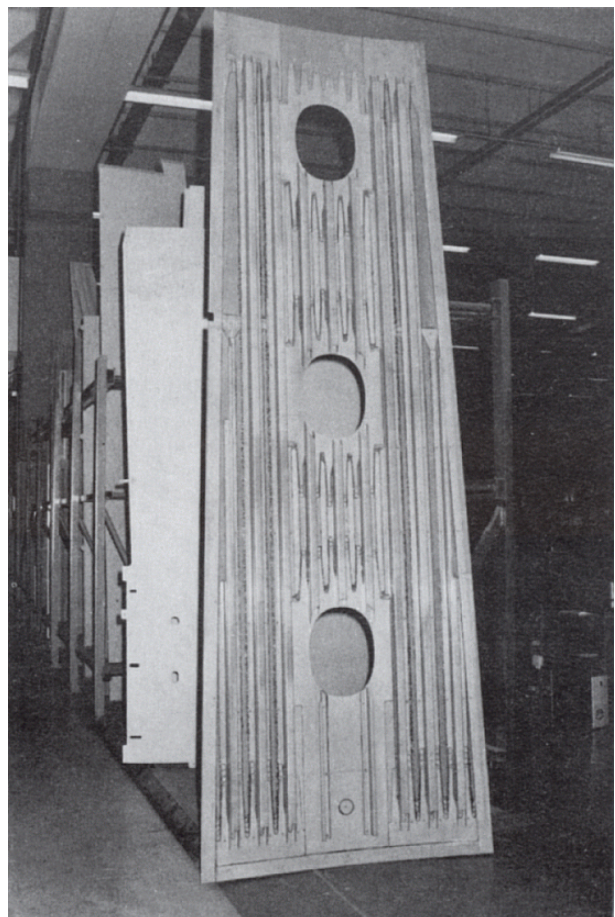
figuur 2.101 Het aanbrengen van de lijm door middel van een lijmpistool voor een dakconstructie (foto CIBA)



figuur 2.102 Het aanbrengen van de lijm door middel van een lijmrobot voor een motorkapconstructie (foto CIBA)

Vleugelpanelen (vliegtuigindustrie)

Voor het verstijven van platen kunnen profielen in diverse vormen worden opgelijmd, zoals bijvoorbeeld bij vleugelpanelen, zie figuur 2.103. Voor deze toepassing is een ééncomponent epoxylijm toegepast, die onder vacuümcondities bij verhoogde temperatuur wordt uitgehard.



figuur 2.103 Opgelijmde verstijver voor een vleugelonderdeel (foto Fokker)

Hoofdstuk 3

De keuze van het lijmtypen

De keuze van een geschikt lijmtypen voor een verbinding is geen eenvoudige zaak. De keuze moet immers niet alleen worden gemaakt op basis van de te verbinden materialen, maar ook zijn afgestemd op de eisen die worden gesteld aan sterkte, duurzaamheid, aanbrengsnelheid, uithardtijd enzovoort.

Aan de hand van de karakteristieken van de verschillende lijmsystemen, zoals beschreven in de voorlichtingspublicatie VM 86 "Lijmen algemeen - algemene inleiding in de kenmerken van de lijmtechniek en de kenmerken van lijmsystemen", kan de gebruiker zich al een beeld vormen over welke mogelijkheden er zijn voor de gewenste toepassing.

In tabel 3.1 zijn overzichten gegeven van de diverse eigenschappen zoals die aan verschillende lijmtypen kunnen worden toegeschreven. Duidelijk dient te zijn dat de tabellen een globaal overzicht verschaffen; binnen elk van de genoemde lijmen zijn er speciale typen die "sterker" of "duurzamer" zijn dan door de tabel bij het betreffende lijmtypen wordt gesuggereerd.

In tabel 3.2 is een overzicht gegeven van de lijmen die geschikt zijn om verschillende combinaties van materialen met elkaar te verbinden. Ook hier geldt weer dat de keuze en het resultaat zeer sterk worden bepaald door zaken zoals voorbehandeling, constructie en dergelijke. Zo wordt de contactlijm zeer veelvuldig genoemd, waarbij moet worden bedacht, dat dit lijmtypen vooral geschikt is voor vlakverlijming en/of laagbelaste verbindingen.

Cyanoacrylaatlijmen ("secondenlijmen", "superlijmen") worden vaak niet genoemd, ervan uitgaande dat bij de betreffende materiaalcombinaties een puntverlijming meestal niet aan de orde is. Echter, voor de meeste puntverlijmingen van de genoemde materialen zijn cyanoacrylaatlijmen zeker inzetbaar.

Kleefbanden (tapes) zijn in dit overzicht niet opgenomen, juist omdat ervan wordt uitgegaan, dat voor iedere materiaalcombinatie wel een geschikte kleefband is te vinden.

De lijmselektietabel kan dan ook vooral dienen als een ruwe indicatie voor welke materialen onderling met welke typen lijmen zijn te verbinden.

Bij metalen is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende metaalsoorten en -legeringen. De hechting van de lijm aan metalen en de duurzaamheid van die hechting is in sterke mate afhankelijk van het typen voorbehandeling. Dit geldt ook voor beklede metaalplaten (bijvoorbeeld verzinkt of van een organische deklaag voorzien).

Voorbehandelingen voor verschillende metalen en metaallegeringen staan beschreven in hoofdstuk 4 van deze publicatie. Informatie over het lijmen van beklede dunne (staal)plaat is te vinden in de betreffende inventarisatiestudie (verkrijgbaar bij het NIL).

Ook bij de kunststoffen geldt dat de kwaliteit van de lijmverbinding sterk afhankelijk van de voorbehandeling. Dit geldt zowel voor de genoemde lijmen, als voor de mogelijkheden die niet in de tabel staan vermeld, omdat hier een meer intensieve voorbehandeling nodig zou zijn dan bij de in de tabel vermelde lijmtypen.

tabel 3.2 Overzicht van de lijmen voor de diverse materiaalcombinaties

	Metalen	Hout	Glas keramiek	Textiel	Thermohardende kunststoffen	Cellulose kunststoffen	ABS	PVC, hard	PVC, week	Polyamide	Polycarbonaat	Verzadigd polyester	Polyetheen	Polyform- aldehyde	Polymethacryla- at	POM	Polypropeen	Polystyreen	Polyetra- fluoretheen	PU	Natuurrubber	Neopreen	Acrylonitri- l-rubber	Siliconrubber	Schuim, PVC	Schuim, polystyreen	Schuim, polyurethaan	
Metalen	2,3,5,6,1-3,5,7, 8-11,13,9,10,11	1,2,3, 3,5,6,9, 9,10,13 5,9,10,11,13	3,5,7,8, 9,10,13	1,2,3, 1,9,10, 10,11,12	3,5,6,9, 10,11,13	3,9,10	3,4,9, 10	3,6,8, 3,10 9,10	3,10	3,4,7, 3,4,6, 9,10 8,9,10 8,9	3,6,7, 9,10 8,9,10 8,9	3,9,10 3,7,9, 10 9	3,9,10 3,6,9, 10 9	6,9,11 4,6,9 10,11	3,6,9, 10,11	3,6,9, 10,11	3,9,10 1,2,3,6, 7,9,10 1,1,14	3,9,10 1,2,3,6, 7,9,10 1,1,14	3,6,9,10 1,1,14	3,9,10, 3,9,10, 11 1,2,3,9,1,2,3, 10,11 1,2,3,9, 10,11 1,2,3,9, 10,11	1,2,3,8,3,8,9, 10,11 10,11 10,11	3,8,9, 10,11 10,11 10,11	3,8,9, 10,11 10,11 10,11	3,9,10 3,9,10 10 1,2,3, 2,3,7, 9,10 10	3,9,10 3,9,10 10 1,2,3, 2,3,7, 9,10 10	3,7,10, 14		
Hout		1,2,3,7, 9-12	3,7,9,10, 13,14	1,2,3, 1,9,10, 10,11,12	1,2,3,9, 10,11,12	3,7,10, 14	3,9,10,3,9,14,3 14	3,9,10,3,9,14,3 14	3,9,14,3,6,9 10	3,9,14,3,6,9 10	3,7,14 3,14 10	3,7,14 3,14 10	6,9,14 3,6,9, 10,14	6,9,14 3,6,9, 10,14	3,7,9, 6,9,14 10,14	3,7,9, 6,9,14 10,14	3,6,9,10 3,14 10,14	3,7,9,10 1,2,3, 3,6,9,10 3,14 10,14	3,7,9,10 1,2,3, 3,6,9,10 3,14 10,14	3,7,9,10 1,2,3, 3,6,9,10 3,14 10,14	8,9,11 3,8,9, 14	8,9,11 3,8,9, 14	3,9,14 3,9 14	3,9,10 3,9,10 10 1,2,3, 2,3,7, 9,10 10	3,7,10, 14			
Glas, keramiek																												
Textiel																												
Thermohardende																												
Cellulose kunststoffen																												
ABS																												
PVC, hard																												
PVC, week																												
Polyamide																												
Polycarbonaat																												
Verzadigd polyester																												
Polyetheen																												
Polyformaldehyde																												
Polydimethylmethacrylaal																												
POM																												
Polypropeen																												
Polystyreen																												
Polytetrafluoretheen																												
PU																												
Natuurrubber																												
Neopreen																												
Acrylonitrilrubber																												
Siliconrubber																												
Schuim, PVC																												
Schuim, polystyreen																												
Schuim, polyurethaan																												

- 1 = dispersielijm
2 = smeltlijm
3 = contactlijm
4 = oplosmiddellijm
5 = anaërobe lijm
6 = (no-mix) acrylaallijm
7 = polyesters
8 = cyanoacrylaal
9 = epoxylijm
10 = polyurethaanlijm of
MS polymeerlijm
11 = phenolformaldehydelijm
12 = ureumformaldehydelijm
13 = anorganische lijm
14 = siliconelijm

Hoofdstuk 4

Voorbehandeling

4.1 Inleiding

Schone materialen met een goed hechtend oppervlak, of zeer licht belaste componenten, kunnen vaak zonder enige vorm van voorbehandeling worden gelijmd. Tevens wordt getracht lijmsorten te ontwikkelen, waarbij voorbehandeling van de te lijmen oppervlakken niet meer nodig is (bijvoorbeeld de anaërobe lijmen).

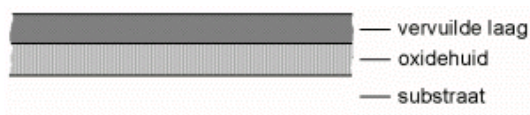
Bij het lijmen van metalen is het correct uitvoeren van een geschikte oppervlakte-voorbehandeling essentieel voor de kwaliteit van de lijmvverbinding. Verder kunnen steeds meer materialen, die voorheen niet lijmbaar waren door een slechte hechting met de lijmlaag, toch gelijmd worden door het toepassen van een geschikte voorbehandeling van het te lijmen oppervlak.

Inzicht in de achtergronden van de verschillende voorbehandelingstechnieken is dan ook onmisbaar bij het maken van hoogwaardige lijmvverbindingen.

4.2 Doel van de voorbehandeling

Het voorbehandelen van oppervlakken voor het lijmen heeft vele redenen. De belangrijkste zijn:

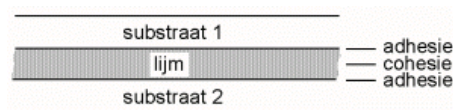
- Verwijderen, of voorkomen van de vorming van oppervlaktelagen welke een zwakke hechting met het onderliggende substraat hebben. Gebeurt dit niet, dan is de plaats waar de verbinding zal bezwijken bekend, namelijk op het grensvlak tussen de oppervlaktelaag en het substraat. Bovendien zal in dit geval de verbindingsterkte gering zijn. Voorbeelden van zulke oppervlaktelagen zijn een losliggende oxidehuid bij metallische substraten, lagen van beschermende oliën of vetten en stof vanuit de omgeving (zie figuur 4.1). Het is ook mogelijk dat zwakke oppervlaktelagen ontstaan, nadat de lijmvverbinding al is gemaakt. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij het lijmen van aluminium. De aluminium oxidehuid neemt in dit geval water vanuit de lijmlaag op en vormt hiermee een zwakke oppervlaktelaag. Om de vorming van een dergelijke oppervlaktelaag te voorkomen, is een voorbehandelingsmethode nodig die het oxide stabiliseert en zo verzwakking door omgevingsinvloeden voorkomt.



figuur 4.1 Oppervlaktelagen op een substraat

- Maximaliseren van de mate waarin intermoleculaire contacten plaatsvinden tussen de lijm en het substraat tijdens het lijmproces. Door bijvoorbeeld op ruwing van het substraattooppervlak kan het onderlinge contact tussen de lijm en een substraat worden verbeterd.
- Garanderen dat de adhesiekrachten (zie figuur 4.2) tussen de verschillende overgangen voldoende groot zijn voor het verkrijgen van de geëiste verbindingsterkte en levensduur. Voor substraatmaterialen met een hoge oppervlakte-energie is het verkrijgen van hoge adhesiekrachten relatief eenvoudig. Handhaven van deze adhesiekrachten is vaak moeilijk door de inwerking van de omgeving (vocht, stof, en dergelijke) op het oppervlak (zie punt e). Voor sub-

straatmaterialen met een lagere oppervlakte-energie kan door toepassing van hechtverbeteraars de hechting aanzienlijk worden verbeterd, niet alleen door verhoging van de adhesiekrachten, maar ook door verbetering van de fysische hechting door verhoging van de oppervlakteruwheid (punt d).



figuur 4.2 Cohesie- en adhesiekrachten

- Creëren van een bepaalde oppervlaktestructuur op het substraat. Bijvoorbeeld: een vezelachtige structuur verhoogt de verbindingsterkte.
- Beschermen van het substraattooppervlak, totdat met het lijmproces wordt begonnen. Dit wordt veelvuldig toegepast bij metalen, welke een hoge oppervlakte-energie bezitten. Wanneer een substraat een voorbehandeling heeft ondergaan, dan wordt een chemisch sterk reactief oppervlak verkregen, niet alleen voor lijm, maar ook voor stof vanuit de omgeving. In vele bedrijven geldt daarom dat na het voorbehandelen van het oppervlak lijmen binnen enkele uren moet plaatsvinden. Om toch nog enige flexibiliteit in het productieproces te behouden, wordt ter bescherming van het oppervlak vaak een primer opgebracht, nadat de voorbehandeling heeft plaatsgevonden. Een met primer behandeld oppervlak kan in sommige gevallen tot enkele maanden worden bewaard, alvorens het wordt gelijmd.

4.3 Methodes van voorbehandelen

Men kan een oppervlak mechanisch of chemisch reinigen, fysisch of chemisch behandelen, beschermen met primers of bewerken met hechtverbeteraars. Het type voorbehandeling is afhankelijk van het materiaal, de toepassing van de gelijmde component en de gebruiksomstandigheden. De verschillende voorbehandelingsmethoden worden hieronder toegelicht.

4.3.1 Ontvetten

Welke oppervlaktebehandeling men ook kiest, in het algemeen dient men te beginnen met het ontvetten van het substraattooppervlak. Als er geen hoge eisen aan de lijmvverbinding worden gesteld, is ontvetten alleen al vaak voldoende, daarom wordt ontvetten als een apart onderdeel besproken.

Vanwege strengere milieu-wetgeving zijn gechloreerde koolwaterstoffen, en dus ook dampontvettingsbaden, niet meer toepasbaar. Biologisch afbreekbare, niet-brandbare reinigingsmiddelen op waterbasis worden nu in toenemende mate toegepast; deze vergen een langere verdampingstijd.

Ontvetten kan plaatsvinden door:

- Borstelen en/of sproeien en/of afwrijven met een bevochtigde doek. Hierbij wordt gebruikgemaakt van een biologisch afbreekbaar reinigingsmiddel of een zeepoplossing;
- Ontvetten in een alkalisch afkook ontvettingsbad (door te sproeien of te dompelen), eventueel gevolgd door een elektrolytische ontvetting in een alkalisch bad ($\pm 75^\circ\text{C}$). Na de ontvetting worden de componenten achtereenvolgens gespoeld in leidingwater en demi-water en vervolgens gedroogd.
- Een combinatie van deze beide methoden, waarbij ontvettingsmethode a. het eerst wordt uitgevoerd.
- Voor kleinere oppervlakken: Bevochtigde doek met Isopropyl alcohol (IPA), nawrijven met een schone droge doek.

4.3.2 Mechanische voorbehandeling

Voorafgaand aan de mechanische voorbehandeling dient men te ontvetten. Op deze wijze voorkomt men dat oppervlakteverontreinigingen door de mechanische bewerking diep in de oppervlaktestructuur komen. Er zijn vier algemeen gebruikte systemen voor een mechanische oppervlaktebehandeling, namelijk gritstralen, slijpen, schuren en borstelen. De keuze van het te gebruiken systeem is afhankelijk van het metaal (zie hiervoor de betreffende keuzetabel, tabel 4.1). Na het opruwen dient men het oppervlak te ontdoen van schuurstof of straalmiddel. Dit kan gebeuren door afvegen met het oorspronkelijk gebruikte ontvettingsmiddel, of door schoonspuiten met olievrije perslucht.

Het resultaat van mechanische oppervlaktebehandeling is drieledig:

- ▶ het verwijderen van zwakke grenslagen (bijvoorbeeld een oxidehuid);
- ▶ opruwing van het oppervlak en daardoor een sterkere mechanische verankering;
- ▶ verhoging van de moleculaire activiteit van het te verlijmen oppervlak door oppervlaktevergroting.

Het door het opruwen verkregen oppervlak kan naargelang de gebruikte korrelgrootte en methode, variëren van een ruwe structuur met bramen en relatief weinig inkervingen per oppervlakte-eenheid, tot een zeer fijn patroon met veel inkervingen.

Het eerste voorbeeld komt voor bij grove schuurbanden en slijpstenen en is goed voor een optimale mechanische verankering.

Het tweede voorbeeld vindt men bij borstelen met de zogenaamde 3-dimensionale schuurmaterialen of "non-wovens", een bekende merknaam is Scotch-Brite, dit geeft de beste moleculaire hechting. De korrelgrootte 120 wordt het meest toegepast bij dit soort van bewerkingen. Men dient hierbij rekening te houden met het dragermateriaal.

Bij toepassing van schuur- en slijpmiddelen dient men rekening te houden met het afstompingseffect, reden waarom deze middelen van een "zachte" soort moeten zijn. Dit speelt geen rol bij gritstralen en borstelen.

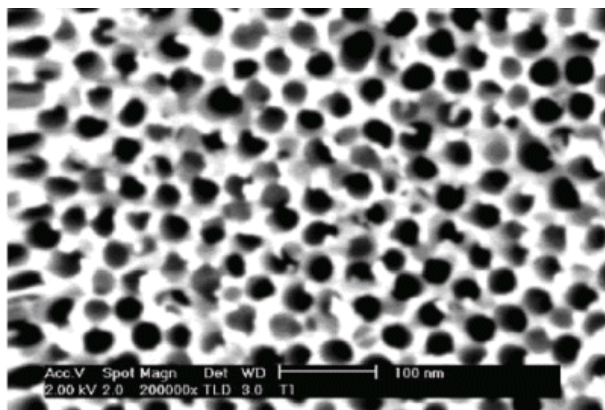
Het opgeruwde oppervlak dient direct te worden verlijmd of, indien dit niet mogelijk is, te worden beschermd door bijvoorbeeld een primerlaag. Dit ter voorkoming van vorming van nieuwe oxidelagen op het zeer actieve oppervlak. Men dient er tevens voor te waken uitsluitend schone schuur-, slijp- en gritmaterialen in te zetten, daar anders het middel erger is dan de kwaal.

tabel 4.1 Keuzetabel mechanische voorbehandeling

	vorm werkstuk	stralen*	slijpen	scuren*	borstelen
kleine serie's (handdoorvoer)	vlak		X	X	
	geprofileerd	X			X
	rondingen	X			X
	buizen				X
grote serie's (machinale doorvoer)	vlak			X	X
	geprofileerd	X			X
	rondingen	X			X
	buizen		X	X	
* straal- en schuurmiddel:					
Aluminium Oxide	Silicium Carbide				
staal	gietijzer				
roestvast staal	lood				
brons	koper				
aluminium	messing				
	magnesium				
	hardmetaal				
	titaan				

4.3.3 Chemische behandeling

In veel gevallen is ontvetten en daarna mechanisch reinigen gevolgd door weer ontvetten al voldoende voor het verkrijgen van de geëiste verbindingsterkte. Sommige substraatmaterialen eisen echter meer complexe behandelingsmethoden om een verbinding met voldoende sterkte of chemische resistentie tot stand te brengen. Voor bijna alle substraten met een hoge oppervlakte-energie geldt, dat de grootste duurzaamheid (tegen water) wordt bereikt, als er een chemische behandeling heeft plaatsgevonden. Een aantal chemische behandelingen is etsen, beitsen en anodiseren. In figuur 4.3 is de invloed van een anodiseerbehandeling gegeven op de oppervlaktestructuur van aluminium.



figuur 4.3 SEM opname van een geanodiseerd aluminium oppervlak

Etsen

Met een etsbehandeling kan de oppervlaktestructuur van het materiaal worden aangepast, zodat een betere mechanische adhesie wordt verkregen. Met het etsen wordt hoofdzakelijk het basismateriaal aangetast.

