

*keuren van lijmen
en lijmverbindingen*

vm 89

VWM

keuren van lijmen en lijmverbindingen

vm 89



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 verveelvoudigd 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>

keuren van lijmen en lijmverbindingen

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 1992 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 87 lijmen van metalen;
VM 88 lijmen van kunststoffen.

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 1992 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	Inleiding	5	5	Keuze van beproevingsmethoden	27
2	Kwaliteitsbeheersing bij het lijmen	6	5.1	Standaard beproevingsmethoden voor	28
2.1	Wat is kwaliteit?	6		lijmmateriaal	28
2.2	Algemene aspecten lijmverbindingen	6	5.1.1	Fysische beproevingsmethoden	28
2.3	Kwaliteitsbeheersing van het lijm materiaal	7	5.1.2	Mechanische/destructieve	28
2.4	Kwaliteitsbeheersing van de adhesie	7		beproevingmethoden	28
2.5	Kwaliteitsbeheersing van de cohesie	8	5.2	Standaard beproevingsmethoden voor	29
2.6	Eindcontrole	8		lijmverbindingen	29
3	Keuren van lijmen	10	5.2.1	Destructieve beproevingsmethoden	29
3.1	Stabiliteit en homogeniteit	10	5.2.2	Niet-destructieve beproevings-	30
3.2	Viscositeit	10		methoden	30
3.3	Smelteigenschappen	10	Normen		31
3.4	Vaste-stofgehalte	11	Literatuur		35
3.5	Zuurgraad	11	Trefwoordenregister		36
3.6	Soortelijke massa	11			
3.7	Ontvlammingspunt	11			
3.8	Verwerkingstijd	11			
3.9	Open tijd	11			
3.10	Uiterlijk	11			
3.11	Vloei-eigenschappen van lijmfilms	11			
3.12	Vloei-eigenschappen van lijmpasta's	11			
3.13	Dikte (van lijmfilm)	11			
3.14	Glijdingsmodulus	11			
3.15	Exothermtemperatuur	11			
3.16	Expansie	12			
3.17	Glasovergangstemperatuur	12			
4	Keuren van de lijmverbinding	13			
4.1	Inspectie van voorbehandelde opper-	13			
	vlakken	13			
4.2	Destructief onderzoek aan lijmverbin-	14			
	dingen	14			
4.2.1	Trekproef	15			
4.2.2	Schuifproef	16			
4.2.3	Pen- en ringschuifproef	17			
4.2.4	Schokschuifproef	18			
4.2.5	Scheur- en afpelproef	18			
4.2.6	Wigsplijtproef	19			
4.2.7	Kruipproef	19			
4.2.8	Vermoeiingsproeven	21			
4.2.9	Duurzaamheidsproeven	21			
4.3	Niet-destructief onderzoek aan	22			
	lijmverbindingen	22			
4.3.1	Fouten in een lijmverbinding	22			
4.3.2	Niet-destructieve onderzoek-	22			
	methoden	22			
4.3.3	Thermische inspectiemethoden	22			
4.3.4	Ultrasone inspectiemethoden	23			
4.3.5	Akoestische resonantiemethoden	24			
4.3.6	Optische holografie	25			
4.3.7	Radiografie	26			
4.3.8	Akoestische emissie	26			
4.3.9	Capaciteitsmeting	26			

Hoofdstuk 1

Inleiding

- ▶ fenolen;
- ▶ smeltlijmen (hot melts).

Het keuren van lijmen en/of lijmverbindingen maakt onderdeel uit van een proces dat kwaliteitsbeheersing wordt genoemd. Naast keuring valt binnen kwaliteitsbeheersing nog te onderscheiden:

- ▶ kwalificatie van de lijmprocedure;
- ▶ controle op de naleving.

Onder kwaliteit van lijmen en lijmverbindingen verstaat men behalve de eigenschappen ook de deugdelijkheid en hoedanigheid. Een wezenlijk onderdeel is ook een omschrijving van het niveau dat dient te worden bereikt.

Kwaliteitsbeheersing wordt verkregen door het uitvoeren van passende werkwijzen en maatregelen. Gestreefd dient te worden naar een kwaliteit die slechts binnen aanvaardbare grenzen varieert. Teneinde op een verantwoorde wijze te (kunnen) produceren vereist kwaliteitsbeheersing naast een technisch ook een zakelijk inzicht. Het toepassen van kwaliteitsbeheersing op gelijmde constructies leidt tot een aantal voordelen:

- ▶ minder afkeur, waardoor per saldo goedkoper kan worden geproduceerd;
- ▶ constante kwaliteit, hetgeen de betrouwbaarheid van het product verhoogt en de reproduceerbaarheid van het productieproces aantoont;
- ▶ betere bescherming van de onderneming met betrekking tot productaansprakelijkheid;
- ▶ verhoging van de motivatie van de productiemedewerkers.

In deze voorlichtingspublicatie worden achtereenvolgens behandeld:

- ▶ overzicht van te lijmen materiaalcombinaties, waarvoor geëigende beproevingsmethoden voor toe te passen lijmen en lijmverbindingen worden gegeven;
- ▶ kwaliteitsbeheersing bij het lijmproces;
- ▶ keuren van lijmen;
- ▶ keuren van lijmverbindingen (zowel niet-destructief als destructief);
- ▶ overzicht van de keuzemogelijkheden van beproevingsmethoden;
- ▶ overzicht van bestaande normen;
- ▶ overzicht van relevante literatuur.