Beitsen

Een beitsbehandeling wordt toegepast om de walshuid of de aanwezige oxiden te verwijderen. Het beitsen vindt plaats in tamelijk sterke zuren of basen, welke echter vaak ook het materiaal zelf aantasten. De voorgeschreven tijdsduur van de beitsbehandeling moet dan ook goed worden nageleefd (overbeitsen).

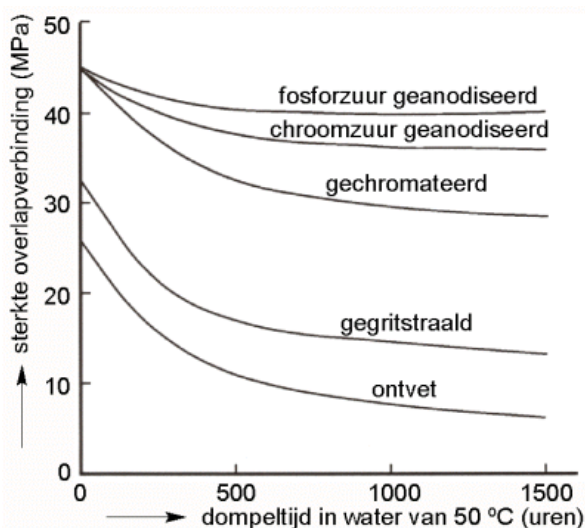
Anodiseren

Anodiseren wordt vooral bij aluminiumlegeringen toegepast als een vervolgbehandeling na het beitsen en ter verbetering van de duurzaamheid van de lijmverbinding. De bedoeling is om een oxidehuid te vormen die microporeus is. Het poreuze oppervlak zorgt voor een goede fysische hechting van de lijm. Twee voorbeelden van een oppervlaktestructuur, verkregen door het anodiseren, zijn in figuur 4.3 gegeven.

In § 4.4 zijn voor een aantal veelgebruikte metalen overzichten gegeven van geschikte chemische behandelingen. Figuur 4.4 laat de invloed zien van het voorbehandelen van metaal (aluminium) op de duurzaamheid van de gelijmde verbinding.

4.3.4 Plasma behandelen (fysische behandeling)

Een plasma bestaat uit atomen, moleculen, vrije elektronen en metastabiele deeltjes. Het genereren van een plasma kan in lucht plaatsvinden (het zogenaamde corona-ontladen) of bij gereduceerde druk (het zogenaamde gloei-ontladen). In beide gevallen worden de plasmadeeltjes in een hogere atomaire energietoestand gebracht, zelfs zo hoog dat moleculen dissociëren (splitsen in afzonderlijke atomen) en dat atomen worden



figuur 4.4 Invloed van het voorbehandelen van metaal (aluminium) op de duurzaamheid van een gelijmde verbinding

geïoniseerd. De temperaturen waarbij deze effecten optreden zijn in het algemeen hoog en afhankelijk van de toegepaste drukken.

Afhankelijk van het te behandelen substraatmateriaal en de uiteindelijk te gebruiken lijmsort, zijn er meerdere mogelijkheden om een plasma te gebruiken. Deze mogelijkheden zijn schoonmaken en etsen (met als alternatieve methode het schoonmaken op basis van UV/ozon), het polymeriseren van een primer aan een substraattoepervlak, ionenimplantatie en het plasma sprayen. Elk van deze mogelijkheden zal nu kort worden toegelicht.

Schoonmaken en etsen

De plasmadeeltjes hebben genoeg energie om een verontreiniging met een laag moleculair gewicht (bijvoorbeeld organische verontreinigingen) te verwijderen. Het plasma kan bovendien het substraattoepervlak etsen, dit komt het schoonmaakproces ten goede en verbetert de oppervlaktestructuur. In de literatuur wordt vermeld dat een plasmabehandeling heel goed te gebruiken is om zwavel- en koolstofverontreinigingen te verwijderen en dat ze zelfs effectiever is dan het reinigen met bijvoorbeeld 1,1,1-trichloorethaan. De verbindingsterkte na een plasmabehandeling is in vele gevallen hoger dan de verbindingsterkte verkregen na mechanische reiniging. Belangrijk is dat een verbinding toegepast in een vochtige omgeving na een plasmavoorbehandeling minder duurzaam is dan een chemisch voorbehandelde verbinding.

Naast de eerder genoemde corona behandeling bestaat er ook de "open air" plasmamethode. Deze heeft als voordeel dat geen vacuümkamer (wat de toepassing limiteert tot kleinere producten) nodig is. Bij de "open air" plasmamethode wordt een plasma opgewekt in een plasmajet waarmee het oppervlak wordt bestraald.

UV/ozon reiniging

Een alternatieve methode om schoon te maken is op basis van UV/ozon. Hierbij wordt het oppervlak belicht met kortgolvig UV-licht, waarbij de koolstof-koolstof bindingen waaruit organische vervuiling voornamelijk is opgebouwd, worden verbroken als gevolg van een bombardement met de hoge energie lichtquanta. De simultane blootstelling aan het instabiele ozon levert een geleidelijke oxidatie van de organische vervuiling. De reiniging kan, afhankelijk van de lichtintensiteit en

ozonconcentratie, tot enige minuten in beslag nemen. Ook lasersystemen, met weliswaar een ander licht-spectrum maar wel dezelfde reinigende werking, zijn in de handel verkrijgbaar.

Het polymeriseren van een primer aan een substraattoepervlak

Het plasmapolymeriseren van een primer kan ten opzichte van thermisch polymeriseren enkele voordelen opleveren. Het substraattoepervlak wordt gereinigd door de plasmadeeltjes. Verder kan de dikte van de neergeslagen primerlaag beter worden gecontroleerd. Een feit blijft wel dat het een dure methode is, die niet snel tijdens het productieproces zal worden toegepast, tenzij de voordelen ten opzichte van andere processen enorm zijn.

Ionen-implantatie

De structuur van een substraattoepervlak kan worden aangepast door met een plasmabehandeling vreemde atomen in het oppervlak te implanteren. Het atoom (of soms, ion) kan direct of indirect in het oppervlak worden geïmplanteerd. In het laatste geval wordt eerst een dunne film van een primer op het substraat gebracht. Vervolgens wordt deze laag met inerte argon-atomen of stikstofmoleculen beschoten, waardoor de atomen van de filmlaag in het substraattoepervlak worden gedrongen. De hechting tussen de door plasma gepolymeriseerde primer en het substraattoepervlak kan zo worden verbeterd.

Plasma sprayen

Het plasma sprayen is een proces dat wordt gebruikt om metaalsubstraten van een metallische of keramische deklaag te voorzien. Hiertoe wordt een poeder geïnjecteerd in de plasmajet.

Het poeder wordt zeer snel verwarmd en versneld om een stroom van vloeibare deeltjes te produceren, welke op het substraat is gericht. De snelheid waarmee de deeltjes op het substraat botsen is zeer hoog (100-400 m/s). De thermische condities zijn zodanig, dat zelfs hittebestendige materialen zoals ZrO_2 , Al_2O_3 , molybdeen of wolfram met succes worden neergeslagen.

De hechting van de coating aan het substraat moet goed zijn. Voor laag gelegeerd staal of aluminiumlegeringen heeft onderzoek aangetoond dat dit wel het geval is, voor andere materialen is dit nog niet aangetoond. Plasma sprayen als voorbehandeling bij het lijmen zal verder moeten worden onderzocht, voordat deze methode op grote schaal kan worden toegepast.

In het algemeen geldt dat het plasmabehandelen niet vaak wordt gebruikt, omdat de technieken bewerklijker zijn en meer ervaring vereisen dan mechanisch of chemisch behandelen. Vaak is ook de kostprijs van een plasmabehandeling hoger dan van een mechanische of chemische behandeling.

4.3.5 Voorbehandelen met primers

Doel van primers

Het gebruik van primers bij het voorbehandelen van substraten is van toenemend belang bij industriële lijmtoeepassingen. De belangrijkste redenen voor het toepassen van primers als enige vorm van voorbehandeling of als laatste stap van een voorbehandelings-schema zijn:

1. Het verbeteren van de lijmverbinding als geheel

Primers met verschillende functies zijn in deze categorie onder te verdelen in:

a. Primers die de bevochtiging van de lijm op het substraat verbeteren

Neem bijvoorbeeld hoge temperatuur lijmen. Deze lijmen bevochtigen slecht, omdat de viscositeit

van de lijm tijdens het lijmproces hoog blijft. Om de bevochtiging te verbeteren, zijn er primers ontwikkeld die bestaan uit een lijm, opgelost in een vluchtig oplosmiddel. Met deze primers kan men de te lijmen oppervlakken goed bevochtigen. Tijdens een pre-"cure" stap, waarbij de lijm gedeeltelijk uithardt, verdampt het oplosmiddel. Hierna wordt een lijmlaag aangebracht die de te lijmen delen verbindt.

- b. *Primers die worden gebruikt om moeilijk lijmbare materialen toch te kunnen lijmen*
Het doel van deze primers is om een laag aan te brengen die zowel aan substraatmateriaal als aan de lijm goed hecht. Een voorbeeld van zo'n primer is een nylon- of benzotriazole primer die wordt gebruikt bij het lijmen van koper.
- c. *Primers die de duurzaamheid van een lijmverbinding verhogen*
Dit soort primers vormen sterke en vochtwerende verbindingen die het substraattoepervlak tegen vocht en oxidatie beschermen. Voor dit doel worden vaak primers gebruikt met een samenstelling op basis van fenolen, silanen, chromaten en fosfaten.

2. Het verhogen van de flexibiliteit tijdens het productieproces

Zoals al eerder is besproken, zullen substraten met een hoge oppervlakte-energie gemakkelijk door atmosferische verontreinigingen worden vervuild. Na een bepaalde blootstellingstijd kan dit zelfs leiden tot een geweldige afname van vooral de duurzaamheid van een lijmverbinding.

Een blootstellingstijd van enkele uren in het geval van chemisch voorbehandelde oppervlakken, kan al voldoende zijn om het oppervlak te verontreinigen. Om ervoor te zorgen dat voorbehandelde oppervlakken niet meteen behoeven te worden gelijmd, kan er een primer worden aangebracht, die het substraat tegen vervuiling beschermt.

De primers moeten direct na het reinigen worden aangebracht. Na het drogen zijn deze primers heel gemakkelijk te behandelen en kunnen de behandelde substraten soms maandenlang worden bewaard alvorens te worden gelijmd. De primers hebben meestal een samenstelling op basis van epoxy's, polyurethanen of fenolen en bevatten bovendien de componenten die de weerstand van een lijm tegen omgevingsinvloeden verhogen.

Soorten primers

a. Silaanprimers

Er zijn verschillende soorten primers ontwikkeld, waarvan de silaanprimers de oudste en de meest wijdverbreide zijn. In tabel 4.2 is een overzicht gegeven van commercieel verkrijgbare silaanprimers.

tabel 4.2 Overzicht commercieel verkrijgbare silaanprimers

Functionele groep	Chemische structuur
Vinyl	$\text{CH}_2\text{-CHSi}(\text{OCH}_3)_3$
Chloropropyl	$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
Glycidoxyl	$\text{CH}_2\text{CH}(\text{O})\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
Methacrylaat	$\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
Amine	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
Diamine	$\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
Mercapto	$\text{HSCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$
Styryl	$\text{CH}_2 = \text{CHC}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3\cdot\text{HCl}$

De silaanprimers worden gebruikt om de weerstand tegen omgevingsinvloeden te verbeteren. De primers worden meestal in de vorm van een waterige oplossing aangebracht. De dikte van de silaanprimers bedraagt dan 2-100 μm . Dikkere lagen geven een afname van de weerstand. De primers zijn geschikt voor vele substraatmaterialen, waaronder glas, silicium, koper-, staal-, aluminium- en titaniumlegeringen. Er zijn drie mechanismen mogelijk die het gedrag van silaanprimers op lijm en substraatmateriaal beschrijven.

1. De silaanprimer behoudt na aanbrengen een aantal reactieve groepen die een verbinding met de lijmlaag tot stand brengen.
2. De silaanprimer heeft een open structuur, waarin de nog vloeibare lijm kan penetreren.
3. Tengevolge van diffusie ontstaat een verbinding tussen silaanprimer en lijm.

Voor het kiezen van de juiste silaanprimer is de kennis volop aanwezig.

b. Overige primers

Naast de silaanprimers zijn er ook nog primers gebaseerd op organische titanaten, organische zirkonaten, organische zirkoniumaluminaten en chroomcomplexen. De eerste drie worden vooral bij kunststoffen toegepast. De chroomcomplexen worden toegepast bij het lijmen van aluminiumfolie, om de sterkte en de duurzaamheid van aluminium/polyethyleen overgangen te verhogen.

Andere primers zijn gebaseerd op mercapto-esters en benzotriazolen. De eerste soort wordt vooral bij staal toegepast en de tweede vooral bij moeilijk lijmbare materialen zoals koper, zilver en cadmium. In het laatste geval worden sterkte en duurzaamheid verhoogd.

Primers die vooral in de vliegtuigindustrie worden toegepast zijn op basis van fenolen en epoxy's, die al dan niet gechromateerd zijn. Ze hebben vooral ten doel de voorbehandelde aluminiumlegeringen vóór het lijmen te conserveren.

Deze primers worden geheel of gedeeltelijk uitgehard, om er onder andere voor te zorgen dat de materialen niet meer kleven bij vervoer en opslag.

Keuze van primers

De keuze van een primer is afhankelijk van het te lijmen materiaal en de beoogde toepassing van de gelijmde component. Wordt de component bijvoorbeeld in een vochtige omgeving gebruikt, dan moet een primer worden gekozen die de verbinding minder gevoelig of ongevoelig maakt voor vocht. Moet een materiaal worden gelijmd dat moeilijk hecht aan de lijmlaag, dan is er een primer nodig die zowel aan de lijm als aan het substraat goed hecht. Aangezien er vele soorten primers zijn, met vele verschillende toepassingen, is het raadzaam de bijgevoegde literatuurlijst door te nemen voor het maken van een verantwoorde keuze.

4.4 Toepassingen chemische behandelingen voor metalen

Op de navolgende pagina's zijn voor diverse metalen overzichten gegeven van de chemische behandelingen.

Opmerkingen vooraf:

- ▶ Vele van de nu beschreven baden voor het chemisch behandelen zijn commercieel verkrijgbaar in allerlei soorten verpakkingen van verschillende afmetingen. Het is daarom verstandig de kosten en moeite van het zelf aanmaken van een bad af te wegen tegen de kosten en het gemak van een commercieel verkrijgbaar bad.
- ▶ Raadpleeg voor het zelf aanmaken van een bad altijd een chemicus in uw bedrijf, om u op de hoogte te stellen van de te volgen werkwijze en de te verwachten problemen. Begin nooit zonder enige voorkennis aan het zelf aanmaken van een bad. Er wordt gewerkt met sterke zuren of basen, die bij verkeerd gebruik gevaarlijk voor de gezondheid kunnen zijn.
- ▶ Altijd een zuur bij het water voegen, nooit andersom!
- ▶ Zuur al roerende langzaam bij het water gieten.
- ▶ Lees eerst de bereidingswijze voor de baden die onderaan de tabel zijn vermeld.
- ▶ De in de tabellen gegeven temperaturen en tijden zijn richtlijnen. Per geval moet worden bekeken welke temperatuur en tijd het beste resultaat geven.
- ▶ Vele van de nu beschreven baden staan ook in de ASTM-norm D2651 vermeld.

Aluminium en aluminiumlegeringen

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	1) chroomzuur-etsen demi-water 1 liter zwavelzuur (H ₂ SO ₄) (geconc.) 300 gr. natriumdichromaat (Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O) 60 gr. AA2024 1,5 gr. opmerking: AA2024 is een aluminiumlegering met als voor- naamste legeringselement Cu (totaal 3,8-4,9 gew.%)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ets het metaal gedurende 12 à 15 minuten in een bad met temperatuur van 60 - 65 °C. ▶ onmiddellijk 5 minuten lang afspoelen met leidingwater, gevolgd door afspoelen met demi-water ▶ grondig drogen bij een temperatuur van 50-60 °C. ▶ lijm of primer binnen 4 uur aanbrengen.
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	2) fosforzuur anodiseren fosforzuur (H ₃ PO ₄ (75%)) 125 gr. demi-water 1 liter	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Etsen van het metaal volgens behandeling 1. ▶ Anodiseren bij een temperatuur van 25 ± 2 °C. ▶ Geleidelijk opvoeren van het voltage naar 15 V in 25 min. ▶ Metalen delen uit bad halen met spanning erop. ▶ Afsluiten van stroom en onmiddellijk gedurende 15 min. spoelen met demi-water. ▶ Grondig drogen bij een temperatuur tot 70 °C. ▶ Lijm of primer binnen 4 uur aanbrengen.
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	3) chroomzuur anodiseren CrO ₃ 5% oplossing in water.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Etsen van het metaal volgens behandeling 1. ▶ Anodiseren bij een temperatuur van 40 ± 2 °C met RVS kathoden. ▶ Geleidelijk opvoeren van het voltage van 0-40 V in 10 minuten, daarna 20 minuten op 40 V, vervolgens in 5 minuten van 40 naar 50 V, daarna 5 minuten op 50 V en zo snel mogelijk de metalen delen uit het bad halen en de spanning terug naar 0 V. ▶ Onmiddellijk 5 min. lang afspoelen met leidingwater gevolgd door afspoelen met demi-water.

Bereidingswijze bad 1
Los het natriumdichromaat in een groot deel van het water op, voeg daarna het zwavelzuur toe - nooit andere volgorde! - roer voorzichtig en voeg de nog resterende hoeveelheid water toe. Als laatste het aluminium toevoegen.

Bereidingswijze bad 2
Het fosforzuur al roerende langzaam bij het demi-water gieten.

Bereidingswijze bad 3
Een zodanige hoeveelheid chroomzuur in demi-water oplossen, dat een 5% oplossing wordt verkregen.

Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8

Staal

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	etsen in zoutzuur (HCl) (35%) 1 gew. deel demi-water 1 gew. deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in HCl-bad van 25 °C gedurende 3 à 10 minuten. ▶ Grondig afspoelen met demi-water. ▶ Drogen bij een temperatuur van 65 °C gedurende 10 minuten. ▶ Onmiddellijk lijmen om roestvorming te voorkomen.

Bereidingswijze
Het zoutzuur al roerende langzaam bij het demi-water gieten.

Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8

Roestvast staal

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten	1) natriummetasilicaat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 2,5 gew.deel natriumpyrofosfaat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 1,1 gew.deel natronloog (NaOH) 1,1 gew.deel bevochtiger (bijv.ethersulfaat) 0,3 gew.deel demi-water 95 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad van 70-80 °C gedurende 10 minuten. ▶ Grondig afspoelen met leidingwater, gevolgd door afspoelen met demi-water, drogen bij een temperatuur van 95 °C gedurende 10 minuten. ▶ Onmiddellijk lijmen.
	2) Voor gebruik bij hoge temperaturen behandeling 2) op behandeling 1) laten volgen. oxaalzuur ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) 1 gew.deel zwavelzuur (H_2SO_4) (geconc) s.m. 1,86 1 gew.deel demi-water 8 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Na uitvoeren van behandeling 1) onderdompelen in bad van 85-95 °C gedurende 10 minuten. ▶ Afspoelen met leidingwater, zwarte aanslag met schone borstel wegvegen. ▶ Afspoelen met demi-water. ▶ Grondig drogen bij een temperatuur van 95 °C gedurende 10 à 15 minuten.
	3) Verhoging van de weerstand tegen afpellen, behandeling 3) op behandeling 1) laten volgen. natriumdichromaat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 3,5 gew.deel demi-water 3,5 gew.deel zwavelzuur (H_2SO_4) (geconc) s.m.1,86 200 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Na uitvoeren van behandeling 1) onderdompelen in bad van 60-70 °C gedurende 15 minuten. ▶ Afspoelen met leidingwater, aanslag met een schone borstel afvegen. ▶ Afspoelen met demi-water. ▶ Grondig drogen bij een temperatuur van 95 °C gedurende 10 à 15 minuten.

Bereidingswijze bad 1
Neem 95 gewichtsdelen demi-water. Los achtereenvolgens op natronloog, natriumpyrofosfaat en natriummetasilicaat. Voeg als laatste de bevochtiger toe.

Bereidingswijze bad 2
Het oxaalzuur al roerende oplossen in het demi-water en pas daarna al roerende het zwavelzuur bij de oplossing gieten.

Bereidingswijze bad 3
Los het natriumdichromaat in een groot deel van het demi-water op, voeg daarna het zwavelzuur toe - nooit andere volgorde! - roer voorzichtig en voeg de nog resterende hoeveelheid demi-water toe.

Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8

Titaan en titaanlegeringen

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	1) natriummetasilicaat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) 2,5 gew.deel natriumpyrofosfaat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 1,1 gew.deel natronloog (NaOH) 1,1 gew.deel bevochtiger (bijv.ethersulfaat) 0,3 gew.deel demi-water 95 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad van 70-80 °C gedurende 10 minuten. ▶ Afspoelen met demi-water. ▶ Drogen bij een temperatuur van 65-95 °C gedurende 10 à 15 minuten.
	2) Voor sterkere lijmverbindingen natriumfluoride (NaF) 10 gew.deel chromoxide (Cr_2O_3) 5 gew.deel demi-water 250 gew.deel zwavelzuur (H_2SO_4) (geconc.) 50 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad gedurende 5 à 10 minuten. ▶ Afspoelen met demi-water. ▶ Drogen bij een temperatuur van 70-80 °C gedurende 10 à 15 minuten.

Bereidingswijze bad 1
Neem 95 gewichtsdelen demi-water. Los achtereenvolgens op het natronloog, het natriumpyrofosfaat en het natriummetasilicaat. Voeg als laatste de bevochtiger toe.

Bereidingswijze bad 2
Los het chromoxide op in het demi-water. Voeg daarna het natriumfluoride toe. Als laatste het zwavelzuur al roerende langzaam bij de oplossing gieten.

Opmerking: Maak gebruik van een polyethyleen werkvat. Glas wordt door de oplossing aangetast.

Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8

Koper en koperlegeringen

Schoonmaken	Behandeling	Methode	
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	1) ijzerchloride (FeCl_2) (42%) salpeterzuur (HNO_3) (s.m. 1,41) demi-water	15 gew.deel 30 gew.deel 197 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad van 25 °C gedurende 1 à 2 minuten. ▶ Onmiddellijk geforceerd drogen met lucht bij kamertemperatuur.
	2) ammonium persulfaat ($\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ demi-water	1 gew.deel 4 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad van 20 °C gedurende 30 seconden. ▶ Grondig afspoelen met demi-water. ▶ Onmiddellijk drogen bij kamertemperatuur.
	3a) ijzer (III) sulfaat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) zwavelzuur (H_2SO_4) (95%) demi-water	1 gew.deel 0,75 gew.deel 10 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad 3a) van 65 °C gedurende 10 minuten. ▶ Afspoelen met leidingwater.
	3b) natriumdichromaat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) zwavelzuur (H_2SO_4) (95%) demi-water	5 gew.deel 10 gew.deel 85 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad 3b) gedurende 10 minuten. ▶ Afspoelen met leidingwater.
	3c) natronloog (NaOH) (s.m. 0,88)		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad 3c) gedurende 5 seconden. ▶ Afspoelen met demi-water. ▶ Drogen met warme lucht (föhn).

Bereidingswijze bad 1
Het salpeterzuur al roerende langzaam bij het water gieten en pas daarna het ijzerchloride hieraan toevoegen.

Bereidingswijze bad 2
Het ammonium persulfaat al roerende langzaam oplossen in het demi-water.

Bereidingswijze bad 3a
Het ijzer(III) sulfaat al roerende langzaam oplossen in het demi-water. Daarna het zwavelzuur al roerende langzaam bij de oplossing gieten.

Bereidingswijze bad 3b
Los het natriumdichromaat in een groot deel van het demi-water op, voeg daarna het zwavelzuur toe - nooit andere volgorde! - Roer voorzichtig en voeg de nog resterende hoeveelheid water toe.

Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8

Zinklegeringen en verzinkte materialen

Schoonmaken	Behandeling	Methode	
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	1) zoutzuur (HCl) (geconc.) demi-water	20 gew.deel 80 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad van 25 °C gedurende 2 à 4 minuten ▶ Grondig afspoelen met demi-water. ▶ Drogen bij een temperatuur van 65-70 °C gedurende 20 à 30 minuten. ▶ Lijm zo snel mogelijk aanbrengen.
	2) zwavelzuur (H_2SO_4) (93%, s.m. 1,84) natriumdichromaat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) demi-water	2 gew.deel 1 gew.deel 8 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad van 40 °C gedurende 3 à 6 minuten. ▶ Afspoelen met leidingwater en daarna met demi-water. ▶ Drogen bij temperatuur van 40 °C.
	3) natronloog (NaOH) 5%		<ul style="list-style-type: none"> ▶ Onderdompelen in bad gedurende 1 à 5 minuten. ▶ Afspoelen met leidingwater gevolgd door afspoelen met demi-water. ▶ Drogen.

Bereidingswijze bad 1
Het zoutzuur al roerende langzaam bij het demi-water gieten.

Bereidingswijze bad 2
Los het natriumdichromaat in een groot deel van het demi-water op, voeg daarna het zwavelzuur toe - nooit andere volgorde! - Roer voorzichtig en voeg de resterende hoeveelheid demi-water toe.

Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8

Gecadmeerde plaatmaterialen

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten	Elektrolytisch bekleden met zilver (cyanidisch zilverbad) of nikkel (Watt's nikkelbad) (voor maximale sterkte).	► Nogmaals ontvetten.
Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8		

Gechromateerde plaatmaterialen

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	etsen in: zoutzuur (HCl) (37%) demi-water 17 gew.deel 20 gew.deel	<ul style="list-style-type: none"> ► Onderdompelen in bad van 90-95 °C gedurende 1 à 5 minuten. ► Afspoelen met leidingwater en daarna met demi-water. ► Drogen in hete lucht.
Bereidingswijze Het zoutzuur al roerende langzaam bij het demi-water gieten.		
Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8		

Vernikkelde materialen

Schoonmaken	Behandeling	Methode
ontvetten in: alkalische zeepoplossing	etsen in: salpeterzuur (HNO ₃) (67%) s.m. 1,41	<ul style="list-style-type: none"> ► Afspoelen met heet leidingwater, gevolgd door afspoelen met koud leidingwater. ► Afspoelen met demi-water. ► Drogen in lucht van 40 °C.
Bereidingswijze Het salpeterzuur al roerende langzaam bij het demi-water gieten.		
Zie ook de veiligheidsadviezen in hoofdstuk 8		

Hoofdstuk 5

Aanbreng- en verhardingstechnieken

5.1 Het aanbrengen van de lijm

De wijze van aanbrengen van de lijm hangt af van:

- ▶ Het product dat moet worden gelijmd:
 - formaat;
 - aantallen;
 - kwaliteitseisen;
 - vervolgproces.
- ▶ De leveringsvorm van de lijm:
 - vloeibaar;
 - als pasta;
 - vast (staaf, pil, poeder, film);
 - ééncomponent, meercomponenten.
- ▶ Eisen/normen qua milieu.

5.1.1 Het aanbrengen van vloeibare lijm

Vloeibare lijmen kunnen worden aangebracht door:

- ▶ kwasten;
- ▶ strijken (rakelen);
- ▶ gieten;
- ▶ dompelen;
- ▶ drukken;
- ▶ met behulp van hand- of luchtdrukbevestigde cartouchepistolen;
- ▶ automatische hoge-drukpistolen;
- ▶ lijmrollen en lijmwalzen;
- ▶ spuiten;
- ▶ gebruik van meng- en/of doseerapparaten.

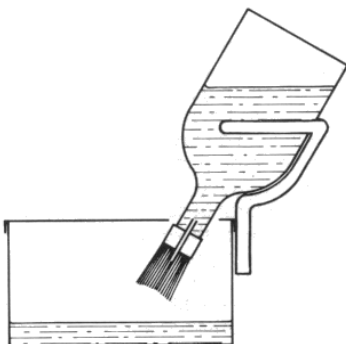
Kwasten

Het werken met kwasten is eenvoudig. De lijm kan precies daar worden opgebracht waar dat nodig is. Het gelijkmatig aanbrengen van de lijm met de gewenste laagdikte is een kwestie van ervaring en afhankelijk van de eigenschappen van de lijm. De viscositeit van de lijm is bepalend voor de stijfheid van de te gebruiken kwast. Een dunne lijm kan met een "slappe", langharige kwast worden aangebracht. Een dikke lijm vereist daarentegen een "stugge", kortharige kwast.

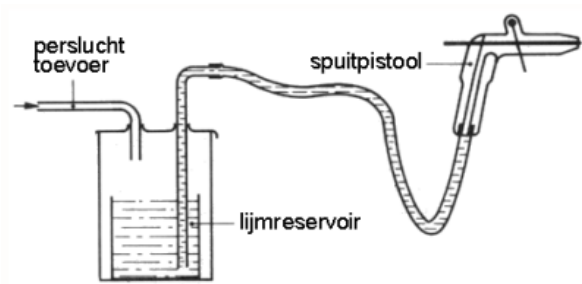
Correctie van de strijkeigenschappen van lijmen is mogelijk met speciale verdunners. Overleg daaromtrent met de leverancier. Met name bij het gebruik van verdunners voor de lijm dient rekening te worden gehouden met de persoonlijke bescherming.

Behalve door dompelen van de kwast, kan men de lijm ook toevoeren door een doorboorde kwast (figuur 5.1). Toevoer kan ook plaatsvinden via een slang vanuit een drukvat (figuur 5.2). Dit principe wordt ook toegepast bij het aanbrengen van lijmprimers. Op het drukvat dient een beveiliging tegen overdruk aanwezig te zijn.

Voor massawerk komt het met de hand kwasten nauwelijks in aanmerking.



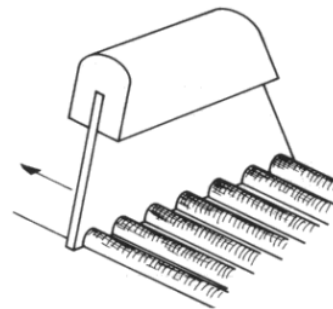
figuur 5.1 Lijmkwast met reservoir waarin oplosmiddel



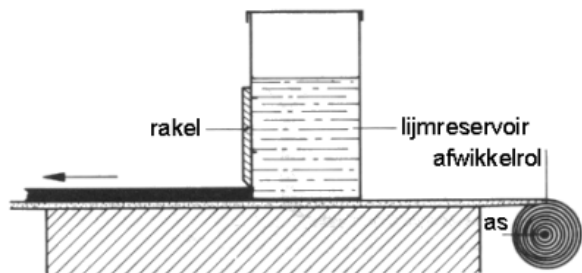
figuur 5.2 Drukvat met drukspuit (spuittechniek)

Strijken (rakelen)

Strijkmessen zijn bijzonder geschikt voor platte oppervlakken. Men onderscheidt messen met een rechte en met een geprofileerde strijkkant (lijmkam, figuren 5.3 en 5.4).



figuur 5.3 Rakel



figuur 5.4 Rakelen van lijm op folie

Heeft het strijkmes een rechte strijkkant, dan moet het mes of het te belijmen oppervlak zorgvuldig worden geleid voor het verkrijgen van een gelijkmatige lijm-laag. In geval van een geprofileerde strijkkant mag het strijkmes op het oppervlak rusten, waarbij de lijm tussen de profielopeningen doorstroomt. De geleiding is dan geen probleem, maar wel is een zeer goed vloeiende lijm nodig. Strijkmessen zijn vooral geschikt voor lijmsoorten die matig tot dikvloeibaar of thixotroop zijn.

Opmerking:

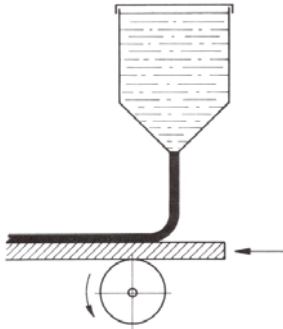
Een thixotrope lijm is een dikvloeibare lijm, die door roeren of uitstrijken dunvloeibaar wordt. Deze eigenschap is in regel omkeerbaar. In rust zal de lijm weer dikvloeibaar worden. Met name bij automatische doseersystemen kan deze eigenschap voor een ongecontroleerd proces zorgen. Het verpompen van het materiaal door een leidingstelsel kan dezelfde invloed hebben als roeren of uitstrijken.

Voor kleine of niet platte oppervlakken worden voor dergelijke lijmen ook spatels (plamuurmessen) toegepast. In principe komt deze opbrengmethode overeen met die van strijkmessen. De methode is echter alleen geschikt voor handwerk.

Strijkmessen hebben het voordeel dat men grote oppervlakken snel van een gelijkmatige lijmlaag kan voorzien.

Gieten

Bij het gieten vloeit de lijm uit een reservoir op het te lijmen oppervlak. De uitstroomopening kan op verschillende manieren worden aangepast aan het werkstuk. Niet platte oppervlakken (met een profielvorm of gebogen) kunnen van lijm worden voorzien met behulp van een vrijvallend "gordijn" van lijm (gordijngietmachine). Hierbij stroomt de lijm uit een smalle spleet en het werkstuk wordt horizontaal door het "lijmgordijn" bewogen (figuur 5.5). De lijm moet voldoende dunvloeibaar zijn om te kunnen worden rondgepompt en als een dunne film te kunnen stromen. Ook smeltlijmen kunnen door middel van een gordijngietmachine met speciale voorzieningen worden opgebracht. Deze machines zijn vooral geschikt voor het lijmen van grote aantallen: snelheid tot 120 m/min.



figuur 5.5 Lijmgordijn

Dompelen

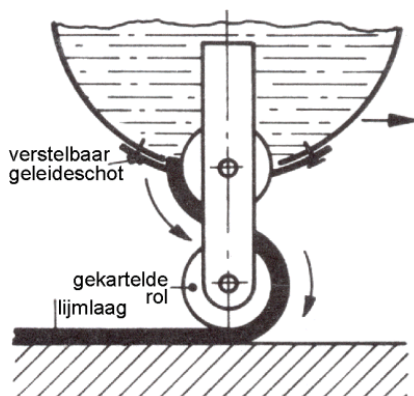
Een lijm laag kan op eenvoudige wijze worden verkregen als het werkstuk geheel of gedeeltelijk in de lijm wordt gedompeld. De snelheid waarmee het werkstuk uit de lijm wordt gehaald is belangrijk voor een gelijkmatige dikte. De vorm van de werkstukken dient geschikt te zijn voor dompelen.

Drukken

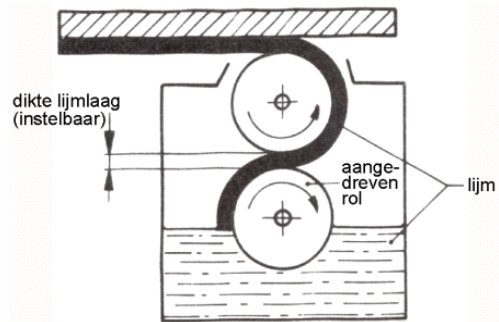
Ontleend aan de grafische industrie zijn ook druktechnieken voor het opbrengen van lijm ontwikkeld. Het meest bekend zijn de zeefdrukmethode en de offsetdrukmethode. Het voordeel van deze methoden is, dat volgens een bepaald patroon kan worden gelijmd.

Lijmrollen en lijmwalsen

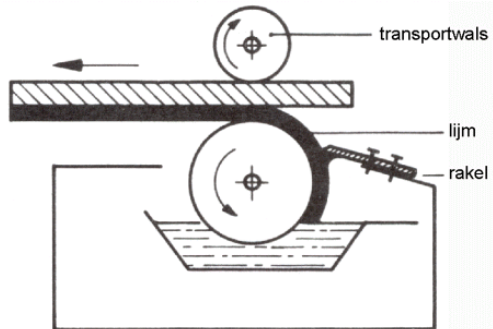
Lijmrollen en lijmwalsen zijn vooral geschikt voor plaatmateriaal en platte vlakken (figuren 5.6 t/m 5.9). Zeer gelijkmatige lijm laagdikten kunnen worden verkregen, wanneer de lijmrol wordt gecombineerd met afstrijk messen en doseerrollen. De opbrengrollen kunnen glad of gekarteld zijn, of van een raster zijn voorzien, afhankelijk van de aan te brengen lijm laagdikten.



figuur 5.6 Handlijmrol met dubbele rol



figuur 5.7 Lijmopbrengwals



figuur 5.8 Lijmopbrengwals met rakel



figuur 5.9 Lijmwalsen

Sputten

Men onderscheidt nevelsputten (door middel van perslucht, onder hoge druk of elektrostatisch) en druk-sputten (zonder verneveling).

Nevelsputten zijn zeer geschikt om grote of ingewikkelde oppervlakken van een dunne laag lijm te voorzien. Het aanbrengen van een dunne laag lijm komt onder andere voor bij zogenaamde primers in combinatie met lijmen in filmvorm. Men gebruikt hiervoor handsputten en automatische sputten, die vast worden opgesteld of beweegbaar zijn. De methode waarbij perslucht wordt gebruikt om een vloeistofnevel te verkrijgen, komt het meest voor (hoge- en lagedrukverfspuit).

Verneveling is behalve door middel van lucht ook mogelijk onder hoge druk ("airless sprayguns"). Ook is het mogelijk de spuitnevel elektrostatisch op het voorwerp aan te brengen (betere kantdekking).

Bij het sputten van lijmen komen dikwijls moeilijkheden voor door:

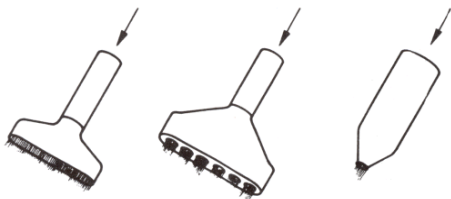
- "spinnweb"-vorming tijdens het sputten;
- het vormen van een onregelmatige lijm laag (druppelvorming resulterend in "sinaasappelhuid"-effect).

Deze verschijnselen zijn bij lijmen die oplosmiddelen bevatten sterker dan bij lijmen zonder oplosmiddelen. Door temperatuurverhoging van de lijm neemt de viscositeit af en wordt de spuitbaarheid beter (warm en heet sputten).

Ten behoeve van een homogene lijm laag verdient het aanbeveling het oppervlak voor elke laag 90° te verdraaien ten opzichte van de spuitbeweging (kruislagen sputten). Bij het sputten ontstaat een nevel die bij inademing meestal gevaarlijk is. Hiertegen moeten steeds doeltreffende maatregelen worden genomen (afzui-

ging, spuitkamers, maskers, enz.). Wat dit betreft gelden in overleg met de Arbeidsinspectie dezelfde veiligheidsvoorschriften als voor lakspuitcabines.

Een drukspuit bestaat uit een lijmreservoir waaraan, bijvoorbeeld met behulp van een slang, een verwisselbaar spuitstuk is bevestigd (figuur 5.10). Onder druk, verkregen door handkracht of perslucht, wordt de lijm op het oppervlak aangebracht. De lijm treedt hierbij als vloeistof naar buiten, dus zonder verneveling. Drukspuiten, ook wel uitdrukspuiten of vloeistofspuiten genoemd, zijn tevens geschikt voor dikvloeibare lijmen, pasta's en smeltlijmen.



figuur 5.10 Verschillende spuitmondten

Hand- en luchtdrukbevestigde pistolen met cartouchehouders

Met behulp van deze "pistolen" worden lijmen en afdichtingsmiddelen, die verpakt zijn in standaard cartouches, aangebracht. De inhoud kan 70, 170 of 340 cm³ bedragen. De hoeveelheid laat zich redelijk nauwkeurig doseren door het formaat van het mondstuk, de opgelegde druk en de snelheid van bewegen. Ook tweecomponenten materialen en hoogvisceuze lijmen laten zich op deze manier verwerken. De eerste door cartouches te gebruiken waarin de lijm en de verharder gescheiden zijn aangebracht en in een speciaal mondstuk worden gemengd (statische mengbuis), de tweede door cartouchehouders te gebruiken die zijn voorzien van verwarmingselementen.