In deze voorlichtingspublicatie worden beproevingsmethoden behandeld voor lijmen die kunnen worden toegepast bij de volgende materiaalcombinaties:

- ▶ metaal-metaal;
- ▶ metaal-kunststof (thermoplast/thermoharder/elastomeer);
- ▶ metaal-anorganisch materiaal (keramiek/glas);
- ▶ kunststof-kunststof (thermoplast/thermoharder/elastomeer);
- ▶ kunststof-anorganisch materiaal;
- ▶ anorganisch materiaal-anorganisch materiaal.

Voorts worden testmethoden gegeven om eigenschappen, deugdelijkheid en/of hoedanigheid te bepalen van lijmtypen zoals:

- ▶ epoxy's;
- ▶ methacrylaten;
- ▶ 'no mix' acrylaten;
- ▶ UV-hardende acrylaten;
- ▶ cyanoacrylaten;
- ▶ anaërobe acrylaten;
- ▶ siliconen;
- ▶ polyurethanen;
- ▶ MS polymeerlijmen
- ▶ polyesters;
- ▶ plastisolten;
- ▶ rubbers (contactlijmen);

Hoofdstuk 2

Kwaliteitsbeheersing bij het lijmen

2.1 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 geschiktheid van de toegepaste materialen;
- ▶ de geschiktheid van de productiemiddelen;
- ▶ de efficiëntie van de werkwijzen en controles;
- ▶ 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 verificerbare wijze worden voortgebracht, zal een ondernemer zich intensief moeten bezighouden met een groot aantal aspecten van kwaliteitszorg.

2.2 Algemene aspecten lijmverbindingen

Lijmen is een verbindingstechniek voor het maken van

samengestelde delen van een constructie. Gelijmde verbindingen worden verkregen door de vorming van een tussenlaag die zich hecht aan het contactoppervlak van de te verbinden delen.

Deze tussenlaag, de lijmlaag, moet voldoende sterkte-eigenschappen bezitten om uitwendige belastingen van het ene deel op het andere deel over te brengen. 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 uitgeharde lijmlaag en het eerste lijmvlak;
- ▶ de cohesiesterkte van de uitgeharde lijmlaag zelf;
- ▶ de adhesiesterkte tussen de uitgeharde 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 aanbrengtoestand, 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 uitgeharde lijmlaag is afhankelijk van:

- ▶ de lijm in de aanbrengtoestand, bijvoorbeeld voor wat betreft de mengverhouding;
- ▶ de uithardingscondities, zoals temperatuur, druk en uithardingstijd.

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

- ▶ de kwaliteit van de werkstukmaterialen;
- ▶ de toestand van de werkstukmaterialen qua voorbehandeling, zoals ontvetten, schuren, stralen, etsen, enz.;
- ▶ de wijze van uitvoering van het lijmproces, zoals bijvoorbeeld de druk, de uithardingsstijd 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;
- ▶ de naadvorm, onder andere de spleetbreedte en de overlap;
- ▶ het ontwerp;
- ▶ de belastingswijze.

Al deze variabelen dienen in een gekwalificeerde lijmprocedure 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 lijmvverbindingen 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 lijmvverbindingen 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;
- ▶ de aanwezigheid van grote risico's;
- ▶ onevenredig verdeelde aansprakelijkheid bij een eventuele schade.

2.3 *Kwaliteitsbeheersing van het lijmmateriaal*

Typekeuring

De lijm voor een constructie wordt veelal gekozen op basis van experimenteel bepaalde eigenschappen, met inachtneming van de wijze van aanbrengen van de lijm, alsmede de gebruiksomstandigheden en levensduur van de constructie.

Daartoe moeten door de lijmfabrikant en/of door de gebruiker proeven worden uitgevoerd. De ontwerpgegevens worden op grond van een typekeuring bepaald.

Ingangscntrole (controle direct 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 of de in het certificaat aangegeven waarden.

Ook al wordt de lijm geleverd onder certificaat, dan dient bij het vaststellen van de ontwerpgegevens toch rekening te worden gehouden met de mogelijke variatie van de eigenschappen. Geregelde controle op de eigenschappen van het lijmmateriaal 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).

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 4).

Wanneer het vloeibare of pastavormige lijmen betreft, waarvan de uitharding 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 uitharding van de lijm, maar bovendien tot andere sterkte-eigenschappen.

Het is bij meercomponentenlijm nodig, dat men geregeld 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 lijmvverbinding.

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

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;
- ▶ *uitrustingen*. 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 lijmmateriaal steeds weer onder de voorgeschreven condities in de gewenste koel- of vriesruimte wordt opgeslagen.

Veroudering van het lijmmateriaal, 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 uitgeharde lijm en de vermindering van de vloeï- en de bevochtigingseigenschappen. De vermindering van de twee laatste eigenschappen kan leiden tot hechtingsproblemen. Van meercomponentenlijm, die bij kamertemperatuur uithardt, dienen het tijdstip van mengen en de mengverhouding nauwkeurig te worden aangegeven en genoteerd met de bijbehorende werkplaatstemperatuur en de bij de aangemaakte hoeveelheid lijm behorende verwerkingstijd. De hechtingseigenschappen kunnen belangrijk verminderen, wanneer de voorgeschreven gebruiksduur wordt overschreden.

2.4 *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 lijmvverbinding langs niet-destructieve weg te controleren.