Het gebruik van meng- en doseerapparatuur

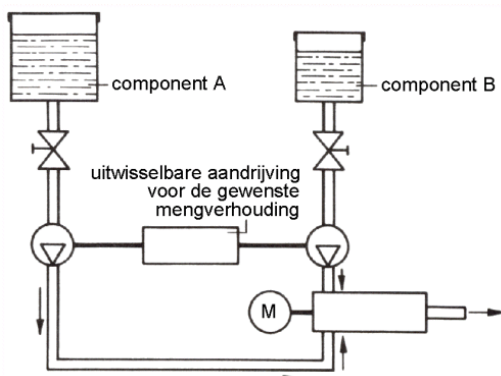
Om lijmsystemen in de massafabricage te kunnen toepassen is zowel meng- als doseerapparatuur ontwikkeld. Deze apparatuur maakt het mogelijk een van tevoren vastgestelde hoeveelheid lijm - ingeval van tweecomponentenlijm tevens in de goede verhouding gemengd - op de juiste plaats aan te brengen.

Dergelijke apparatuur heeft de volgende voordelen:

- ▶ doelmatig en efficiënt gebruik van de lijm;
- ▶ grotere betrouwbaarheid van de lijmverbinding (minder handelingen);
- ▶ tijdbesparing (het mengen geschiedt veel sneller dan met de hand).

Voor het doseren bestaan twee principieel verschillende systemen:

- ▶ het mechanische pompsysteem (figuur 5.11);
- ▶ het pneumatische druk-tijdsysteem.



figuur 5.11 Meng- en doseerapparaat

De keuze van het systeem hangt af van de te doseren materialen. Bij toepassen van tweecomponentenlijm moet het doseren van de componenten in de juiste verhouding geschieden. Daarbij kan een mogelijk verschil in viscositeit problemen geven. Om dit probleem te voorkomen, verhoogt men de temperatuur van beide (of één van beide) componenten in de vaten. Daardoor worden de componenten dunner vloeibaar en zijn ze beter te verpompen. Dit opwarmen van de componenten kan het best gebeuren in een verwarmd vloeistofbad (au bain marie), daar bij andere verwarming (bijvoorbeeld elektrische weerstandelementen) het gevaar van plaatselijke verhitting kan voorkomen. Het doseren van de lijm geschiedt door middel van een pistool in de vorm van druppels, banden of nevel.

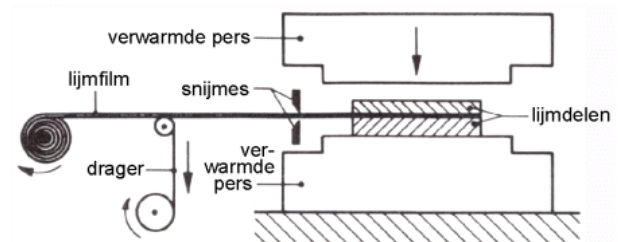
Vaak vindt het mengen automatisch plaats, vlak voor het moment dat de lijm het doseerpistool verlaat, om verharding van de lijm in het systeem te voorkomen. De componenten worden dan ongemengd rond gepompt door het systeem en alleen in het doseerpistool wordt de gewenste hoeveelheid van elke component afgenomen en door turbulentie in het pistoolmondstuk gemengd. Dergelijke apparatuur kan worden aangesloten op een vat oplosmiddel, zodat onmiddellijk na het mengen het doseerpistool (en eventueel het gehele systeem) kan worden gereinigd met oplosmiddel. Alternatief kan bij minder continu gebruik een pistool gekozen worden, voorzien van een losneembare statische mengbuis. Deze mengbuis kan na stilstand en uitharding van gemengde lijm in de buis vervangen worden door een nieuwe mengbuis.

Ook voor ééncomponent materialen zijn verschillende systemen voor het verpompen van materiaal voorhanden. Onder andere plunjerpompen opgehangen in een portaalframe voor vaten van 200 kg of kleinere exemplaren die op een vat van 25 kg kunnen worden geplaatst. Ook tandwielpompen worden toegepast. Feit is wel dat met name bij massafabricage kennis aanwezig dient te zijn over de vloeistofstromingseigenschappen van het te verwerken materiaal.

5.1.2 Het aanbrengen van lijm in vaste vorm

Deze lijmen worden geleverd als:

- ▶ lijmfilms (zie ook figuur 5.12);
- ▶ poeders, staaf of pil.



figuur 5.12 Principe van het lijmen met lijmfolie

Films

Lijmfilms hebben meestal aan weerszijden een beschermende folie. Na het in vorm snijden of knippen wordt aan één zijde de beschermende folie verwijderd, waarna de film op het werkstuk wordt gelegd. Daarna wordt de tweede beschermende folie verwijderd en het andere deel van het werkstuk opgebracht. Om tijdens deze behandeling de lijmfilm en de voorbehandelde werkstukken schoon te houden, moet men handschoenen (liefst wit katoenen) dragen.

Lijmfilms hebben de volgende voordelen:

- ▶ er is geen mengapparatuur bij nodig; het mengen gebeurt tijdens de fabricage van de film;
- ▶ de lijm heeft een gelijkmatige en nauwkeurige laag-

dikte; controle van de lijmlaag vindt plaats tijdens de fabricage van de film;

- ▶ de lijmfilms zijn eenvoudig aan te brengen, zijn daarvoor tijdsbesparend, vooral bij grote oppervlakken, zoals bij sandwichconstructies;
- ▶ het werken met lijmfilms is hygiënischer dan het aanbrengen van vloeibare lijm; er is minder kans op eczemen bij degene die lijmt.

Vaak is het gewenst, of zelfs nodig, de lijmfilms gekoeld te bewaren met het oog op de beperkte houdbaarheid. De aanbevelingen van de lijmfabrikant dienen daarbij nauwkeurig te worden opgevolgd. Diep gekoelde lijmfilms moet men voor het gebruik laten acclimatiseren in de polytheenverpakking om condensaatvorming te voorkomen.

Eéncomponent epoxyfilms moeten in een vriezer worden bewaard en dan nog is de houdbaarheid beperkt tot hoogstens een jaar. Eéncomponent smeltlijmen zijn onbeperkt houdbaar en in tegenstelling tot de epoxyfilms relatief goedkoop.

Poeders, staaf of pil

Lijmen in staaf- en pilvorm en ook in poedervorm voor verwarmde oppervlakken, zijn vooral geschikt voor serielijmwerk bij kleinere lijmoppervlakken. Hierbij kan men druppelvormig doseren door bijvoorbeeld de lijm in pilvorm uit een verhittingskoker te laten vallen, of de staaf over het verwarmde oppervlak strijken.

5.2 Het totstandkomen van de lijmverbinding

Hieronder wordt verstaan het bereiken van de cohesiesterkte van de aangebrachte lijmnaad, tijdens de verharding.

Van belang zijn daarbij:

- ▶ de verhardingsdruk;
- ▶ de verhardingstemperatuur;
- ▶ de verhardingstijd.

5.2.1 Verhardingsdruk

De verhardingsdruk moet steeds minstens zo hoog zijn dat tijdens het verharden goed contact blijft bestaan tussen de te lijmen oppervlakken en de lijm. De grootte van deze druk is van verscheidene factoren afhankelijk. Bevat de lijm veel vluchtige bestanddelen, dan moet men een hogere druk aanbrengen om de damp- of gasdruk te compenseren. Is de lijm dunvloeibaar (laag visceus), dan is meestal slechts een geringe druk nodig; is de lijm dikvloeibaar (hoog visceus), dan is een hogere druk nodig.

Bij lijmen waarbij een condensatiereactie optreedt (formaldehydelijmen), komt water vrij in de vorm van stoom. De verhardingsdruk moet hoger zijn dan de stoomdruk bij de betreffende uithardingstemperatuur.

Motieven voor het toepassen van lijmdruk zijn:

- ▶ het positioneren van de te lijmen delen ten opzichte van elkaar;
- ▶ het verkrijgen van een massieve lijmnaad.

Wordt vloeibare lijm toegepast bij lijmnaden die niet geheel vlak zijn, dan kan het voorkomen dat slechts plaatselijk contact wordt gemaakt met de lijm en dat er "losse plekken" in de lijmnaad optreden. Verhoogt men in dat geval de druk, dan bestaat, vooral bij laag gevulde lijmsorten, het gevaar van "dooddrukken" van de naad, dat wil zeggen dat een zo dunne lijmnaad overblijft, dat de cohesiesterkte sterk terugloopt. Een hogere druk is soms ook nodig in verband met de stijfheid van de te lijmen delen.

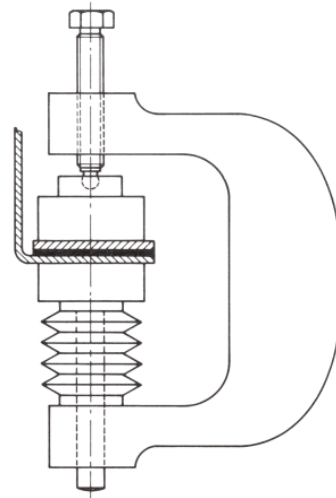
De lijmdruk kan als volgt worden aangebracht:

- ▶ *door het plaatsen van een gewicht*
Tenzij het eigen gewicht van het bovenliggende

stuk voor de lijmdruk zorgt.

▶ met klemmen

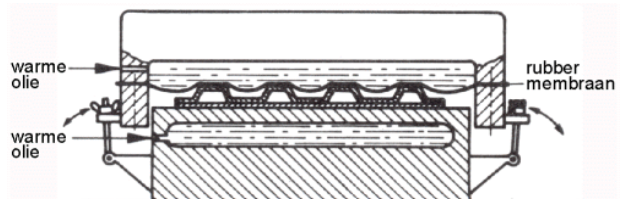
Wanneer lijmklemmen worden toegepast, kan het wenselijk zijn dat deze verend worden uitgevoerd (figuur 5.13), omdat anders door uitvloeien van de lijm de druk tijdens de verharding zal verminderen en zelfs geheel kan wegvallen. Vering van de klem kan worden bereikt door het tussenplaatsen van schotelveren of gewone veren. Klemmen moeten verend zijn uitgevoerd als ze worden gebruikt voor verbindingen waarvan de lijm tijdens de uitharding gasvormige bijproducten oplevert, zoals bijvoorbeeld bij boven 100 °C hardende fenolen. Het is, bij het toepassen van klemmen die plaatselijke druk uitoefenen, belangrijk te zorgen voor voldoende stijfheid van de mal tussen de klemmen, opdat de druk zo gelijkmatig mogelijk over het te lijmen oppervlak wordt verdeeld. Al dan niet verende klemmen worden vooral gebruikt bij paneelranden; bij het lijmen over rechte lijnen over het paneel wordt een verende balk toegepast.



figuur 5.13 Lijmtang met schotelveren

▶ door persdruk (zie ook figuur 5.12)

Als de platen onder een normale hydraulische of spindelpers worden gelegd, kan lijmdruk over grote vlakken worden verkregen. Ook bij hydraulische persen moet men ervoor zorgen dat de druk constant blijft door met de hand of automatisch bij te regelen. Bij gekromde oppervlakken en oppervlakken van ongelijke dikte, kan tijdens het persen ongelijke druk voorkomen. Dit wordt voorkomen door het toepassen van de zogenaamde broekenpersen, waarvan de bovenste perstaf is uitgevoerd met een membraan, waarop hydraulisch druk wordt uitgeoefend (figuur 5.14).



figuur 5.14 Door olie verwarmde "broekenpersen"

▶ door luchtdruk

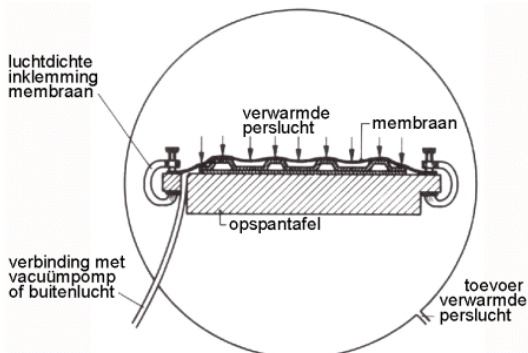
Dit kan geschieden door het werkstuk in een zogenaamde enveloppe te steken en zo in een drukvat te leggen. Hierbij moet de enveloppe worden geventileerd en door een leiding met de buitenlucht worden verbonden. Op deze wijze kan over grotere

oppervlakken gelijkmatige druk worden aangebracht. Men kan de enveloppe ook vacuüm zuigen zonder toepassing van uitwendige overdruk. Hierbij kan geen grotere druk dan ongeveer $0,075 \text{ N/mm}^2$ worden bereikt. Bij deze methode moet men tussen werkstuk en enveloppe poreus materiaal leggen om te voorkomen dat door de aanwezigheid van luchtbellen, plaatselijk geen lijmdruk op het werkstuk wordt uitgeoefend.

5.2.2 Verhardingstemperatuur

Wanneer voor het verharden of voor het drogen van de lijm temperatuurverhoging nodig is, kan dat op de volgende manier gebeuren:

- ▶ door stralingswarmte van infraroodlampen of elektrische elementen;
- ▶ door een oven. Ter voorkoming van explosiegevaar door eventuele oplosmiddelen dient de oven goed te worden geventileerd, met een afvoer naar buiten. Eventueel kan de oven worden voorzien van een explosiewand. Wanneer de oven als een drukketel wordt uitgevoerd, heeft men in feite de veel toegepaste autoclaaf verkregen (figuur 5.15). Het opwarmen respectievelijk afkoelen in ovens en autoclaven vergt meestal veel tijd, doordat lucht een slechte warmtegeleider is. Een sterke luchtcirculatie en hoge druk brengen hierin verbetering;
- ▶ door het met de lijm mee inklemmen van een weerstandselement;
- ▶ door het in de lijmnad inleggen van weerstandsdraad;
- ▶ door inductieve, respectievelijk hoogfrequentverwarming;
- ▶ door persplaten of mallen die met stoom, heet water, hete olie of elektrisch worden verwarmd.



figuur 5.15 Principeschets van het lijmen in een autoclaaf

Het is bij de verhardingscyclus belangrijk de temperaturen zoveel mogelijk ter plaatse van de lijmnaden te meten. Het beste kan dit gebeuren met thermokoppels. De lijm gereedschappen voor lijmen die bij een hoge temperatuur worden gehard, dienen zoveel mogelijk te worden of te zijn gemaakt van materiaal met gelijke uitzettingscoëfficiënt als het werkstuk, of van hetzelfde materiaal als het werkstuk.

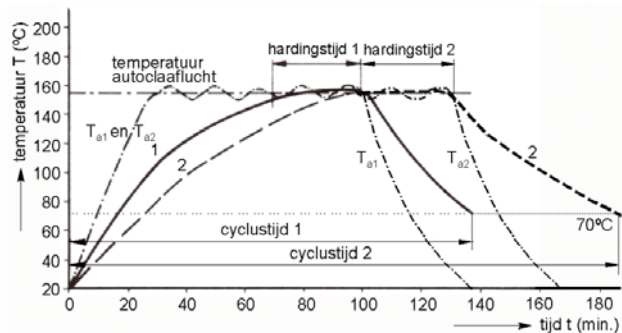
5.2.3 Verhardingstijd

Bij hogere temperatuur wordt de verhardingstijd korter. De verhardingstijd gaat in op het moment dat de lijm overal de gestelde verhardingstemperatuur heeft bereikt.

Op elke plaats in het werkstuk moet de lijm minimaal gedurende deze verhardingstijd op de gestelde verhardingstemperatuur zijn geweest. Vaak wordt voor de zekerheid een verhardingstijd aangehouden die iets langer is dan noodzakelijk.

De lijmcyclus bestaat uit opwarmen, verharden en afkoelen. De verhardingstijd maakt slechts een deel van

die totale tijd uit. In figuur 5.16 is de typische cyclus in een autoclaaf gegeven. Daaruit blijkt dat de temperatuur van de lijmnad steeds najlt bij de luchttemperatuur in de autoclaaf. Dit ter illustratie van het belang de temperatuur ter plaatse van de lijmnaden te meten. Om de opwarmperiode te verkorten, is het gewenst dat zo weinig mogelijk warmte verloren gaat. Daarom zal men het gereedschap zo licht mogelijk uitvoeren en uit een materiaal vervaardigen met een zo laag mogelijke soortelijke warmte. Dit kan vooral belangrijk zijn bij lijmen die, in het traject waar vloeit optreedt, aan bepaalde eisen gebonden zijn voor wat betreft de opwarmingssnelheid.

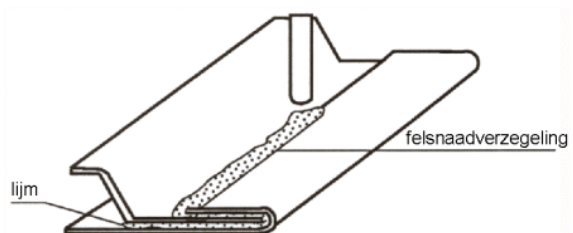


figuur 5.16 Tijd-temperatuurverloop product ten opzichte van autoclaaflucht
1 = lijn kleine massa (T_{a1} = temperatuurverloop bijbehorende autoclaaf)
2 = lijn grote massa (T_{a2} = temperatuurverloop bijbehorende autoclaaf)

Het afkoelen dient onder druk te geschieden, totdat de temperatuur van het werkstuk is gedaald tot die waarop de sterkte van de lijm voldoende is om onder meer vervorming te voorkomen.

5.3 Bijzondere toepassingen

In de automobilbouw wordt bij portieren, motorkap, achterklep of kofferdeksel een combinatie van lijmen en mechanische verbinding toegepast: het zogenaamde felsnaadverlijmen (figuur 5.17).



figuur 5.17 Het verlijmen van felsnaden

Met het invoeren van lijm als verbindingsmiddel tussen de binnen- en de buitenplaat, heeft het omzetten van de rand van de buitenplaat om de binnenplaat (fels) geen directe invloed op de sterkte meer. De sterkte wordt gehaald door de lijmverbinding. Het omzetten van de felsrand heeft een meer cosmetische functie. Bij bepaalde automerken wordt bijvoorbeeld de achterzijde van de motorkap (het gedeelte dat aansluit op de voorruit) niet meer omgezet.

5.3.1 Aanbrengen van de lijm

Roestpreventie vereist een felsrand die geheel met lijm gevuld is. De aangebrachte hoeveelheid mag echter niet zoveel zijn, dat deze tijdens de felsbewerking uittreedt. Om dit te kunnen realiseren wordt gebruik gemaakt van industriële robots en proportioneel werkende doseerinstallaties.

5.3.2 Voorwaarden

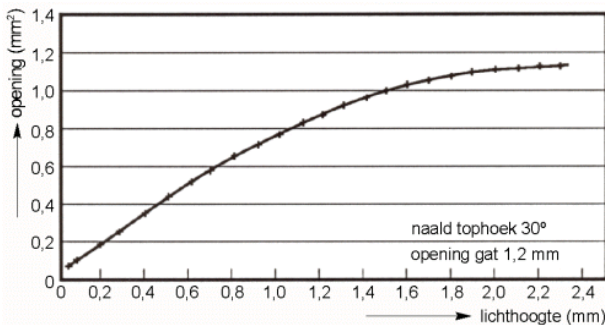
Het aanbrengen van de lijm middels robots vereist de onderstaande voorwaarden:

- ▶ de robot moet in staat zijn een nauwkeurige baan te beschrijven, zodanig dat de lijmlijn (plaats waar de lijm op het werkstuk wordt aangebracht) wordt gevolgd. Ook bij hogere snelheden (> 15 m/min) dient deze nauwkeurigheid te zijn gewaarborgd;
- ▶ de robot moet tijdens het aflopen van de baan het lijmpistool in een goede oriëntering ten opzichte van het werkstuk houden;
- ▶ de robot moet de bewegingen zo gelijkmatig mogelijk uitvoeren;
- ▶ de lijmtoevoer moet zodanig worden geregeld door de robot dat er, afhankelijk van de robotsnelheid, steeds een gelijke lijmrups wordt gelegd.

5.3.3 Doseerinstallatie

Onderscheid is te maken in naaldgeregelde (-gestuurde) en drukgeregelde doseersystemen, waarbij naaldgeregelde systemen nog kunnen worden onderscheiden in zuiver mechanisch werkend en regelsystemen voorzien van PID-regeling (proportionele, differentiërende en integrerende regeling). Drukgeregelde systemen zijn altijd voorzien van een PID-regeling.

Mechanisch werkende, naaldgestuurde regelsystemen vertonen in relatie tot de lichthoogte van de naald geen lineair oplopende openingskarakteristiek en daarmee geen proportioneel doseergedrag (zie figuur 5.18). Dit effect wordt vaak nog versterkt door de eigenschappen van het te doseren materiaal. Thixotrope (dikvloei-bare) eigenschappen zijn hier debet aan.



figuur 5.18 Relatie tussen de lichthoogte van de naald ten opzichte van de naaldopening

Bij naaldgeregelde systemen met een PID-regeling wordt het volumedebiet van het te doseren materiaal gemeten via de drukvariaties in het uitstroomkanaal en vergeleken met ingestelde waarden, waarbij een correctie kan plaatsvinden onafhankelijk van het robotuitgangssignaal.

Bij naaldgestuurde en drukgeregelde systemen bestaat ook nog een onderscheid in uitvoeringen met een separate doseerkamer, welke vanuit een vat wordt gevuld en tijdens het doseren van de lijm wordt geleigd, en systemen welke rechtstreeks vanuit een vat de lijm op het werkstuk aanbrengen.

Systemen met een separate doseerkamer lijken een betere garantie te geven voor een constante lijmrups dan systemen die rechtstreeks vanuit een vat werken. De doseerkamer kan qua inhoud worden afgestemd op de, per bewerking, aan te brengen hoeveelheid materiaal. Bij systemen welke rechtstreeks op een vatpomp worden aangesloten, zal een pompomslag tijdens het doseerproces door een regelaar moeten worden opgevangen.

5.3.4 Onderhoud van lijm/kit-installaties

Bij het gebruik van thermohardende materialen kunnen bij lange stilstandtijden en bij hoge omgevingstemperaturen uithardingsverschijnselen optreden.

Bij bepaalde gedeelten in het leidingsysteem (bochten, overgangen, afsluiters en dergelijke) kan dit leiden tot vernauwingen van de doorsneden. Ook kunnen bij warmverwerkbaar materialen exotherme reacties optreden die, als de ontstane reactiewarmte niet wordt afgevoerd, kunnen leiden tot volledige uitharding van het materiaal.

Bepaalde vulstoffen in een lijm kunnen op langere termijn slijtage aan de lijminstallatie veroorzaken.

Hoofdstuk 6

Kwaliteitsbeheersing bij het lijmen

6.1 Wat is kwaliteit?

Onder de kwaliteit van een product verstaat men de geschiktheid van het product voor de toepassing waarin het wordt gebruikt. Of een product voldoet aan de specifieke eisen, blijkt meestal pas bij de afnemer. Voldoet het product, dan is de kwaliteit goed.

De kwaliteit van een gelijmd product wordt bepaald door:

- ▶ de kwaliteit van het ontwerp;
- ▶ de geschiktheid van de toegepaste materialen;
- ▶ de geschiktheid van de productiemiddelen;
- ▶ de juistheid van de toegepaste processen;
- ▶ de procesbeheersing en procesbewaking;
- ▶ de vakbekwaamheid van het personeel.

Om een goed gelijmd product te krijgen, moet de kwaliteit worden beheerst. Onder het proces van kwaliteitsbeheersing worden de volgende activiteiten verstaan:

- ▶ het opstellen van de norm (product/proceskwalificaties^{*)};
- ▶ het uitvoeren van een goede procescontrole tijdens de vervaardiging van het product;
- ▶ het beoordelen van het product tegen de norm (productkwalificaties);
- ▶ het nemen van correctieve en preventieve maatregelen;
- ▶ het werken volgens goed omschreven procedures;
- ▶ het opleiden en certificeren^{*} van het personeel.

Kwaliteitszorg zoals beschreven in NEN-ISO 9000, vraagt om een voortdurend en systematisch bezig zijn met en realiseren van alle voorwaarden tot het goed functioneren van de organisatie, alsmede met het zoeken en uitvoeren van doorlopende verbeteringsmogelijkheden. Integrale kwaliteitszorg dient zich uit te strekken tot alle activiteiten en tot alle medewerkers in een onderneming.

Er is daarbij een aantal aandachtsvelden te onderkennen, zoals:

- ▶ geformuleerd kwaliteitsbeleid inclusief bijbehorende kwaliteitsdoelstellingen;
- ▶ afnemersgerichtheid in de gehele organisatie en niet alleen in de afdelingen die traditioneel met klanten omgaan;
- ▶ interne afnemer/leverancier-relaties, want elke activiteit heeft een opdrachtgever en een afnemer en het is voor iedereen van groot belang om de wensen van zijn interne afnemer te kennen en daarop in te spelen;
- ▶ besturing van de voortbrengprocessen met behulp van regelkringmodellen met voorwaarts- en terugkoppeling;
- ▶ gestructureerde opleidingsprogramma's om kennis en kunde van iedereen op peil te kunnen houden;
- ▶ duidelijke relaties met toeleveranciers, zowel wat betreft aanschaffingen als uitbestedingen;
- ▶ doorlopend werken aan verbeteringen, want stilstand is achteruitgang, ook op het gebied van de kwaliteitszorg.

Om producten te kunnen leveren en/of diensten te kunnen verlenen die aan de behoeften en eisen van afnemers voldoen en die daarbij op beheerste en verifieerbare wijze worden voortgebracht, zal een ondernemer zich intensief moeten bezighouden met een groot aantal aspecten van kwaliteitszorg.

6.2 Algemene aspecten lijmverbindingen

De lijmverbinding kan worden voorgesteld als een keten, waarvan de sterkte wordt bepaald door de zwakste schakel.

Er zijn drie schakels te onderscheiden, te weten:

- ▶ de adhesiesterkte tussen de verharde lijmlaag en het eerste lijmvlak;
- ▶ de cohesiesterkte van de verharde lijmlaag zelf;
- ▶ de adhesiesterkte tussen de verharde lijmlaag en het tweede lijmvlak.

Bij een nadere beoordeling van de kwaliteit van een lijmverbinding dient de kwaliteit van deze drie schakels bekend te zijn.

Om tot een kwalitatief goede lijmverbinding te komen, dient er sprake te zijn van kwaliteitsbeheersing. Dit wordt verkregen door het uitvoeren van passende werkwijzen en maatregelen, waarbij wordt gestreefd naar een kwaliteit die slechts binnen aanvaardbare grenzen varieert. Deze grenzen zijn afhankelijk van de economische en veiligheidsconsequenties ingeval van het falen van de verbinding.

Passende werkwijzen en maatregelen moeten zijn vastgelegd in gekwalificeerde procedures.

Voor het garanderen van de continuïteit van de kwaliteit dient er een controle op de naleving van de procedures te worden uitgevoerd.

Voor het bepalen van de variaties (tussen aanvaardbare grenzen) in eigenschappen, dient er een keuring van de lijmverbindingen en het gereede product te worden uitgevoerd.

De gelijmde verbinding onderscheidt zich van een mechanische verbinding door het feit dat de elementen die de sterkte bepalen pas tot stand komen tijdens het productieproces.

Mechanische bevestigingsonderdelen kunnen van tevoren steekproefsgewijs op hun sterkte worden beproefd of de sterkte van de onderdelen kunnen door de fabrikant worden gekwalificeerd.

Bij pas gemaakte lijmverbindingen van twee materialen met als tussenlaag een lijm is de sterkte afhankelijk van de reeds eerder genoemde drie factoren.

De *adhesiesterkte* van de lijm op de beide lijmvlakken is het resultaat van:

- ▶ de eigenschappen van het lijmmateriaal in de gebruikstoestand, bijvoorbeeld de viscositeit;
- ▶ de toestand van de oppervlakken, bijvoorbeeld al of niet verontreinigd of geoxideerd op het moment van aanbrengen van de lijm.

De *cohesiesterkte* van de verharde lijmlaag is afhankelijk van:

- ▶ de lijm in de gebruikstoestand, bijvoorbeeld voor wat betreft de mengverhouding;
- ▶ de verhardingscondities, zoals temperatuur, druk en verhardingstijd.

De *sterkte van de lijmverbinding* is in zijn totaliteit afhankelijk van:

- ▶ de kwaliteit van het ontwerp;
- ▶ de kwaliteit van de werkstukmaterialen;
- ▶ de toestand van de werkstukmaterialen qua voorbehandeling, zoals ontvetten, schuren, stralen, etsen, enz.;
- ▶ de wijze van uitvoering van het lijmp proces, zoals bijvoorbeeld de druk, de uithardingstijd en -temperatuur.
- ▶ de gebruikte lijm;
- ▶ de toestand van de lijm, zoals de mengverhouding, de tijd waarbinnen de lijm is aan te brengen, enz.;
- ▶ de nabehandeling;

^{*)} kwalificatie = het toekennen van gewenste eigenschappen;
certificeren = het schriftelijk vastleggen van de bekwaamheid en vakkennis of vaststellen van de eigenschappen (veiligheid) van een product

- ▶ de naadvorm, onder andere de spleetbreedte en de overlap;
- ▶ de belastingswijze.

Al deze variabelen dienen in een gekwalificeerde lijm-procedure te worden beschreven.

Bij een lijmprocedure gaat men ervan uit dat men betrouwbaar werk wil leveren, afhankelijk van de gestelde eisen en de klasse van het werk. Om de kwaliteit van de lijmverbindingen te blijven garanderen, moet er worden gecontroleerd op de naleving van de lijmprocedure. Grote en dure werkstukken of producten die in grote series worden vervaardigd, rechtvaardigen een ander niveau van controle dan lijmverbindingen van producten waarbij blijkt moet zijn gegeven van een goed vakmanschap. In het laatst genoemde geval controleert de vakman zichzelf en daardoor kan extra controle beperkt blijven.

Het goed vastleggen van procedures bij het lijmen is in het bijzonder van belang bij:

- ▶ industriële producties, los van het aantal;
- ▶ de aanwezigheid van grote risico's;
- ▶ onevenredig verdeelde aansprakelijkheid bij een eventuele schade.

6.3 *Kwaliteitsbeheersing van het lijm materiaal*

Typekeuring

Wat de keuze van een lijm voor een constructie betreft, moet de constructeur zich terdege op de hoogtstellen van de eigenschappen onder de gebruiksomstandigheden en tijdens de levensduur van de constructie, die de lijm, na juiste verwerking, aan de lijmverbinding geeft.

Om de eigenschappen van de lijmverbinding te kennen, moeten door de lijmfabrikant en/of door de gebruiker proeven worden gedaan. De ontwerpgegevens worden op grond van een typekeuring bepaald.

Ingangscntrole (controle vooraf aan gebruik)

De lijm is een samengesteld product, dat door middel van chemische processen wordt gefabriceerd. Door kleine variaties in het fabricageproces en in de grondstoffen, kunnen de eigenschappen afwijken van de bij de typekeuring gevonden waarden.

Ook al wordt de lijm geleverd onder certificaat, toch dient bij het vaststellen van de ontwerpgegevens rekening te worden gehouden met een mogelijke variatie van de eigenschappen. Geregelde controle op de eigenschappen van het lijm materiaal vóór het gebruik is noodzakelijk.

Deze controle dient zo kort mogelijk voor het gebruik plaats te vinden, vooral met betrekking tot materialen die tijdens de opslag door omgevingscondities, zoals temperatuur en vochtigheid, sterk kunnen worden beïnvloed.

Doordat de lijm kwaliteit afhangt van het fabricageproces en de opslagcondities, is het van belang dat men de lijm en de bijbehorende componenten altijd voorziet van een duidelijke aanduiding van de fabricagedatum en het nummer van de fabricagecharge.

Fysische grootheden van de lijm die moeten worden bepaald, zijn minimaal de soortelijke massa, de viscositeit en bij lijmfilms het gewicht per m² (zie tevens hoofdstuk 3 van VM 89 "keuren van lijmen en lijmverbindingen").

Verder kunnen de schuif-, trek- of scheursterkte van de lijm worden bepaald, al naar gelang de aard van de toepassing van de lijm (zie tevens hoofdstuk 7).

Wanneer het vloeibare of pastavormige lijmen betreft, waarvan de verharding geschiedt na bijmenging van harders of katalysatoren, is het gewenst zeer nauwkeurig de voorgeschreven mengverhouding aan te houden en zo volledig mogelijk te mengen.

Afwijkingen daarvan kunnen niet alleen leiden tot te snelle of te langzame verharding van de lijm, maar bovendien tot andere sterkte-eigenschappen. Het is bij meercomponentenlijm nodig, dat men de kwaliteit van het mengsel met behulp van gelijmde proefstukken controleert.

Kwaliteitsbeheersing tijdens het lijmen

De kwalificatie van de lijmprocedure geldt als basis voor de productiecontrole. Controles kunnen op velerlei manieren worden verricht met zeer uiteenlopende maatstaven voor de beoordeling. In vele gevallen levert werken volgens een gekwalificeerde lijmprocedure reeds voldoende waarborg voor de kwaliteit van de lijmverbinding.

De procesbeheersing is naast een gekwalificeerde lijmprocedure een belangrijke factor voor het garanderen van de kwaliteit van een lijmverbinding.

Procesbeheersing bij het lijmen zal gericht moeten zijn op de beheersing van procesfactoren, zoals:

- ▶ gereedschappen. Deze moeten blijvend voldoen aan de gereedschapsnormen en periodiek opnieuw worden gecertificeerd;
- ▶ uitrusting. Onder andere autoclaven, persen en ovens, moeten geregeld worden gecontroleerd en gecertificeerd;
- ▶ ruimtecondities;
- ▶ personeel, qua opleidingsniveau, ervaring en vakbekwaamheid;
- ▶ hulpmaterialen en -middelen. Deze moeten voldoen aan gewenste normen en/of kwaliteiten.

Lijmmaterialen die zeer gevoelig zijn voor opslagcondities, moeten ook in de productie-afdeling onder controle blijven.

Belangrijk is dat de opslagtijd bij kamertemperatuur van de in gebruik zijnde lijmen wordt genoteerd en het overblijvende lijm materiaal steeds weer onder de voorgeschreven condities in de gewenste koel- of vriesruimte wordt opgeslagen.

Veroudering van het lijm materiaal als gevolg van opslag bij te hoge temperatuur of gedurende een te lange tijd, kan de oorzaak zijn van de achteruitgang van de cohesiesterkte van de verharde lijm en vermindering van de vloeien- en de bevochtigingseigenschappen. De vermindering van de twee laatste eigenschappen kunnen leiden tot hechtingsproblemen. Van meercomponentenlijm, die bij kamertemperatuur verhardt, dienen het tijdstip van mengen en de mengverhouding nauwkeurig te worden aangegeven en genoteerd met de bijbehorende werkplaatstemperatuur en de bij de aange maakte hoeveelheid lijm behorende verwerkingstijd. De hechtingseigenschappen kunnen belangrijk verminderen, wanneer de voorgeschreven gebruiksduur wordt overschreden.

6.4 *Kwaliteitsbeheersing van de adhesie*

De beheersing van de adhesiekwaliteit is het moeilijkste deel van het lijmen. Bovendien bestaan er nog geen middelen om de adhesiekwaliteit van de complete lijmverbinding langs niet-destructieve weg te controleren.

Voor een goede adhesiekwaliteit is nodig dat:

- ▶ de lijm de juiste fysische en chemische eigenschappen bezit;
- ▶ de verbindingsvlakken zó zijn voorbehandeld, dat adhesie mogelijk is.

Voorbehandeling

De voorbehandeling van de desbetreffende combinatie van lijm en materiaal moet steeds met de grootste zorg en nauwkeurigheid optimaal worden uitgevoerd. Omdat bij de chemische onderdompelingsprocessen de samenstelling en temperatuur van de vloeistof en

de onderdompelingstijd redelijk nauwkeurig kunnen worden gecontroleerd, zijn uit het oogpunt van kwaliteitsbeheersing chemische onderdompelingsprocessen, waarbij onderdelen gelijktijdig of in een continue productiestroom kunnen worden behandeld, te prefereren boven mechanische- en afzonderlijke behandelingsprocessen.

Methoden waarbij met de hand de lijmvlakken door schuren, stralen en ontvetten worden voorbehandeld, zijn zeer moeilijk te controleren. Daar de behandelde oppervlakken zeer gevoelig zijn voor verontreiniging, ongewenste oxidatie en wateradsorptie, is het gewenst het lijmmateriaal of de primer vrijwel onmiddellijk na de voorbehandeling aan te brengen (zie tevens hoofdstuk 4 van deze voorlichtingspublicatie).

Proefstukken voor kwaliteitscontrole

Zolang er nog geen afdoende niet-destructieve methoden ter bepaling van de adhesiekwaliteit bestaan, is het gewenst proefstukken voor kwaliteitscontrole op dezelfde wijze als de productie-onderdelen mee te laten lopen met de voorbehandeling.

Teneinde duidelijk de invloed van de adhesiekwaliteit te kunnen bepalen, moet men maatregelen treffen om de cohesiekwaliteit van deze proefstukken zo constant mogelijk te maken door de lijm onder standaardcondities, bijvoorbeeld in een speciale pers, te laten verharderen.

6.5 *Kwaliteitsbeheersing van de cohesie*

Wanneer gebruik wordt gemaakt van goedgekeurd lijm-materiaal en gelijmd wordt op vlakken waarvan door nauwkeurige procescontrole de adhesie-eigenschappen kunnen worden gegarandeerd, kunnen er alleen nog door de verhardingscondities variaties in cohesiekwaliteit voorkomen.

Uithardingskwaliteit

De variabelen in de uitharding van de lijm zijn, behalve de reeds genoemde opslagcondities en de mengverhouding van de meercomponentenlijmen, nog de opwarmgradiënt, de uithardingstemperatuur, de uithardingstijd, de druk tijdens het uitharden en de afkoelgradiënt. Door een juist aanhouden van deze variabelen en het nauwgezet uitvoeren, kan de kwaliteit van de uitgeharte lijm worden beheerst.

Uithardingstemperatuur en uithardingstijd

De factoren tijd en temperatuur, die het uithardingsproces beheersen, kunnen met geschikte apparatuur constant worden gehouden.

Ten aanzien van de temperatuur is het van belang dat tijdens het uitharden van de lijm een warmte-ontwikkeling kan plaatsvinden.

In de praktijk blijft de temperatuurmeting beperkt tot het meten van de temperatuur van de perstafel of de lucht in de oven of autoclaaf.

In dat geval dient men eerst een proef uit te voeren, waarbij het verband tussen het temperatuurverloop van de perstafel of de lucht wordt vergeleken met de temperatuur op verschillende plaatsen in de lijmverbinding. Aan de hand daarvan kan dan de gewenste regeling van de insteltemperatuur worden bepaald. Daarbij dient men zich er van bewust te zijn, dat bij het lijmen van ongelijksoortige materialen of materialen van ongelijke dikte, de temperatuur van plaats tot plaats sterk kan verschillen in de constructie.

Lijmdruk

De mate waarmee de ruimte tussen de lijmvlakken met lijm is gevuld, hangt af van de gebruikte hoeveelheid lijm en van de druk die via de lijmvlakken op de lijmmassa wordt uitgeoefend. Bij de beoordeling van de vereiste lijmdruk moet men rekening houden met de

vraag of de lijm tijdens de uithardingsreactie dampvormige bijproducten vormt. Treedt dampvorming op, dan moet men, om poreuze lijmnaden te voorkomen, altijd een druk op de lijm uitoefenen die hoger is dan de dampdruk bij de uithardingstemperatuur. Worden geen dampvormige bijproducten gevormd, dan dient de lijmdruk uitsluitend om de lijmmaad de gewenste dikte te geven en te zorgen dat de beschikbare lijmhoeveelheid de ruimte tussen de lijmvlakken volledig vult. Welke lijmdruk moet worden uitgeoefend, hangt zowel af van de nauwkeurigheid en de stijfheid van de te lijmen onderdelen, als van de viscositeit en de gelijkmatigheid van de verdeling van de lijmmassa. Door een niet optimale lijmdruk kunnen variaties in dikte en eventueel de dichtheid van de lijmlaag optreden, die een belangrijke invloed kunnen hebben op de cohesiekwaliteit van de lijmverbinding.

Verificatie van de juistheid van de gekozen uitwendige lijmdruk en de resulterende druk op de lijmmassa is mogelijk door het uitvoeren van een uithardingscyclus met behulp van een vervangingsmateriaal (bijvoorbeeld een daartoe in de handel zijnde lijmfilm) of het eigen lijmmateriaal tussen twee scheidingsfolies. Het vervangingsmateriaal gedraagt zich in vele opzichten gelijk als het lijmmateriaal, maar hecht niet aan de lijmvlakken. Door inspectie van het dikteverloop van de tussenlaag na afloop van de cyclus, kan men bepalen of de lijmdruk juist is voor het verkrijgen van een voldoende cohesiekwaliteit.

Een duurdere maar nauwkeuriger verificatiemethode voor het bepalen van de juistheid van de gekozen uitwendige lijmdruk en de resulterende druk op de lijmmassa, is mogelijk door het uitvoeren van zogenaamde "dissectieproeven" op een standaard gelijmd product. Hierbij wordt het gelijmde (eerste) product opgedeeld in een groot aantal proefstukken, waarvan de werkelijke lijmlaagdikte door middel van microscoopmetingen kan worden bepaald. Tevens kunnen met behulp van de proefstukken reële sterktegetallen voor afschuiving en scheuring worden bepaald.