Voor een goede adhesiekwaliteit is nodig dat:

- ▶ de lijm de juiste fysische en chemische eigenschappen bezit;
- ▶ de verbindingsoverlappen 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 worden uitgevoerd. Omdat bij de chemische onderdompelingsprocessen de samenstelling en de temperatuur van de vloeistof, alsmede 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 afzonderlijke voorbehandelingsprocessen.

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 de voorlichtingspublicatie VM 87 "lijmen van metalen" en hoofdstuk 4 van de voorlichtingspublicatie VM 88 "lijmen van kunststoffen").

Proefstukken voor kwaliteitscontrole

Zolang 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 uitharden.

2.5 *Kwaliteitsbeheersing van de cohesie*

Wanneer gebruik wordt gemaakt van goedgekeurd lijmmateriaal en gelijmd wordt op vlakken waarvan door nauwkeurige procescontrole de adhesie-eigenschappen kunnen worden gegarandeerd, kunnen er alleen nog door de uithardingscondities 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 uithardings temperatuur, de uithardingstijd, de druk tijdens het uitharden en de afkoelgradiënt. Door een juist aanhouden van deze variabelen en het nauwgezet beheersen van de uitvoering, 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. Er zijn hiervoor systemen in de handel, waarmee de temperatuur van een constructie of product op diverse plaatsen gemeten kan worden als functie van de tijd.

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 soms 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 lijmvbinding. 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 in de constructie van plaats tot plaats sterk kan verschillen.

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 uithardings temperatuur. Worden geen dampvormige bijproducten gevormd, dan dient de lijmdruk uitsluitend om de lijmvlakken zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen, zodat de beschikbare lijmhoeveelheid de ruimte tussen de lijmvlakken volledig vult.

Welke lijmdruk moet worden uitgeoefend, hangt af van zowel 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 lijmvbinding.

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 hiervoor 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.

2.6 *Eindcontrole*

Destructieve controle

De kwaliteit van de lijmvbinding 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 minder controleerbare lokale lijmdruk- en temperatuurverschillen. Deze cohesiekwaliteitsverschillen hebben een geringe invloed op de uiteindelijke sterkte. Wel dient met mogelijke variaties van de cohesiekwaliteit in het ontwerp rekening te worden gehouden.

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.

Iedere niet-destructieve inspectie dient vooraf te worden gegaan door 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 4.

Hoofdstuk 3

Keuren van lijm

De gebruiker van lijm moet een reeks keuringen verrichten om te kunnen beoordelen of de kwaliteit van de geleverde lijm voldoet aan de eisen, vermeld in de lijmbestel specificatie.

Men kent verschillende keuringen die praktisch bruikbaar zijn voor de meeste lijmen. Daarnaast heeft men voor bijzondere lijmtypen speciaal aangepaste methoden ontwikkeld.

De chemie van de lijm en zijn verschijningsvorm bepalen welk type keuring moet worden toegepast. Daarnaast bepaalt het of deze een algemene of juist een speciale keuring dient te zijn. Enkele karakteristieke kenmerken en eigenschappen van lijm zijn:

- ▶ stabiliteit en homogeniteit;
- ▶ viscositeit;
- ▶ smelteigenschappen;
- ▶ vaste-stofgehalte;
- ▶ zuurgraad;
- ▶ soortelijke massa;
- ▶ ontvlammingspunt;
- ▶ verwerkingstijd;
- ▶ open tijd;
- ▶ uiterlijk;
- ▶ vloeit (van lijmfilm of -pasta);
- ▶ dikte;
- ▶ glijdingsmodulus;
- ▶ exothermtemperatuur (expansie);
- ▶ glasovergangstemperatuur.

3.1 Stabiliteit en homogeniteit

Een lijm moet gedurende de (gegarandeerde) opslag-tijd onder de opgegeven condities (kamertemperatuur, koel- of vriestemperatuur) bewaard kunnen worden, zonder dat er nadelige effecten op de karakteristieke eigenschappen en sterkte-eigenschappen optreden. Door roeren moeten bij vloeibare lijmen homogeniteitsafwijkingen verdwijnen.

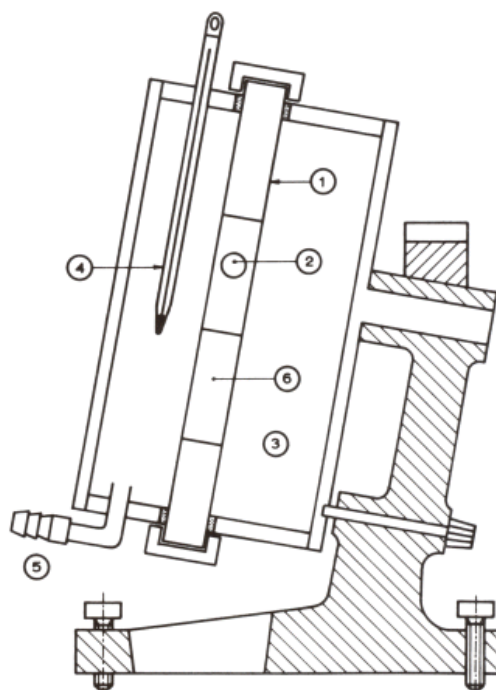
3.2 Viscositeit

Van groot belang is het bepalen van de viscositeit met het oog op het verwerken van de lijm. Er zijn enkele eenvoudige methoden, die een relatieve waarde geven. Een overzicht van gebruikelijke methoden voor bepaling van de viscositeit van lijmen is gegeven in NEN-EN 12092 en in ASTM D 1084. Eén ervan is de proef met de vallende kogel (figuur 3.1). Men bepaalt de tijd, die een standaardkogel nodig heeft, om een bepaalde afstand in de lijm af te leggen (alleen geschikt voor vloeibare lijmen).

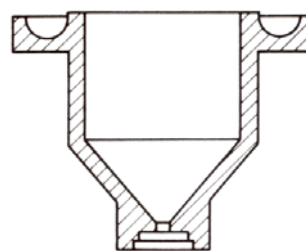
Een andere veel gebruikte methode is de bepaling van de uitloopnelheid van een hoeveelheid lijm bij een bepaalde temperatuur. Men gebruikt hierbij zogenaamde 'cups' volgens NEN-EN-ISO 2431, welke een opening hebben van 3, 4 of 6 mm (figuur 3.2). In dit verband spreekt men bijvoorbeeld nog steeds van DIN-cup 4. Verder bestaan er diverse rotatie-viscosimeters, onder andere de Brookfieldviscosimeter (figuur 3.3). Hierop leest men de viscositeit direct af.

3.3 Smelteigenschappen

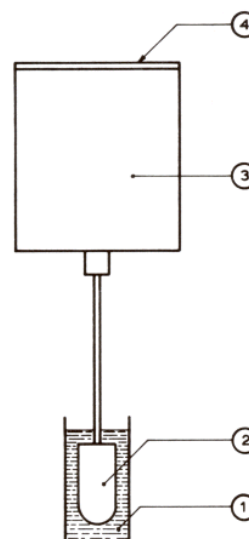
Bij smeltlijnen is het bepalen van het smeltpunt van belang. Een bruikbare methode is de 'Ring and Ball' methode, waarbij men de temperatuur bepaalt waarbij een standaardkogel door de massa zakt (NEN-EN 1238). Ook is het mogelijk de smelttemperatuur te bepalen



figuur 3.1 Proef met de vallende kogel. Viscosimeter volgens Höppler
1 = glazen buis; 2 = kogel; 3 = watermantel; 4 = thermometer; 5 = aansluiting thermostaat; 6 = te meten vloeistof



figuur 3.2 Uitstroombeker ('cup') volgens NEN-EN-ISO 2431



figuur 3.3 Principe rotatieviscosimeter berust op weerstand tegen draaien in een vloeistof
1 = beker met te meten vloeistof; 2 = meetlichaam; 3 = aandrijving; 4 = schaal

met de Koffler-smeltbank, een ca. 300 mm lange verwarmde plaat met in de lengte oplopende temperatuur. Verder is een belangrijke bepaling de smelt-index. Dit is de hoeveelheid gesmolten lijm in grammen die per 10 minuten onder de voorgeschreven temperatuur en druk uit een gekalibreerde opening vloeit.

3.4 Vaste-stofgehalte

Bepalen van het vaste-stofgehalte is geschikt om snel een eventuele afwijking te bepalen. Men kan hier uitgaan van 5 gram lijm en deze drogen tot constant gewicht of deze 5 gram bij een constante temperatuur gedurende een vaste periode, bijvoorbeeld 2 uur, drogen. Het vaste-stofgehalte kan bepaald worden volgens NEN-EN 827.

3.5 Zuurgraad

De pH-meting kan belangrijk zijn om een oordeel te krijgen over de stabiliteit van een lijm. Men bepaalt de pH-waarde met behulp van indicator-papier of, nauwkeuriger, met een pH-meter.

3.6 Soortelijke massa

Voor het bepalen van de soortelijke massa bestaan er voor vloeibare lijmen eenvoudige apparaatjes met een bekende inhoud. Na wegen kan men dan de soortelijke massa gemakkelijk bepalen (zie ASTM D1875-80). Voor vaste stoffen kan men het principe toepassen van bepalen van de hoeveelheid verplaatste vloeistof met behulp van een pyknometer (zie NEN-EN 542). Voor lijmfilmmaterialen wordt de soortelijke massa per oppervlakte-eenheid (m^2) bepaald door middel van wegen.

3.7 Ontvlammingspunt

Bij lijmen met een brandbaar oplosmiddel, kan het wenselijk zijn dat het ontvlammingspunt wordt bepaald. Het meest gebruikte apparaat is dat van Abel Pensky. Onder ontvlammingspunt of vlampunt wordt verstaan de laagste temperatuur, waarbij uit de vloeistof zoveel damp ontstaat, dat deze in contact met de lucht door middel van een vlam tot ontbranding kan worden gebracht (NEN-EN 924).

3.8 Verwerkingstijd

Elk lijm materiaal heeft een karakteristieke verwerkingstijd. Bij meercomponentenlijmen is ook de verhardingstijd belangrijk. De houdbaarheid na menging (potlife) is de tijd, waarin de lijm nog verwerkbaar is nadat de componenten zijn gemengd.

Bij lijmfilmmaterialen is de verwerkingstijd bij omgevingstemperatuur belangrijk ('shop life'). De verwerkingstijd kan volgens ISO 10364 of ASTM D1338 worden bepaald.

3.9 Open tijd

Van praktisch nut is de zogenaamde 'open tijd' van een contactlijm te kennen. Men bepaalt deze door op een standaardmateriaal, bijvoorbeeld hard PVC-folie, lijm aan te brengen en na vaste tijdsintervallen te onderzoeken of twee van deze belijmde strips onder een bepaalde druk nog aan elkaar hechten.