6.6 *Eindcontrole*

Destructieve controle

De kwaliteit van de lijmverbinding kan afdoende worden gecontroleerd door een sterkteproef. Wordt een groot aantal gelijksoortige constructies met gelijmde verbindingen geproduceerd, dan heeft het zin om de eindkwaliteit met behulp van steekproeven te controleren.

Dit is niet altijd noodzakelijk, omdat bij een doelmatige controle van het lijmmateriaal, het aanbrengen van het lijmmateriaal, het samenstellen en inbouwen van het te lijmen product, het proces van voorbehandeling en uitharding alleen nog cohesiekwaliteitsverschillen kunnen overblijven als gevolg van lokale lijmdrukverschillen en temperatuurverschillen. De lijmdrukverschillen ontstaan door het minder goed kunnen beheersen van de lokale lijmdruk.

Deze cohesiekwaliteitsverschillen hebben minder invloed op de uiteindelijke sterkte. Wel dienen mogelijke variaties van de cohesiekwaliteit in het ontwerp te worden meegenomen.

Niet-destructieve controle

Alleen verschillen in cohesiekwaliteit kunnen op niet-destructieve wijze aan het eindproduct worden gecontroleerd. Deze controlemethoden berusten alle op de overweging dat de cohesiekwaliteit samenhangt met de dikte van de lijmlaag. De variaties in de lijmlaag over de dikte bekeken of het plaatselijk gedeeltelijk of geheel ontbreken van lijm geven een indicatie van de cohesiekwaliteit van de lijm.

Het begin van een niet-destructieve inspectie moet bestaan uit een visuele controle. De visuele controle is zeer effectief voor het aantonen van (grote) losse plekken en verdachte gebieden (bijvoorbeeld geen uitpersing), die later eventueel instrumenteel moeten worden onderzocht.

Kloppen is na de visuele controle de meest elementaire vorm van niet-destructief onderzoek.

Naast de eenvoudige testmethoden is er een aantal instrumentele controlemethoden, die berusten op het basisprincipe van onder andere thermische inspectie, ultrasone inspectie en het meten van resonantie.

Tevens is inspectie mogelijk met behulp van radiografie, akoestische emissie en meting van elektrische capaciteit.

Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de bovengenoemde onderzoeksmethoden wordt verwezen naar hoofdstuk 7 van deze publicatie en hoofdstuk 4 van de voorlichtingspublicatie VM 89 "keuren van lijmen en lijmverbindingen".

Hoofdstuk 7

Beproeven van lijmverbindingen

7.1 Algemeen

Bij het beproeven van lijmverbindingen wordt er onderscheid gemaakt in:

- ▶ niet-destructieve beproevingsmethoden;
- ▶ destructieve beproevingsmethoden.

Bij niet-destructieve beproevingsmethoden kan worden gedacht aan methoden zoals visuele inspectie, het bekloppen van de gelijmde verbinding, ultrasoononderzoek, enzovoort.

Voor destructieve beproevingsmethoden kan dit zijn een trekproef, een afschuifproef, een proef op ware grootte, enzovoort.

Voor een uitvoerige beschrijving van beproevingsmethoden voor het keuren van zowel het lijm materiaal als de gelijmde verbinding wordt verwezen naar de voorlichtingspublicatie VM 89 "keuren van lijmen en lijmverbindingen".

Welke van de testmethoden voor het keuren van lijmverbindingen moeten worden toegepast, wordt onder andere bepaald door de volgende factoren:

▶ *De aard van de belasting*

De wijze waarop een lijmconstructie wordt belast, bijvoorbeeld op afpellen, afschuiving of trek (of een combinatie hiervan), bepaalt de keuze van destructieve testmethoden. Wordt een constructie op afschuiving belast, dan zal men een testverbinding vervaardigen die ook op afschuiving wordt belast. Hetzelfde geldt voor andere belastingsituaties.

▶ *De toepassingsomstandigheden van een gelijmde constructie*

Waar een lijmverbinding wordt toegepast is een zeer belangrijke vraag. Deze vraag stelt men bij de keuze van het te lijmen materiaal, bij de lijmkeuze en natuurlijk bij het kiezen van een geschikte testmethode, waarbij de lijmverbinding bij voorkeur onder gebruiksomstandigheden wordt belast. Wordt de lijmverbinding bijvoorbeeld onder warme en vochtige omstandigheden (een tropisch klimaat) gebruikt, dan moet de lijmverbinding ook onder die omstandigheden worden getest.

Wordt een lijmverbinding in een zuur of basisch milieu gebruikt, dan zal ook nu weer de lijmverbinding onder die omstandigheden moeten worden getest. Het is gebruikelijk dat er met gestandaardiseerde proefstukken wordt gewerkt, die in gelijmde vorm aan de diverse milieus kunnen worden blootgesteld.

▶ *Normen voor het keuren van een lijmverbinding*

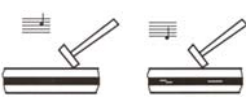
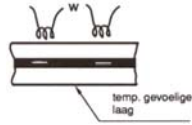
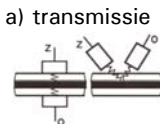

Sommige toepassingen van gelijmde verbindingen eisen dat de verbinding volgens een bepaalde norm wordt getest. Een goed voorbeeld hiervan is de vliegtuigindustrie, waar voor elke lijmverbinding een testnorm wordt aangegeven. Ook in andere industrietakken bestaan normen die beschrijven welke lijmverbindingen op welke manier moeten worden getest.

Bij de keuze moet worden uitgegaan van de meest realistische of representatieve testmethode.

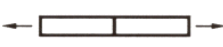





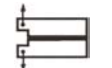

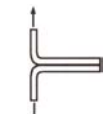




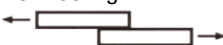
In de volgende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van zowel het niet-destructieve onderzoek als het destructieve onderzoek aan lijmverbindingen, waarin tevens de ASTM-, ISO-, EN- of DIN-normen zijn vermeld indien aanwezig. De ISO- en EN-normen zijn via de Nederlandse normalisatie organisatie NEN te verkrijgen (<http://normen.nen.nl>).

7.2 Standaard beproevingsmethoden voor lijmverbindingen

7.2.1 Niet-destructieve beproevingsmethoden

Methode	Omschrijving
Visuele inspectie	Hier wordt onder andere gelet op de lijmnaaduitpersing (hoeveelheid en regelmatige verdeling), kleur van de uitgeperste lijm, kleur van de primer (bij toepassing) op het oppervlak, vlakheid van het oppervlak (vooral bij dunne plaatmaterialen), alsmede de aanwezigheid van alle onderdelen. Tevens kunnen (grote) losse plekken en verdachte gebieden (bijvoorbeeld geen uitpersing) worden waargenomen, die later eventueel instrumenteel worden onderzocht.
Bekloppen	Eenvoudige en snelle methode voor het opsporen van grote adhesiefouten en grote cohesiefouten (plaatsen zonder lijm). Het te onderzoeken oppervlak wordt met een metalen pen of hamer beklopt, waarbij moet worden gelet op het geluid dat wordt voortgebracht. Op plaatsen waar geen verbinding tot stand is gekomen (losse plek) zal het geluid veranderen, waardoor een fout is op te sporen.
 Thermische inspectie	Deze methode is gebaseerd op het aantonen van variaties in de thermische eigenschappen van de lijmverbinding (geleiding en thermische diffusiteit). Deze variaties zijn te detecteren, doordat ze resulteren in verschillen in temperatuurverdeling aan het oppervlak tijdens het opwarmen of afkoelen van de gelijmde component. Veel ervaring is vereist voor goede interpretatie van verkregen resultaten. Snelle opwarming verdient de voorkeur in verband met de detectiegevoeligheid.
 Ultrasone inspectie	Twee basisprincipes worden veel toegepast: de transmissie- en de pulsechomethode. Beide methoden werken met ultrasone trillingen in het gebied van 1 tot 25 MHz. De trillingen worden veelal opgewekt met behulp van piëzo-elektrische kristallen, die elektrische energie omzetten in mechanische trillingen en omgekeerd. De taster(s) kunnen op de gelijmde component worden geplaatst (direct-contactmethode) of op enige afstand hiervan (de onderdompelingsmethode). Beide methoden vereisen veel ervaring voor de beoordeling van de resultaten.
 a) transmissie	Bij de transmissiemethode wordt meestal een gescheiden zender en ontvanger toegepast. De transmissiemethode verdient in het geval van holten of luchtinsluitels in verbindingen met geringe dikte de voorkeur boven de pulsechomethode.
 b) pulsecho	Bij de pulsechomethode is de zender tegelijkertijd ook ontvanger. Dit heeft als voordeel dat de lijmverbinding vanaf één zijde kan worden geïnspecteerd. De techniek is gevoelig voor holten en luchtinsluitels in de orde grootte van de golflengte.
Akoestische resonantie	Deze methode is het meest informatief. Hiermee worden verschillen in resonantiefrequentie en demping als gevolg van de cohesiekwaliteitsvariaties gemeten. Meting van veranderingen in resonantiefrequenties wordt voornamelijk bij metaal/metaalverbindingen gebruikt, terwijl veranderingen in demping vooral wordt gebruikt bij honingraatconstructies. De kwaliteit van de lijmverbinding kan in een getalwaarde worden uitgedrukt. Met vooraf vastgestelde acceptatiegrenzen kunnen verbindingen van onvoldoende kwaliteit worden geselecteerd. De "Fokker Bond tester" werkt volgens deze methode. Vooral voor gelijmde aluminiumverbindingen is veel informatie beschikbaar over hoe goedkeur-afkeurcriteria moeten worden vastgelegd. Ook voor een aantal andere verbindingen is deze informatie beschikbaar, maar in veel gevallen zal de gebruiker deze zelf via een eigen onderzoek moeten vaststellen.
Optische holografie	Met holografische interferometrie kunnen verplaatsingen van de oppervlakte van lichamen worden gemeten in de grootte van een halve golflengte van zichtbare elektromagnetische straling (ongeveer 0,25 μm). Om deze verplaatsing te realiseren, moeten er spanningen op de gelijmde constructie worden aangebracht, bijvoorbeeld thermisch of door druk. Ook het vibren van de constructie is mogelijk. Moeilijke techniek, vooral geschikt voor honingraatstructuren en dunne composietmaterialen. Niet zo geschikt voor stijve constructies, omdat dit grotere belastingen vergt om deze lokale deformatieverschillen te krijgen.
Radiografie	Het principe berust op het detecteren van dichtheids- en diktevariaties. Dit kunnen zijn holten, poreusheid, een verandering in de dikte van de lijmlaag, enzovoort. Dichtheids- en diktevariaties zijn bij metaal/metaallijmverbindingen moeilijk waarneembaar. Vooral toegepast bij honingraatconstructies, of metaalgevulde lijmen.
Akoestische emissie	Het principe van akoestische emissie berust op het uitzenden van ultrasone golven door een defect binnen een lijmverbinding onder toenemende belasting, welke worden gedetecteerd met een sensor op het oppervlak van een component. Op basis van de relatie tussen hoeveelheid akoestische emissie en bijbehorende belasting kan er een voorspelling worden gedaan omtrent de breuksterkte van een gelijmd component. Testen van complexe lijmverbindingen is niet mogelijk. Voor een juiste interpretatie van de resultaten is veel ervaring vereist. De wijze van belasten dient representatief te zijn.
Capaciteitsmeting	Een elektrisch isolerende lijmlaag vormt samen met de gelijmde kunststofdelen een condensator. De capaciteit van deze condensator is een functie van een diëlektrische constante, de dichtheid van het elektrisch isolerende materiaal, het plaatoppervlak en de afstand tussen twee gelijmde platen. De methode is zeer gevoelig voor lijmlaagdiktevariaties; niet geschikt voor geleidende lijmen, niet geschikt voor grote oppervlakken.

7.2.2 *Destructieve beproevingsmethoden*

Proef	Norm	Omschrijving
Trek (axiaal) 		Er mag bij deze proeven geen buiging optreden. Dit wordt bereikt door het draaibaar monteren van de inspanbekken.
	NEN-EN 2243-4	Voor honingraatconstructies.
	ASTM D897	Voor staven in ronde vorm.
Afschuiving    		Deze proef is eenvoudig uit te voeren, waarbij er wel op moet worden gelet dat geen buigend moment kan optreden.
	NEN-EN 2243-1 NEN-EN 1465 ASTM D1002	Bij toepassing van enkelvoudige lapnaadverbinding voor dunne plaatmaterialen.
	ASTM D2557	Voor het beproeven van lijmverbindingen bij lage temperaturen.
	ASTM D3163	Bij toepassing van stijve (dikke) materialen.
	ASTM D3164	Bij toepassing van sandwich kernmaterialen tussen twee vlakke en planparallelle metalen delen.
	ASTM D3528	Bij toepassing van dubbele lapnaadverbindingen.
	NEN-EN 2243-6 ASTM D5656	Bij toepassing van dikke materialen in een enkelvoudige lapnaadverbinding voor bepaling van de schuifspanning - rek kromme van lijmmaterialen.
ISO 10123	Drukproef op een pen-ring proefstuk voor het bepalen van de afschuifsterkte van in hoofdzaak met anaërobe lijmen gelijkde verbindingen, zoals bijvoorbeeld as-lager-verbindingen.	
Torsieschuif	DIN 54455	Voor het bepalen van het maximum torsiemoment van asverbindingen.
Schokschuif 	NEN-EN-ISO 9653 ASTM D950	Voor het bepalen van de schokvastheid van gelijkde dikke plaatproefstukken.
Slijten  	NEN-ISO 15107 ASTM D1062	Voor de bepaling van de slijtweerstand van gelijkde dikke materialen.
	ASTM D3762 ISO 10354	Wig slijtweerstand ter beoordeling van voorbehandeling en duurzaamheid.
Afpellen    	ASTM D1876 ISO 10354	Bepaling afpelsterkte met T-vormig scheurproefstuk van dunne plaatmaterialen.
	ASTM D1781 NEN-EN 2243-3	Klimmende trommelscheurproef voor zowel dunne plaat als honingraatconstructie-materialen.
	ISO 4578 ASTM D3167 NEN-EN 2243-2	Scheurproef voor dunne plaat. In hoofdzaak bedoeld als vergelijkingsproef voor het beoordelen van verschillende lijmen en voorbehandelingsmethoden van het plaatoppervlak.
	ASTM D903	Afpelproef op dunne plaatlijmverbindingen, waarbij de vrije einden over een hoek van 180° uit elkaar worden getrokken.
Kruip 	ASTM D1780 DIN 53284	Gedurende lange duur wordt de lijmverbinding met een constant gewicht belast tot een bepaalde rek (0,1 of 0,2% kruiprekgrens) bereikt is of dat de verbinding bezwijkt. Deze proef wordt meestal uitgevoerd op lijmverbindingen met taaie lijmen
Vermoeing 	ASTM D3166 NEN-EN-ISO 9664	De proefstukken worden wisselend op trek belast tot bezwijken optreedt tussen de 5.000 en 100.000 wisselingen. Het maximum aantal wisselingen per minuut bedraagt 3.600.

Hoofdstuk 8

Veiligheid en hygiëne

8.1 Algemeen

Net als bij andere verbindingstechnieken moet bij het lijmen een aantal maatregelen worden genomen om verantwoord, veilig en hygiënisch te kunnen werken. Lijmen kunnen oplosmiddelen bevatten die bij inademen schadelijk voor de gezondheid kunnen zijn. Lijmen kunnen componenten bevatten, die bij contact met de huid irritaties kunnen geven. Sommige lijmen bevatten sterk brandbare componenten. Ook bij sommige voorbehandelingen, zoals bijvoorbeeld het etsen met zuren, moet contact met het voorbehandelingsmiddel worden vermeden.

Omdat er behalve zeer veel verschillende typen lijmen ook binnen de typen onderling grote verschillen in chemische samenstelling kunnen zijn, is het niet mogelijk om voor iedere lijm in deze voorlichtingspublicatie een volledige beschrijving van alle veiligheids- en hygiëne-aspecten te geven. Een overzicht wordt gegeven van die punten die men in ieder geval moet controleren en de algemene maatregelen die men kan nemen. Per toe te passen product moet dan, aan de hand van door de lijmleverancier te verschaffen informatie, worden nagegaan wat precies de gedetailleerde eisen zijn.

Zie voor aanvullende informatie over chemische stoffen tevens het chemiekaartenboek.

Terwijl de bescherming tegen bijvoorbeeld brand- en explosiegevaar een duidelijk en direct zichtbare korte termijn handeling is, is het beschermen van de gezondheid niet alleen voor een korte termijn, maar ook voor de lange termijn van groot belang. Dit omdat langdurend contact (tot zelfs over tientallen jaren) met kleine hoeveelheden van bijvoorbeeld oplosmiddelen, zeer schadelijk voor de gezondheid kan zijn. Ook kan op kortere of langere termijn overgevoeligheid voor contact met lijmen optreden. Deze overgevoeligheid is zowel zeer afhankelijk van het type lijm, als sterk persoonsgebonden. Deze gevaren worden vaak, vooral door diegenen die dagelijks met lijmen omgaan, onderschat.

Van groot belang is het om degenen die met lijmen werken, duidelijk te instrueren over het hoe en waarom van de beschermingsmaatregelen.

8.2 Maatregelen bij voorbehandelingen

Bij het ontvetten van materialen kunnen oplosmiddelen zowel door inademen, als via de huid worden opgenomen. Zorg er dus voor dat de ruimte waarin men werkt goed wordt geventileerd. Veel lijmen bevatten eveneens oplosmiddelen en andere vluchtige bestanddelen, die tijdens de verwerking en zelfs nog enige tijd daarna kunnen vrijkomen. Als de betreffende lijm dit type stoffen bevat, hetgeen door de leverancier moet zijn aangegeven, is het wettelijk verplicht om in ieder geval ervoor zorg te dragen dat de Maximaal Aanvaarde Concentratie (MAC-waarde, zie P145) in de lucht bij de werkplek niet wordt overschreden.

Voor explosiegevaarlijke dampen gelden soortgelijke grenswaarden. De dampen moeten worden afgezogen, waarbij bij grootschalige toepassing ervoor moet worden gezorgd, dat de uitstoot binnen de eisen van de Hinderwet blijft. In enkele gevallen is daarvoor een reinigingsstap noodzakelijk. Er moet op worden gelet, dat sommige dampen zwaarder zijn dan lucht en derhalve niet door afzuiging boven het werkstuk zullen

worden verwijderd. Hierbij is dus tafel- en/of bodemafzuiging noodzakelijk.

Bij het aanbrengen van afzuigapparatuur moet worden gelet op voldoende luchttoevoer. Bij aanvoer van buitenlucht moet daarbij tevens worden gelet op de invloed die deze heeft op de temperatuur en op de relatieve vochtigheid van de binnenruimte. Soms is de plaats waar verse lucht wordt toegevoerd zo koud en/of zo vochtig, dat het aanbrengen van lijm daar niet kan en mag plaatsvinden.

Ook dampen van ets- en beitsbaden kunnen gevaarlijk zijn. Bij het aanleggen van afzuiginstallaties moet worden gelet op de corrosiebestandheid van het afzuigstelsel.

Ieder persoonlijk contact met de baden en de inhoud ervan moet worden vermeden. Bij contact met kleding direct van kleding wisselen. Bij het maken van de beitsbaden mag nooit water aan het zuur worden toegevoegd. Bij de menging komt veel warmte vrij, waardoor kleine hoeveelheden water aan de kook kunnen raken en het zuur kan gaan spatten. Daarom moet het zuur aan het water worden toegevoegd onder voortdurend roeren.

Bij het mechanisch voorbehandelen ontstaat schuurstof. Ook hierbij is afzuiging, vaak gecombineerd met stofmaskers, noodzakelijk.

Bij voorbehandelingen waarbij hoge spanningen voorkomen, zoals anodiseerbehandelingen en plasma- en coronabehandelingen, moet goed op de elektrische veiligheid worden gelet. Dat geldt niet alleen voor die delen die onder hoogspanning staan, maar ook voor de afzuiging en filters die bij de apparatuur horen.

8.3 Maatregelen bij het werken met lijmen

Bij het werken met lijmen, waaronder vullen, verwisselen van charges, mengen en aanbrengen, moeten verschillende veiligheidsmaatregelen worden genomen.