3.10 Uiterlijk

In vloeibare lijm materialen mogen geen klonten, uitzakkers, blazen enz. aanwezig zijn. In lijmfilmmaterialen mogen geen scheuren, gaten, 'voids' (luchtbellen), 'pinholes', diktevariaties, 'banden', enz. aanwezig zijn.

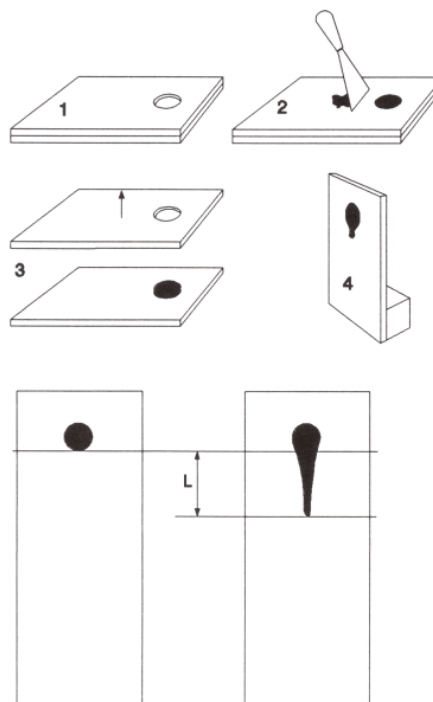
3.11 Vloei-eigenschappen van lijmfilms

De vloei van lijmfilms wordt bepaald (in procenten) door een cirkelvormig stuk lijmfilm (meestal 40 mm in doorsnede) zonder beschermfolies uit te harden bij een

gespecificeerde druk van 350 kPa en de gewenste uithardingstemperatuur. De afmetingen van het oppervlak van de lijmfilm na het uitharden wordt vergeleken met het oppervlak van de lijmfilm voor het uitharden en uitgedrukt in een vloeipercentage.

3.12 Vloei-eigenschappen van lijmpasta's

De vloei van lijmpasta's wordt bepaald door een gedefinieerde hoeveelheid lijmpasta (\varnothing 38 mm; 1,6 mm dik) van een gereinigd verticaal vlak te laten lopen (vloeien) gedurende een gedefinieerde tijd (bijvoorbeeld 5 minuten of 24 uur). De mate van uitzakking wordt gemeten in millimeters (zie figuur 3.4). Deze proef geeft tevens een indicatie van de thixotropie van de lijm. De vloei van lijm materialen wordt ook gebruikt als maat voor de controle van de veroudering door opslagcondities. NEN-EN-ISO 14678 geeft een aantal methoden om deze proeven uit te voeren.



figuur 3.4 Bepaling vloei-eigenschappen van lijmpasta's

3.13 Dikte (van lijmfilm)

Het bepalen van de lijmfilmdikte is geschikt om snel een eventuele afwijking vast te stellen. De lijmfilmdikte wordt bepaald met behulp van een micrometer.

3.14 Glijdingsmodulus

Ter bepaling van de glijdingsmodulus (stijfheid) in afhankelijkheid van de temperatuur van lijm materialen, voornamelijk film- en pasta-achtige materialen, wordt de torsiependulumproef volgens NEN-EN-ISO 6721-2 uitgevoerd.

Tevens kan de glijdingsmodulus van lijm materialen worden bepaald met behulp van een afschuifproef uitgevoerd volgens NEN-EN 2243-6, NEN-EN 14869-2, of ASTM D-5656. Hierbij worden op een speciale manier dikke proefstrip materialen aan elkaar gelijmd. Aan de hand van de verplaatsing van de strippen tijdens het belasten en de belasting zelf wordt de glijdingsmodulus van de lijm bepaald.

3.15 Exothermtemperatuur

Indien (expanderende) lijm materialen in grote hoeveel-

heden worden toegepast (bijvoorbeeld bij meerdere lagen), kan de polymerisatiereactie een zodanige warmteontwikkeling veroorzaken, dat het belangrijk is te weten welke maximale temperatuur, ook genoemd exotherm of exothermtemperatuur, tijdens het uitharden optreedt. Te hoge temperaturen kunnen zowel voor de lijm als voor de te lijmen materialen nadelig zijn. Deze exothermtemperatuur kan bijvoorbeeld worden bepaald met behulp van een thermokoppel centraal geplaatst in de lijmmassa.

3.16 *Expansie*

De expansie van schuimlijmfilm wordt bepaald door het meten van de dikte van de lijmfilm voor en na het uitharden en wordt uitgedrukt als een percentage van de uitgangsdikte. De expansie is een maat voor de versheid van schuimlijmfilm.

3.17 *Glasovergangstemperatuur*

De glasovergangstemperatuur is de temperatuurgrens waarboven het lijm materiaal plastisch (rubberachtig) wordt. Dit komt voor bij alle polymeren.

Voor het bepalen van de glasovergangstemperatuur van lijm materialen kan gebruik worden gemaakt van de al eerder genoemde torsiependulumproef volgens NEN-EN-ISO 6721-2. Tevens kan de glasovergangstemperatuur worden bepaald door middel van thermische chemisch-analytische methoden zoals de DMA methode (Dynamisch Mechanische Analyse) of de DSC-methode ('Differential Scanning Calorimetry'). Met deze methoden kan de versheid van lijm materialen worden bepaald.