Bij het uitharden kunnen dampen zeer snel vrijkomen, vooral bij uitharding op hogere temperaturen. De installaties moeten dan ook van een adequate afzuiging worden voorzien. Er moet voor worden gewaakt, dat bij het openen van ovens niet een golf van oplosmiddeldampen in de werkruimte komt.

Zeer belangrijk bij het lijmen is de persoonlijke bescherming. Afhankelijk van het type lijm (zie onder andere de voorschriften van de lijmleverancier) moeten veiligheidsbrillen, handschoenen en beschermende kleding worden gedragen. Vooral bij het werken met handschoenen moet goed worden nagegaan of de te gebruiken handschoenen geschikt zijn voor het betreffende type lijm. Bij een verkeerde combinatie van lijm en handschoenen kan het voorkomen dat lijmcomponenten door de handschoenen dringen, waarbij het contact met de huid zelfs nog veel intensiever kan zijn dan zonder gebruik van handschoenen. Dit betekent niet dat er dus maar van handschoenen moet worden afgezien, maar dat een verantwoorde keuze uit de typen handschoenen moet worden gemaakt. Vele typen handschoenen worden als irriterend ervaren, omdat het transpiratievocht niet wordt afgevoerd. Dan kunnen speciale stoffen binnenhandschoenen uitkomst bieden.

Tegenwoordig zijn er voor de bescherming van de handen ook zogenaamde "barrier creams" op de markt. Dit zijn crèmes, die men als beschermende laag op de huid aanbrengt. De beschermende werking is minder goed dan bij het gebruik van handschoenen, maar geeft het behoud van de bewegingsvrijheid. Van deze crème kan echter wat achterblijven op de te lijmen oppervlakken en zo de sterkte van de lijmverbinding beïnvloeden.



Ook bij opslag, vervoer en verwerking van lijm, als mede opslag en afvoer van lijmafval, moeten de betreffende voorschriften in acht worden genomen. Deze voorschriften worden als veiligheidsbladen door de lijmleveranciers geleverd. Raadpleeg hiervoor tevens de voorschriften van de Arbeidsinspectie.

Enkele wenken voor de opslag van lijmen en oplosmiddelen zijn:

- ▶ houd alle materialen uit direct zonlicht en andere warmtebronnen;
- ▶ zorg voor voldoende ventilatie;
- ▶ opslag liefst in afsluitbare ruimte;
- ▶ merk alle opgeslagen artikelen duidelijk.

Om de gebruikers te waarschuwen voor de schadelijke eigenschappen van producten, zijn de leveranciers verplicht hun producten te voorzien van bepaalde etiketten, die de mate van schadelijkheid voor de mens aangeven (zie overzichtstabel 8.1).

tabel 8.1 Overzicht van etiketten om de schadelijkheid van producten aan te geven

	Licht ontvlambaar Stoffen met een vlam- punt beneden 21 °C in vloeibare toestand	Zeer licht ontvlambaar Stoffen met een vlam- punt beneden 0 °C en een kookpunt van 35 °C en hoger
	Oxiderend Stoffen met deze aanduiding kunnen bij contact met andere stoffen (ontvlambare stoffen), een sterke warmte-ontwikkeling veroorzaken.	
	Giftig	
	Schadelijk/prikkelend	
	Bijtend	
	Explosief	

8.4 Werkplek

Op de werkplek zijn eten, drinken en roken uit den boze. Na het uitvoeren van iedere lijmhandeling moet worden nagegaan of er geen contact met lijmcomponenten heeft plaatsgevonden, opdat geen besmetting van later te nuttigen eten en drinken kan plaatsvinden. Gewaakt moet worden voor het wrijven in ogen; bij gebruik van handschoenen merkt men soms niet dat er lijm aan de handschoenen zit en kan de lijm hierdoor in de ogen worden gewreven!

De werkplek moet zeer schoon worden gehouden. In geval van morsen direct de werkplek reinigen. Hoewel sommige werkplaatsen goed bestand zijn tegen inwerking van lijmen en oplosmiddelen, verdient het aanbeveling de werkplaats telkens met schoon papier af te dekken.

Na het afpoetsen van gemorste lijm moeten de doeken adequaat worden afgevoerd, soms zelfs als chemisch afval. Indien met bij kamertemperatuur uithardende lijmen is gewerkt, dan moeten de doeken in water of in vlamdovende containers worden opgeslagen en af-

gevoerd, omdat bij het uitharden zoveel warmte kan vrijkomen, dat de doeken of eventueel aanwezige papierresten vlam kunnen vatten.

Lijm en/of harder welke op kleding is gemorst niet laten inwerken en/of uitharden. Kleding direct wisselen en zo mogelijk direct (laten) reinigen.

Gebruik ook bij het reinigen van de apparatuur en de werkruimte de voorgeschreven reinigingsmiddelen en beschermende kleding.

8.5 EHBO

Bij alle EHBO-zaken geldt:

- ▶ neem zelf eventueel noodmaatregelen;
- ▶ roep de hulp in van een gediplomeerd EHBO'er;
- ▶ zoek in geval van twijfel altijd direct contact met een arts.

Voor iedere lijm moet worden nagegaan welke EHBO-materialen noodzakelijk zijn. In zijn algemeenheid zijn dit bijvoorbeeld oogspoelflessen en reinigingsmiddelen. Raadpleeg uw leverancier voor een juiste keuze van het reinigingsmiddel.

In geval van contact van lijm met de huid (handen), direct en overvloedig spoelen.

Veelal geldt dat wassen met water en zeep de voorkeur verdient. Oplosmiddelen kunnen in de huid dringen; de lijmcomponenten kunnen dan juist versterkt in de huid worden gebracht. Bij het afdrogen van de handen gebruik maken van wegwerptissues, opdat anderen niet met lijmresten in contact kunnen worden gebracht.

Bij contact van lijm met de ogen direct minimaal 10 minuten spoelen. liefst met een speciaal daarvoor bestemde oogdouche.

Bij inhaleren van dampen zo snel mogelijk de frisse lucht ingaan. Bij aanhoudende klachten een arts raadplegen.

8.6 Maatregelen per type lijm

Nogmaals zij gesteld dat voor elk type/merk lijm moet worden nagegaan, via de door de fabrikant/leverancier (verplicht) meegeleverde productinformatie, welke voorschriften en eisen van toepassing zijn. In deze publicatie wordt met opzet geen globale beschrijving per type gegeven, omdat de gebruiker voor iedere lijm zelf de betreffende eisen moet opzoeken of bij de lijmleverancier ernaar moet informeren en deze gegevens moet doorgeven aan de mensen die met de betreffende lijm moeten werken.

8.7 Milieu

Gebruik van ontvettingsmiddelen, beitsmiddelen en allerhande andere stoffen bij het lijmen, waaronder ook de lijm zelf, zijn een belasting voor het milieu. De wijze waarop met deze middelen wordt omgegaan is belangrijk voor de aard van de vervuiling van het milieu. Het brengen van dampen en gassen in de atmosfeer dient zo veel mogelijk te worden vermeden, waarbij reeds bij de keuze van de producten moet worden gekeken naar de eventuele milieubelastende aspecten. De meeste middelen vallen bij afvoer onder chemisch afval en dienen derhalve op de wettelijk voorgeschreven wijze te worden afgevoerd.

Voor lijmafval gelden de volgende regels:

- ▶ niet uitgeharde lijmmaterialen zijn schadelijk voor het milieu en moeten als chemisch afval gescheiden worden ingezameld en afgevoerd;
- ▶ de overige lijmmaterialen, dus in uitgeharde vorm, kunnen als normaal bedrijfsafval worden afgevoerd.

Normen

ISO-, NEN-EN Normen

ISO 10123:1990 en ISO 10354:1992 en	Adhesives - Determination of shear strength of anaerobic adhesives using pin-and-collarspecimens Adhesives - Characterization of durability of structural-adhesive-bonded assemblies - Wedge rupture test
ISO 10364:1993 en ISO 14676:1997 en	Adhesives - Determination of working life (pot life) of multi-component adhesives Adhesives - Evaluation of the effectiveness of surface treatment techniques for aluminium - Wet-peel test by floating-roller method
ISO 14679:1997 en ISO 15166-2:2000 en	Adhesives - Measurement of adhesion characteristics by a three-point bending method Adhesives - Methods of preparing bulk specimens - Part 2: Elevated-temperature-curing one-part systems
ISO 4578:1997 en	Lijmen - Bepaling van de weerstand tegen pellen van lijmverbindingen met hoge sterkte - Drijvende-rollermethode
ISO 4587:2003 en	Lijmen - Bepaling van de trekschuifsterkte van lijmverbindingen met hoge sterkte
NEN-EN 1067:2006 en	Lijmen - Onderzoek en bereiding van proefmonsters
NEN-EN 12023:1996 en	Zelfklevende band - Meting van de waterdampdoorlatendheid in een warme en vochtige atmosfeer
NEN-EN 12092:2001 en	Lijmen - Bepaling van de viscositeit
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 1242:2005 en	Lijmen - Bepaling van het isocyanaatgehalte
NEN-EN 1243:1998 en	Lijmen - Bepaling van het gehalte aan vrij formaldehyde in amino- en amidoformaldehydecondensaten
NEN-EN 1244:1998 en	Lijmen - Bepaling van de kleur en/of kleurverandering van lijmen door lichtinwerking
NEN-EN 1245:1998 en	Lijmen - Bepaling van pH - Beproevingmethode
NEN-EN 1246:1998 en	Lijmen - Bepaling van de as en de sulfaat-as
NEN-EN 12701:2001 en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Opslag - Bepaling van de bewoording en van de levensduur van lijmen voor constructiedoeleinden aanverwante materialen
NEN-EN 12962:2001 en	Lijmen - Bepaling van het elastisch gedrag van vloeibare lijmen ("elasticiteitsindex")
NEN-EN 12963:2001 en	Lijmen - Bepaling van het gehalte aan vrije monomeren in lijmen gebaseerd op synthetische polymeren
NEN-EN 13887:2003 en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van metalen en kunststoffen voorafgaande aan lijmverbindingen
NEN-EN 14022:2003 en	Structurele lijmen - Bepaling van de levensduur (bruikbaarheidsduur) van lijmen bestaande uit meerdere componenten
NEN-EN 14258:2004 en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Mechanisch gedrag van gelijmde verbindingen onder kortdurende of langdurige blootstelling aan gespecificeerde temperatuursomstandigheden
NEN-EN 14444:2005	Lijmen voor constructiedoeleinden - Kwalitatieve beoordeling van de duurzaamheid van gelijmde verbindingen - Splijt-breukbeproeving
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
NEN-EN 14869-1:2004 en	Structurele lijmverbindingen - Bepaling van het gedrag bij afschuiving van structurele bindingen - Deel 1: Torsiebeproevingmethode met gebruik van aan het uiteinde verlijmde holle cilinders
NEN-EN 14869-2:2004 en	Structurele lijmverbindingen - Bepaling van het gedrag bij afschuiving van structurele bindingen - Deel 2: Trekproef met dikke trekstaven
NEN-EN 15190:2005 Ontw. en	Structurele lijmverbindingen - Beproevingmethoden voor de beoordeling van de duurzaamheid van gelijmde metalen constructies
NEN-EN 15274:2005 Ontw. en	Constructielijmen voor algemeen gebruik - Eisen en beproevingsmethoden
NEN-EN 15275:2005 Ontw. en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Karakterisering van anaërobe lijmen voor coaxiale metallische assemblage in gebouwen en civiele techniek
NEN-EN 15336:2005 Ontw. en	Lijmen - Bepaling van de tijd tot breuk van gelijmde verbindingen onder statische belasting
NEN-EN 15337:2005 Ontw. en	Lijmen - Bepaling van schuifsterkte van anaërobe lijmen met gebruik van "pen en kraag" proefstukken
NEN-EN 15416-1:2005 Ontw. en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 1: Beproeving onder statische belasting van enkelvoudige lijmvoeg proefstukken voor afschuifsterkte evenwijdig aan de vezelrichting
NEN-EN 15416-2:2005 Ontw. en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 1: Beproeving onder statische belasting van meervoudige lijmvoeg proefstukken voor afschuifsterkte evenwijdig aan de vezelrichting
NEN-EN 15416-4:2005 Ontw. en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 4: Bepaling van de open-samenstellingsperiode voor ééncomponent polyurethaanlijmen
NEN-EN 15416-5:2005 Ontw. en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 5: Bepaling van de conventionele persduur
NEN-EN 1840:1995 Ontw. en	Constructielijmen - Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van kunststoffen
NEN-EN 1965-1:2001 en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Corrosie - Deel 1: Bepaling en indeling van de corrosie op een ondergrond van koper
NEN-EN 1965-2:2001 en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Corrosie - 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 oppervlakte-behandelingstechnieken voor aluminium door gebruik van de natte-afpelproef in samenwerking met de drijvende-rollenmethode
NEN-EN 2243-1:2005 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Structural adhesives - Test method - Part 1: Single lap shear
NEN-EN 2243-2:2005 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Structural adhesives - Test method - Part 2: Peel metal-metal
NEN-EN 2243-3:2005 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Structural adhesives - Test method - Part 3: Peeling test metal-honeycomb core
NEN-EN 2243-4:2005 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Structural adhesives - Test method - Part 4: Metal-honeycomb core flatwise tensile test

NEN-EN 2243-5:2005 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Structural adhesives - Test method - Part 5: Ageing tests
NEN-EN 2243-6:2005 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Structural adhesives - Test method - Part 6: Determination of shear stress and shear strain
NEN-EN 2667-6:2002 en	Aerospace series - Non-metallic materials - Foaming structural adhesives - Test methods - Part 6: Determination of water absorption
NEN-EN 2781:1999 en	Lucht- en ruimtevaart - Niet-metallieke materialen - Structurele lijmen - Beproevingmethoden - Bepaling van de dikte van de grondlaag
NEN-EN 302-1:2004 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 1: Bepaling sterkte van de lijmvoeg door middel van trekproeven evenwijdig aan de vezelrichting
NEN-EN 302-2:2004 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 2: Bepaling van de weerstand tegen delamineren
NEN-EN 302-3:2004 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 3: Bepaling van de invloed van zuuraantasting van houtvezels ten gevolge van temperatuur- en vochtigheidswisselingen op de treksterkte loodrecht op de vezel
NEN-EN 302-3:2004/A1:2005 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 3: Bepaling van de invloed van zuuraantasting van houtvezels ten gevolge van temperatuur- en vochtigheidswisselingen op de treksterkte loodrecht op de vezel
NEN-EN 302-4:2004 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 4: Bepaling van de invloed van krimp van het hout op de schuifsterkte
NEN-EN 302-6:2004 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 6: Bepaling van de conventionele perstijd
NEN-EN 302-7:2004 en	Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingmethoden - Deel 7: Bepaling van de conventionele levensduur
NEN-EN 542:2003 en	Lijmen - Bepaling van de dichtheid
NEN-EN 543:2003 en	Lijmen - Bepaling van de schijnbare dichtheid van lijmen in poeder- en korrelvorm
NEN-EN 827:2006 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-EN 923:2005 en	Lijmen - Termen en definities
NEN-EN 924:2003 en	Lijmen - Lijmen met en lijmen zonder oplosmiddel - Vlampuntbepaling
NEN-EN-ISO 10363:1995 en	Warm-smeltlijnen - Bepaling van de thermische stabiliteit
NEN-EN-ISO 10365:1995 en	Lijmen - Aanduiding van de belangrijkste breukpatronen
NEN-EN-ISO 10964:1997 en	Lijmen - Bepaling van de weerstand tegen losdraaien van anaërobe lijmen op bevestigingsartikelen met schroefdraad
NEN-EN-ISO 11339:2005 en	Lijmen - T-afpelproef voor flexibel/flexibel gelijmde verbindingen
NEN-EN-ISO 11343:2005 en	Lijmen - Bepaling van de dynamische weerstand van de lijmnaad met hoge sterkte van gelijmde verbindingen onder botsomstandigheden - Spleet-bots methode
NEN-EN-ISO 14678:2005 en	Lijmen - Bepaling van de weerstand tegen uitlopen (zakvormig)
NEN-EN-ISO 15605:2004 en	Lijmen - Monsterneming
NEN-EN-ISO 9142:2004 en	Lijmen - Leidraad voor de keuze van standaardlaboratoriumverouderingsomstandigheden voor de beproeving van gelijmde verbindingen
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-ISO 11003-1:2002 en	Lijmen - Bepaling van het gedrag bij afschuiving van structurele lijmverbindingen - Deel 1: Torsieproefmethode met gebruik van stomp verlijmde holle cilinders
NEN-ISO 11003-2:2002 en	Lijmen - Bepaling van het gedrag bij afschuiving van structurele lijmverbindingen - Deel 2: Schuifproef met dikke trekstaven
NEN-ISO 13445:2003 en	Lijmen - Bepaling van de afschuifsterkte van lijmverbindingen tussen starre elementen met de blok-afschuifmethode
NEN-ISO 13895:1997 en	Lijmen - Leidraad voor de voorbereiding van kunststof oppervlakken
NEN-ISO 14615:1998 en	Lijmen - Duurzaamheid van verbindingen met constructielijmen - Blootstelling aan vochtigheid en warmte onder belasting
NEN-ISO 15107:1998 en	Lijmen - Bepaling van de sterkte van de lijmnaad 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 15166-1:1998 en	Lijmen - Methoden voor de bereiding van bulkmonsters - Deel 1: Twee-delensystemen
NEN-ISO 15509:2001 en	Lijmen - Bepaling van de verbindingsterkte van industriële lijmen voor kunststof
NEN-ISO 17212:2004 en	Lijmen voor constructiedoeleinden - Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van metaal en kunststoffen voorafgaand aan lijmverbindingen
NEN-ISO 21368:2005 en	Lijmen - Richtlijnen voor de fabricage van met lijm gebonden structuren en voor verslaglegging van procedures geschikt voor de risico-evaluatie van zulke structuren
NEN-ISO 4588:1996 en	Lijmen - Leidraad voor de voorbehandeling van oppervlakken van metaal
NEN-ISO 6922:1993 en	Lijmen - Bepaling van de treksterkte van stompe verbindingen
NEN-ISO 8510-1:1993 en	Lijmen - Beproevingmethode voor buigzaam-star gelijmde proefmonsters - Deel 1: 90° afpeltest
NEN-ISO 8510-2:1993 en	Lijmen - Beproevingmethode voor buigzaam-star gelijmde proefmonsters - Deel 2: 180° afpeltest

DIN-Normen

DIN 29963	Luft- und Raumfahrt; Expansionsklebstoffen für tragenden Teile, Technische Lieferbedingungen
DIN 50100	Werkstoffprüfung Dauerschwingversuch; Begriffe, Zeichen, Durchführung, Auswertung
DIN 53284	Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Zeitstandversuch an einschnittig überlappten Klebungen.
DIN 53287	Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Bestimmung der Beständigkeit gegenüber Flüssigkeiten
DIN 53289	Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Rollenschälversuch
DIN 54452	Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Druckscherversuch
DIN 54455	Prüfung von Metallklebstoffen und Metallklebungen; Torsionsscherversuch
DIN 54456	Prüfung von Konstruktionsklebungen; Klimabeständigkeitsversuch