Hoofdstuk 4

Keuren van de lijmverbinding

4.1 Inspectie van voorbehandelde oppervlakken

Inspectie van voorbehandelde oppervlakken heeft tot doel te controleren of de voorbehandeling goed is uitgevoerd, zodat daarmee een goede adhesie tussen lijm en substraat is gewaarborgd. De mate van adhesie tussen lijm en substraat wordt mede bepaald door de afwezigheid van oppervlaktevontreinigingen en, in het geval van een metallisch substraat, door de dikte van de oxidehuid. De toe te passen inspectietechnieken hebben dan ook als voornaamste doel oppervlaktevontreinigingen te detecteren en/of de dikte en oppervlaktestructuur van een oxidehuid te bepalen.

Technieken

Voor het inspecteren van voorbehandelde oppervlakken komen vele technieken in aanmerking, van eenvoudige technieken zoals de vloeistoftest, tot zeer geavanceerde oppervlaktestechnieken zoals SEM en SIMS. Naast de genoemde niet-destructieve technieken kan de adhesiekwaliteit ook worden gecontroleerd met behulp van scheurproefstukken. Afhankelijk van de beschikbare technieken en de mogelijkheden om deze tijdens het productieproces toe te passen, moet er een keuze worden gemaakt.

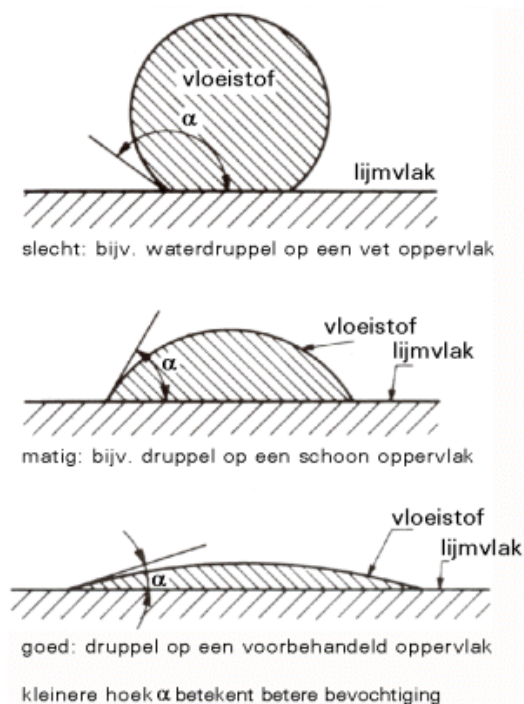
Vloeistoftest

Een eenvoudige en praktische testmethode voor de controle van het schoon en vetvrij zijn van een oppervlak is de vloeistoftest. Bij deze techniek wordt er vanuit gegaan dat een bepaalde vloeistof, dikwijls een mengsel van een polaire (bijvoorbeeld water) en een apolaire stof, zich bij een technologisch schoon oppervlak als een film over het oppervlak zal verspreiden. Op de plekken waar een verontreiniging aanwezig is, zal een onderbreking van de vloeistoffilm optreden en aldus is een oppervlaktevontreiniging aan te tonen. Hierbij doet zich wel het gevaar voor, dat wanneer er nog een laag van het schoonmaakmiddel aanwezig is, er toch een ononderbroken vloeistoffilm kan worden gevormd. De indruk kan dan ontstaan, dat het oppervlak vrij is van verontreinigingen. De vloeistoftest kan in het productieproces na elke spoelbeurt worden toegepast.

Meting van de contacthoek

Wellicht één van de oudste methodes voor het vaststellen van het schoon en vetvrij zijn van een oppervlak, is het bepalen van de bevochtiging van het oppervlak door een vloeistofdruppel door middel van een contacthoekmeting. Hiervoor zijn een reeks van vloeistoffen beschikbaar (zie figuur 4.1 voor een voorbeeld met water). De methodiek van NEN-EN 828 kan worden gevolgd om de kritische oppervlakteste-energie van het oppervlak vast te stellen.

Voor een goede bevochtiging moet de contacthoek bijna gelijk aan nul zijn, afhankelijk van de gebruikte vloeistof. De contacthoek is dan echter zeer moeilijk te bepalen. In de praktijk levert deze techniek daarom nogal wat problemen op, omdat kleine verschillen in de contacthoek het verschil kunnen uitmaken tussen een goede en slechte bevochtiging van het substraat. De contacthoekmeting kan in het productieproces niet alléén worden toegepast om uitsluitend te geven over de schoonheid van een oppervlak, omdat de uitslag slechts geldt voor het bevochtigde (druppel-)oppervlak.



figuur 4.1 Bevochtiging

Meting van de elektronen-emissie-energie

Een andere techniek voor het bepalen van het schoon en vetvrij zijn van een voorbehandeld oppervlak is die, waarbij de energie, die elektronen moeten bezitten om aan het substraattooppervlak te ontsnappen, wordt gemeten. Deze elektronen-emissie-energie wordt ook wel Volta-potentiaal genoemd en wordt bepaald volgens de "Kelvin dynamic condenser method". Bij deze methode wordt een gouden referentieplaat, afgeschermd tegen milieu-invloeden, in de nabijheid van het substraattooppervlak gebracht. De referentieplaat wordt via een elektrische weerstand in elektrisch contact gebracht met het substraat. In de lichtspleet tussen referentieplaat en substraat is nu een elektrisch veld aanwezig. Wordt de referentieplaat ten opzicht van het substraat bewogen of in trilling gebracht, dan zal er een lading door de elektrische weerstand gaan lopen. Is de uitgevoerde beweging een sinusfunctie, dan kan deze lading op een oscilloscoop zichtbaar worden gemaakt. Een tweede elektrisch circuit zorgt ervoor, dat dit oscilloscoopsignaal tot nul wordt gereduceerd door de lading van de referentieplaat op een bepaalde hoogte in te stellen. Deze ingestelde lading is nu de Volta-potentiaal en een maatstaf voor de reinheid van het substraattooppervlak. Des te lager de Volta-potentiaal des te schoner het oppervlak.

De methode is uitermate geschikt voor het detecteren van resten van schoonmaakmiddelen, geabsorbeerde waterdamp en andere verontreinigingen. Een nadeel is dat de methode extreem gevoelig is voor elektrische signalen van buitenaf.

De Volta-potentiaalmeting is niet eenvoudig toepasbaar in het productieproces, omdat de nauw getoleerde lichtspleet tussen de referentieplaat en het voorbehandelde productoppervlak het resultaat beïnvloedt. Gekromde productoppervlakken vragen gekromde referentieplaten.

Een apparaat voor de meting van de elektronen-emissie-energie is de Fokker Contamination Tester.

OSEE-meter

Een ander instrument dat op basis van de emissie van elektronen van een oppervlak indicatie geeft van de reinheid van dat oppervlak is de OSEE-meter ('Opti-

cally Stimulated Electron Emission') dat op snelle wijze de mate van oppervlakte vervuiling kan bepalen. Bij deze methode schijnt een kleine UV-bron op een oppervlak waardoor elektronen van het beschreven metaal of kunststof oppervlak zoveel energie verkrijgen, dat zij kunnen ontsnappen. Naarmate er minder vervuiling op het oppervlak aanwezig is, zullen meer elektronen uit-treden, hetgeen leidt tot een evenredig hoger signaal. Het signaal is tevens afhankelijk van de oxidelaag van het oppervlak.

Meting van de oppervlakte-impedantie

De methode voor het meten van de oppervlakte-impedantie als maatstaf voor een wel of niet goed voorbehandeld oppervlak, wordt vooral bij de dunne oxidehuiden van gebeitste of geanodiseerde oppervlakken toegepast. De oppervlakte-impedantie is afhankelijk van de dikte van de oxidehuid en daarmee van de uitgevoerde voorbehandeling. Voor meting van de oppervlakte-impedantie wordt een rubberen ring met een bekend oppervlak op het te testen substraat geplaatst. Binnen in de holte wordt nu een NaCl-oplossing aangebracht. Twee elektrodes, waarvan de een in contact staat met de NaCl-oplossing en de andere met het substraat, meten nu de impedantie in het elektrisch circuit bij een bepaalde frequentie. Hoe lager de oppervlakte-impedantie, des te dunner is de oxidehuid. De methode is ook geschikt voor het onderscheiden van verschillende gewenste of ongewenste oxidestructuren ontstaan na het beitsen of anodiseren. De oppervlakte-impedantiemeting is beperkt toepasbaar in het productieproces, omdat het resultaat slechts geldt voor het afgetaste (rubberen ring) oppervlak.

Geavanceerde oppervlakte-analyse-technieken

Ter beschikking staan zeer geavanceerde oppervlakte-analyse-technieken zoals SEM, SIMS, AES en ESCA. Bij het ontwikkelen van nieuwe voorbehandelingsmethoden kunnen deze echter zeer waardevol zijn. Met de Scanning Electron Microscope (SEM) kan de oppervlaktestructuur, verkregen na een voorbehandeling (ontvetten, schuren, beitsen, anodiseren, enz.), heel goed worden geanalyseerd. Op deze wijze kunnen de effecten van verschillende procesparameters (zoals temperatuur, badsamenstelling, anodiseervoltage) op de oppervlaktestructuur worden vergeleken. Met SIMS (Secundaire ionen massa spectroscopie) is het mogelijk om de samenstelling van een oppervlaktelaag te analyseren. Dit analyseren kan laag na laag gebeuren, zodat ook nog een diepteprofiel van de laag-samenstelling kan worden gegeven. Men kan bepalen of bijvoorbeeld na het etsen het etsmiddel volledig is weggespoeld, of dat er nog resten zijn achtergebleven (hetgeen vaak het geval is!).

Met AES (Auger elektronen spectroscopie) wordt zeer nauwkeurig de samenstelling van de buitenste laag van het oppervlak bepaald. Door het oppervlak van de te onderzoeken stof met elektronen te bombarderen komen Auger elektronen vrij, die een energie spectrum geven, waarvan de pieken karakteristiek zijn voor de aanwezige elementen. Bij XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopie) of ESCA (Elektronen Spectroscopie voor Chemische Analyse) wordt het oppervlak gebombardeerd met röntgenstralen. Van de buitenste atomen komen elektronen vrij, waarvan de bindingsenergie nauwkeurig kan worden gemeten. Dit levert dus niet alleen informatie over welke elementen aanwezig zijn, maar ook hoe zij gebonden zijn. Ook met deze technieken is het mogelijk diepteprofielen van de oppervlakte samenstelling te maken.

In het algemeen worden deze zeer geavanceerde analysetechnieken niet toegepast als kwaliteitscontrole, vanwege de daaraan verbonden kosten en doorlooptijd, maar ze kunnen zeer bruikbaar zijn bij het oplossen van problemen of het optimaliseren van processen.

Scheurproefstukken (controle van de adhesiekwaliteit)

Naast de genoemde niet-destructieve technieken kan de adhesiekwaliteit ook worden gecontroleerd met behulp van scheurproefstukken die tegelijkertijd met de productoppervlakken worden voorbehandeld.