ASTM-Normen

D896-84	Standard Test Method for Resistance of Adhesive Bonds to Chemical Reagents
D897-78	Standard Test Method for Tensile Properties of Adhesive Bonds
D898-69	Test Method for Applied Weight per Unit Area of Dried Adhesive Solids
D899-51	Test Method for Applied Weight per Unit Area of Liquid Adhesive
D903-49	Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds
D904-57	General Method for Assessing Resistance of Joints to Artificial and Natural Light
D905-6	Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive Bonds in Shear by Tension Loading
D907-2	Standard Definitions of Terms Relating to Adhesives
D950-2	Standard Test Method for Impact Strength of Adhesive Bonds
D1002-2	Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive in Shear by Tension Loading (Metal-to-Metal)
D1062-78	Standard Test Method for Cleavage Strength of Metal-to-Metal Adhesive Bonds
D1084-63	Standard Test Method for Viscosity of Adhesives
D1144-84	Standard Recommended Practice for Determining Strength Development of Adhesive Bonds
D1146-53	Standard Test Method for Blocking Point of Potentially Adhesive Layers
D1151-84	Standard Test Method for Effect of Moisture and Temperature on Adhesive Bonds
D1183-70	Standard Test Method for Resistance of Adhesives to Cyclic Laboratory Aging Conditions
D1184-69	Standard Test Method for Flexural Strength of Adhesive Bonded Laminated Assemblies
D1304-69	Standard Test Method for Adhesives Relative to Their Use as Electrical Insulation
D1337-56	Standard Test Method for Storage Life of Adhesives by Consistency and Bond Strength
D1338-56	Standard Test Method for Working Life of Liquid or Paste Adhesives by Consistency and Bond Strength
D1344-78	Standard Test Methods Cross-Lap Specimens for Tensile Properties of Adhesives
D1582-86	Test Method for Nonvolatile Content of Phenol, Resorcinol and Melamine Adhesives
D1583-86	Test Method for Hydrogen Ion Concentration of Dry Adhesive Films
D1713-65	Test Method for Bonding Permanency of Water- or Solvent-Soluble Liquid Adhesives for Automatic Machine Sealing Top Flaps of Fiberboard Specimens
D1714-65	Test Method for Water Adsorptiveness of Fiber-board Specimens for Adhesives
D1780-72	Standard Recommended Practice for Conducting Creep Tests of Metal-to-Metal Adhesives
D1781-76	Climbing Drum Peel Test for Adhesives
D1828-70	Standard Recommended Practice for Atmospheric Exposure of Adhesive Bonded Joints and Structures
D1875-69	Test Method for Density of Adhesives in Fluid Form
D1876-72	Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel Test)
D1879-70	General Method for Assessing Resistance of Joints to High-Energy Irradiation
D1916-69	Test Method of Penetration of Adhesives
D2093-84	Standard Recommended Practice for Preparation of Surfaces of Plastics Prior to Adhesive Bonding
D2094-69	Standard Recommended Practice for Preparation of Bar and Rod Specimens for Adhesion Tests
D2095-72	Standard Test Method for Tensile Strength of Adhesives by Means of Bar and Rod Specimens
D2182-72	Standard Test Method for Strength Properties of Metal-to-Metal Adhesives by Compression Loading (Disk Shear)
D2183-69	Standard Test Method for Flow Properties of Adhesives
D2293-69	Standard Test for Creep Properties of Adhesives in Shear by Compression Loading (Metal-to-Metal)
D2294-69	Standard Test for Creep Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal-to-Metal)
D2295-72	Standard Test for Creep Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading at Elevated Temperatures (Metal-to-Metal)
D2556-69	Test Method for Apparent Viscosity of Adhesives Having Shear-Rate-Dependent Flow Properties
D2557-72	Standard Test for Creep Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading in the Temp. Range from -267.8 to -55 °C
D2651-79	Standard Recommended Practice for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding
D2674-72	Methods of Analysis of Sulfochromate Etch Solution Used in Surface Preparation of Aluminum
D2739-72	Standard Test Method for Volume Resistivity of Conductive Adhesives
D2918-71	Standard Recommended Practice for Determining Durability of Adhesive Joints Stressed in Peel
D2919-84	Standard Recommended Practice for Determining Durability of Adhesive Joints Stressed in Shear by Tension Loading
D2979-71	Standard Test Method for Pressure-Sensitive Tack of Adhesives Using an Inverted Probe Machine.
D3111-76	Practice for Flexibility Determination of Hot Melt Adhesives by Mandrel Bend Test Method
D3121-73	Standard Test Method for Tack of Pressure-Sensitive Adhesives by Rolling Ball
D3164-73	Standard Recommended Practice for Determining the Strength of Adhesively Bonded Lap Shear Sandwich Joints in Shear by Tension Loading
D3165-73	Standard Test for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Laminated Assemblies
D3166-73	Standard Test for Fatigue Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal-to-Metal)
D3167-76	Standard Test Method for Floating Roller Peel Resistance of Adhesives
D3310-74	Standard Recommended Practice for Determining Corrosivity of Adhesive Materials
D3433-75	Standard Test Method for Fracture Strength in Cleavage of Adhesives in Bonded Joints
D3528-76	Standard Test for Strength Properties of Double Lap Shear Adhesive Joints by Tension Loading
D3632-77	Practice for Accelerated Aging of Adhesive Joint by the Oxygen-Pressure Method
D3658-78	Standard Recommended Practice for Determining the Torque Strength of Ultraviolet (UV) Light Cured Glass/Metal Adhesive Joints
D3762-79	Standard Test Method for Adhesive-Bonded Surface Durability of Aluminium (Wedge Test)
D3807-79	Standard Test for Strength Properties of Adhesives in Cleavage/Peel by Tension Loading (Engineering Plastics-to-Engineering Plastics)
D3808-79	Practice for Qualitative Determination of Adhesion of Adhesives to Substrates by Spot Adhesion Test Method
D3931-80	Test Method for Determination Strength of Gap-Filling Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading
D3932-80	Practice for Control of the Application of Structural Fasteners when attached by Hot Melt Adhesive
D3933-80	Practice for Preparation of Aluminum Surfaces for Structural Adhesives Bonding (Phosphoric Acid Anodizing)
D3983-81	Standard Test for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal-to-Metal); Thick substrates
D4027-81	Standard Test for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (uses "rails" to maintain only shear load)
D4299-83	Test Methods for Effect of Bacterial Contamination on Permanence of Adhesive Preparations and Adhesive Films
D4300-83	Test Method for Effects of Mold Contamination on Permanence of Adhesive Preparation and Adhesive Films
D4317-86	Specification for Polyvinyl Acetate-Based Emulsion Adhesives
D4338-84	Test Method for Flexibility Determination of Supported Adhesive Films by Mandrel Bend Test Method
D4497-85	Test Method for Determination the Open Time of Hot Melt Adhesives (Manual Method)
D4498-85	Test Method for Heat-Fail Temperature in Shear of Hot Melt Adhesives
D4499-85	Test Method for Heat Stability of Hot Melt Adhesives
D4501-85	Test Method for Shear Strength of Adhesive Bonds Between Rigid Substrates by the Block-Shear Method
D4562-86	Test Method for Shear Strength of Adhesives Using Pin-and-Collar Specimen
E229-70	Standard Test Method for Shear Strength and Shear Modulus of Structural Adhesives

Literatuur

Boeken

- [1] D.A. Adams & C.W. Wake, "Structural Adhesive Joints in Engineering", Elsevier Applied Science Publishers, London, 1984.
- [2] "Adhesion International 1987, Proceedings of the 10th Annual Meeting of the Adhesion Society, Inc.", Gordon and Breach, New York, 1988.
- [3] D.M. Brewis & D. Briggs, "Industrial Adhesion Problems", Orbital Press, Oxford, 1985.
- [4] W. Brockmann, L. Dorn & H. Käufer, "Kleben von Kunststoff mit Metall", Springer-Verlag, Berlin, 1989.
- [5] C.V. Cagle, "Handbook of Adhesive Bonding", McGraw-Hill, New York, 1982 (Reissue).
- [6] Chemiewinkel Universiteit van Amsterdam, "Lijmwijzer; Brochure over de toxiciteit van lijmstoffen", De Wetenschapswinkel, Amsterdam, 1986.
- [7] E.W. Flick, "Handbook of Adhesive Raw Materials", Noyes Data Publications, Park Ridge, 1982.
- [8] G. Habenicht, "Kleben; Grundlagen, Technologie, Anwendungen", Springer-Verlag, Heidelberg, 1986.
- [9] S.R. Hartshorn, "Structural Adhesives; Chemistry and Technology", Plenum Press, New York, 1986.
- [10] C. Jager, "Lijmsleutel", AKZO-Research, Arnhem, 1991.
- [11] W.S. Johnson, "Adhesively Bonded Joints: Testing, Analysis and Design; ASTM STP 981", ASTM, Philadelphia, 1988.
- [12] A.J. Kinloch, "Adhesion and Adhesives; Science and Technology", Chapman and Hall, London, 1987.
- [13] A.J. Kinloch, "Developments in Adhesives - 2", Applied Science Publishers, London, 1981.
- [14] A.J. Kinloch, "Durability of Structural Adhesives", Applied Science Publishers, Essex, England, 1983.
- [15] A.J. Kinloch, "Structural Adhesives; Developments in Resins and Primers", Elsevier Applied Science Publishers, London, 1986.
- [16] Th. Krist, "Metallkleben (kurz und bündig)", Vogel-Verlag, Würzburg, 1970.
- [17] A.H. Landrock, "Adhesives Technology Handbook" Noyes Publications, Park Ridge, 1985.
- [18] W.A. Lees, "Adhesives in Engineering Design", Springer-Verlag, Heidelberg, 1984.
- [19] A. Matting, "Metallkleben", Springer-Verlag, Berlin, 1969.
- [20] K.L. Mittal, "Adhesive Joints; Formation, Characteristics, and Testing", Plenum Press, New York, 1984.
- [21] J.R. Panek, I. Skeist, "Handbook of Adhesives" Nostrand-Lemhold, New York, 1977.
- [22] M.M. Sadek, "Industrial Applications of Adhesive Bonding", Elsevier Applied Science, London, 1987.
- [23] E. Schindel-Bidinelli, "Strukturelles Kleben und Dichten", R. Hinterwaldner-Verlag, München, 1988.
- [24] R. Schliekelmann, "Gelijmde metalen constructies", Agon-Elsevier, Amsterdam, 1970.
- [25] J. Shields, "Adhesives Handbook", Butterworths, London, 1985 (third edition).
- [26] I. Skeist, "Handbook of Adhesives", Van Nostrand Reinhold, New York, 1977.
- [27] "Structural Adhesives in Engineering; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", Mechanical Engineering Publications Ltd., London, 1986.
- [28] E.W. Thrall, R.W. Shannon, "Adhesive Bonding of Aluminum Alloys", Marcel Dekker Inc., New York and Base, 1985.
- [29] W.C. Wake, "Adhesion and the Formulation of Adhesives", Elsevier Applied Science Publishers, London, 1982 (second edition).
- [30] W.C. Wake, "Synthetic Adhesives and Sealants; Critical Reports on Applied Chemistry Volume 16", John Wiley & Sons, Chichester, 1987.
- [31] R.F. Wegman, "Surface Preparation Techniques for Adhesive Bonding", Noyes Publications, Park Ridge, 1989.

Tijdschriften

- "Adhäsion", Vieweg Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- "Adhesives Age", Chemical Week Associates, New York.
- "European Adhesives & Sealants", DMG World Media UK Ltd, Surrey.
- "International Journal of Adhesion and Adhesives", Elsevier, Amsterdam.
- "Journal of Adhesion Science and Technology", VSP, Zeist.

Incidentele publicaties in:

- Metaal & Kunststof
- De Ingenieur
- De Constructeur
- Lastechniek
- PT Materialen

Trefwoordenregister

aanbrengen lijm	1.7, 2.9, 2.10.3, 4.4, 5.1, 5.1.1, 5.1.2, 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 6.2, 6.6, 8.2, 8.3	harders	6.3
aansprakelijkheid	6.2	hechting	1.2.1, 1.3, 1.3.2, 1.7, 2.2.1, 2.3.3, 4.1, 4.2, 4.3, 4.3.2, 4.3.4
acrylaten	3, 4.3	ingangscontrole	6.3
adhesie(sterkte)	1.3, 1.3.2, 4.2, 4.3.3, 6.2, 6.4, 6.5, 7.2.1	injectiemethode	2.8.1
adsorptie	1.3.2, 6.4	insteltemperatuur	6.5
afdichtingen	2.8, 2.9	ionenimplantatie	4.3.4
afpelbelasting	2.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.5.1	ISO-9000	6.1
afzuiging	1.2.2, 5.1.1, 8.2, 8.3	katalysatoren	6.3
akoestische emissie	6.6, 7.2.1	keuren van lijm	1.4, 6.3, 6.6, 7.1
akoestische resonantie	7.2.1	krimpverschijnselen	1.3.1
anaërobe lijmen	2.9, 3, 4.1, 7.2.2	kruipeigenschappen	2.3.3
analytische rekenmethode	2.4	kwaliteit	1.7.2, 3.3, 3.4.1, 6.1, 6.2, 6.3, 6.5, 6.6, 7.2.1
anodiseren	4.3.3, 4.4	kwaliteitsbeheersing	1.7, 6
ASTM-normen	4.4, 7.1, 7.2.2, 9	kwaliteitsborgsysteem	1.4, 1.5
atomaire krachten	1.3.1	kwaliteitszorg	1.4, 1.5, 6.1
autoclaven	5.2.2, 5.2.3, 6.3, 6.5	kwasten van de lijm	5.1.1
axiale belasting	2.2.3, 2.8.1, 2.8.2, 7.2.2	levensduur constructie	6.3
beitsen	4.3.3	lijm/kit-installaties	5.3.4
belastingvorm	1.7, 2.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3	lijmdruk	2.1.2, 2.5.1, 5.2.1, 6.5, 6.6
belastingwijze	6.2	lijmfabrikant	5.1.2, 6.3
beproevingsmethode	7.1, 7.2, 7.2.1, 7.2.2, 9	lijmfilms	5.1.2, 6.3, 6.5
bevochtiging	1.3.1, 1.3.2, 4.3.5, 6.3, 9	lijmhchting	1.2.1, 1.3, 1.3.2, 2.2.1, 2.3, 3, 4.2, 4.3.3
brandgevaar	8.1	lijmhoeveelheid	6.5
buigend momentfactor	2.4	lijm laagdikte	2.4, 5.1.1., 6.5, 7.2.1
buigstijfheid	2.2.1, 2.6.1	lijmmaassa	6.5
buisverbindingen	2.8.1, 2.8.2	lijmpoeders	5.1, 5.1.2
capaciteitsmeting	6.6, 7.2.1	lijmprocedure	6.3
certificeren	6.1	lijmprocedurekwalificatie	6.3
chemische aantasting	2.3.3	lijmrollen	5.1.1
chemische (voor)behandeling	4.3, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.4	lijmsamenhang	1.3, 1.3.1
chemische eigenschappen	6.4	lijmspuiten	5.1.1
chemische processen	6.3	lijmstellen	2.9
cohesie(sterkte)	1.3, 1.3.1, 4.2, 5.2, 5.2.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 7.2.1	lijmtape	1.6
controle	1.5, 5.1.2, 6	lijmvlakken	1.3, 2.1.1, 6.2, 6.4, 6.5
correctieve maatregelen	6.1	maximaal aanvaarde concentratie (MAC)	8.2
cyanoacrylaten	3	mechanisch voorbehandelen	4.3.2, 8.2
dampvormige bijproducten	6.5	mechanische verankering	1.3.2, 4.3.2
destructieve controle	6.6	meercomponenten lijm meng- en doseerapparatuur	5.1.1, 6.3, 6.5
destructieve beproevingsmethoden	7.1, 7.2.2	mengbuis	5.1.1
diffusie	1.3.2, 4.3.5	mengen	5.1.1, 5.1.2, 6.3, 8.3
DIN-normen	7.1, 7.2.2	mengverhouding	6.2, 6.3, 6.5
dissectieproeven	6.5	milieu	1.4, 2.3.3, 5.1, 7.1, 8.7
dompelen van de lijm	5.1.1	moleculaire krachten	1.3.1
drukbelasting	2.1.1, 2.2, 2.2.1, 2.6.4, 2.8.1	MS polymeer	1.6
drukken van de lijm	5.1.1	naadvorm	2.3.1, 6.2
dubbele lapnaad	2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 7.2.2	nabehandeling	6.2
EHBO	8.5	niet-destructieve controle	1.2.1, 6.6
eindcontrole	6.6	niet-destructieve beproevingsmethoden	6.4, 7.1, 7.2.1
eindige elementen methode	2.4	normen	1.7, 5.1, 6.3, 7.1, 7.2.2
enkelvoudige lapnaad	2.2.3, 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.4, 7.2.2	normen voor het keuren	7.1
epoxy's	4.3.5	numerieke methode	2.4
ervaring	4.3.4, 5.1.1, 6.3, 7.2.1	omgevingscondities	6.3
etikettering	8.3	onderdompelingsproces	6.4
etsen	4.3.3, 4.3.4, 4.4, 6.2, 8.1	onderdompelingstijd	6.4
explosiegevaar	5.2.2, 8.1	ontvetten	1.3.2, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.4, 6.2, 6.4, 8.2
fabricage datum	6.3	ontwerp	2.1.1, 2.3.1, 6.1, 6.2, 6.6
fabricageproces	6.3	ontwerpgegevens	6.3
fenolen	5.3.5, 5.2.1	opleidingsniveau	6.3
Fokker-Bond test	7.2.1	opleidingsprogramma	6.1
fysische eigenschappen	6.4	opslagcondities	6.3, 6.5
gezondheid	4.4	optische holografie	7.2.1
gieten van de lijm	8.1	opwarmgradiënt	6.5
Goland en Reissner analyse	2.4	ovens	5.2.2, 6.3, 8.3
grondstoffen lijm	6.3	overlaplengte	2.2.2, 2.3.2, 2.3.3, 2.4
		overlapverbinding	2.3.1, 2.3.2, 2.4
		oxidatie	4.3, 6.4

paneelconstructies	2.6	voorbehandeling	1.2, 1.4, 2.1, 2.3.3, 4
pastavormige lijmen	5.1, 6.3	- aluminium en al.	
persen	5.2.1, 6.3	- legeringen	4.4
perstafel	2.9, 5.2.1, 6.5	- gechromateerd	
plaatverstijvingen	2.7	plaatmateriaal	4.4
plasma sprayen	4.3.4	- gecadmeerd	
plasma voorbehandelen	4.3.4, 8.2	plaatmateriaal	4.4
plasticiteit	2.3.2, 2.3.3	- koper en	
polyurethanen	4.3.5	koperlegeringen	4.4
preventieve maatregelen	6.1	- roestvaststaal	4.4
primer	4.2, 4.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.4, 5.1.1, 6.4, 7.2.1	- staal	4.4
procesbeheersing	6.1, 6.3	- titaan en	
procescontrole	1.2.2, 6.1, 6.5	titaanlegeringen	4.4
proceskwalificatie	6.1	- vernikkeld materiaal	4.4
produceerbaarheid	2.1.2	- zinklegeringen en	
productaansprakelijkheid	6.2	verzinkte materialen	4.4
productiecontrole	6.3	voorzorgsmaatregelen	1.2
productkwalificatie	6.1	warmte-ontwikkeling	6.5
proefstukken	2.3.3, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 7.2.2	wateradsorptie	6.4
pulsechomethode	7.2.1	werkplaatstemperatuur	6.3
radiografie	6.6, 7.2.1	werkplek	8.2, 8.4
risico's	6.2		
ruimte-condities	6.3		
sandwichconstructies	2.6.4, 5.1		
sandwichpanelen	2.6.4, 2.9, 2.10		
schadelijke			
eigenschappen	8.3		
scheidingsfolie	6.5		
scheurbelasting	2.1.1, 2.2, 2.2.2		
scheursterkte	2.2.2, 6.3		
schroefdraadborging	2.8, 2.9		
schuifbelasting	2.1.1, 2.2, 2.2.3		
schuifsterkte	2.2.3, 2.9, 6.3		
schuren	4.3.2, 6.2, 6.4		
smeltlijmen	5.1.1, 5.1.2		
spanningsconcentratie-			
factor	2.4		
spanningspieken	2.2.2, 2.2.3, 2.3.2		
spanningsverdeling			
lapnaden	2.3.1, 2.4		
spleetbreedte	6.2		
statische sterkte	2.3.3		
statische lange			
duursterkte	2.3.3		
steekproeven	6.6		
steekverbindingen	2.5.1, 2.9		
sterkte-eigenschappen	1.2.1, 6.3		
stralen	4.3.2, 6.2, 6.4		
strijken van de lijm	5.1.1		
temperatuurvastheid	1.2.1, 2.3.3		
theorie van Volkersen	2.4		
thermische inspectie	6.6, 7.2.1		
toelaatbare gem.			
schuifspanning	2.3.2, 2.3.3		
toeleveranciers	6.1		
torsiebelasting	2.8.2		
transmissiemethode	7.2.1		
trekbelasting	2.1.1, 2.2, 2.5.1		
treksterkte	2.2.1, 2.2.2, 2.4, 6.3		
typekeuring	6.3		
uithardingsreactie	6.5		
uithardingstemperatuur	5.2.1, 6.5		
uithardingstijd	1.2.1, 6.2, 6.5		
uitpersing	6.6, 7.2.1		
uitvoeringsvormen			
lapnaden	2.3, 2.3.2		
ultrasone inspectie	6.6, 7.2.1		
UV/ozon	4.3.4		
vakbekwaamheid	6.1, 6.3		
vermoeiingsgedrag	2.3.3		
veroudering	2.3.3, 6.3		
verouderingsbestandheid	2.3.3		
verwerkingstijd	6.3		
viscositeit	1.3.2, 2.9, 4.3.5, 5.1.1, 6.2, 6.3, 6.5		
visuele inspectie	6.6, 7.1, 7.2.1		
vloei-eigenschappen	1.6, 2.6.4, 6.3		
Volkersentheorie	2.4		
voor- en nadelen lijmen	1.2.1, 1.2.2		



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

(079) 353 11 00

(079) 353 13 65

alg@fme.nl

www.fme.nl