Deze proefstukken worden separaat van de producten van lijmmateriaal voorzien, bij voorgeschreven druk en temperatuur uitgehard en vervolgens destructief beproefd, waarna het resultaat op voldoende adhesiesterkte wordt gecontroleerd. De scheurproef heeft aangetoond gevoelig te zijn voor variaties in adhesiekwaliteit. Indien gewaarborgd is dat de behandeling van de scheurproefstukken representatief is voor de behandeling van de productoppervlakken, dan is deze techniek eenvoudig in het productieproces toepasbaar.

4.2 Destructief onderzoek aan lijmverbindingen

Het doel van destructief onderzoek is het bepalen van de sterkte-eigenschappen van de lijmverbinding in een bepaalde belastingssituatie. Proefresultaten zijn in een getal weer te geven en zijn vergelijkbaar. De resultaten van het destructieve onderzoek kunnen ook dienen als verificatie van de verkregen resultaten van niet-destructief onderzoek.

Het doen van destructief onderzoek kan bij lijmverbindingen voor verschillende doeleinden worden uitgevoerd, zoals:

- ▶ typekeuring;
- ▶ ingangscntrole;
- ▶ productiecontrole;
- ▶ eindcontrole.

De typekeuring geschiedt om de verschillende eigenschappen van de lijm vast te stellen en te beoordelen of de lijm geschikt is voor de toepassing in het desbetreffende product onder de verwachte gebruiksomstandigheden. De proefresultaten van de typekeuring kunnen gebruikt worden als kwalificatie van het lijmmateriaal, en als basis voor een specificatie van de vereiste eigenschappen bij levering van de lijm. De proeven in het kader van ingangs-, productie- en eindcontrole zijn erop gericht die eigenschappen van de lijm en de lijmverbinding te onderzoeken, die het duidelijkste beeld geven van de kwaliteit van de gebruikte materialen en productieprocessen. Deze proeven kunnen worden vergeleken met de oorspronkelijk opgestelde specificatie en er dient actie te worden ondernomen, indien niet meer aan de gestelde eisen wordt voldaan.

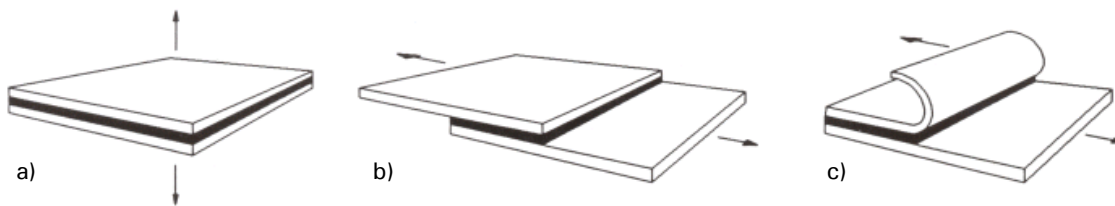
Bij de keuze van proeven en proefstukken moet men zich er rekenschap van geven, in hoeverre de verkregen proefresultaten overeenstemmen met de werkelijke eigenschappen van de in de praktijk toe te passen lijmverbinding. De proefstukafmetingen en de proefuitvoering wijken meestal af van de werkelijke praktijksituatie en hebben invloed op het resultaat.

Voor het bepalen van de sterkte-eigenschappen worden in normbladen de uitvoering van de proeven en de proefstukafmetingen voorgeschreven. De meest voorkomende normen in Nederland zijn NEN-EN (Nederlandse en Europese norm) en ASTM (American Society for Testing and Materials). De door de fabrikanten van lijmmaterialen opgegeven sterkte-eigenschappen van de lijmsorten zijn meestal gerelateerd aan de beproevingsvoorwaarden van deze normen.

NEN-, EN- en ISO- normenbladen zijn verkrijgbaar bij de Nederlandse normalisatie organisatie NEN (<http://normen.nen.nl/>).

De meest gebruikte proeven zijn (figuur 4.2):

- a) trekproeven;
- b) schuifproeven;
- c) scheur- of afpelproeven.



figuur 4.2 Meest voorkomende destructieve proeven

Verder mogelijke proeven zijn:

- ▶ splijtproeven;
- ▶ kruipproeven;
- ▶ vermoeingsproeven;
- ▶ schokproeven.

Al deze proeven kunnen worden uitgevoerd bij verschillende temperaturen en belastingssnelheden, al dan niet blootgesteld aan klimatologische of gebruiksomstandigheden. Voor het verkrijgen van reproduceerbare resultaten moet de beproevingstemperatuur en de belastingssnelheid gelijk worden gehouden. De belastingssnelheid is voor sommige proeven voorgeschreven.

Het is niet in alle gevallen mogelijk de resultaten van korte termijn proeven te "vertalen" naar lange termijn waarden. Afhankelijk van de eisen die aan de lijmverbinding worden gesteld, is het soms noodzakelijk over een langere termijn proeven uit te voeren, waarbij bijvoorbeeld de spanning en de temperatuur worden gevarieerd. De verkregen uitkomsten kunnen dan eventueel worden geëxtrapoleerd naar langere tijden om een schatting te kunnen maken van de sterkte van de verbinding na een bepaalde gebruiksduur. Ook kunnen de lijmverbindingen kunstmatig worden verouderd, door deze te exposeren gedurende een bepaalde tijd onder extreme omstandigheden en bij een maximale gebruikstemperatuur, waarna de reststerkte wordt bepaald.

De belangrijkste standaardproeven worden in de volgende hoofdstukken behandeld.

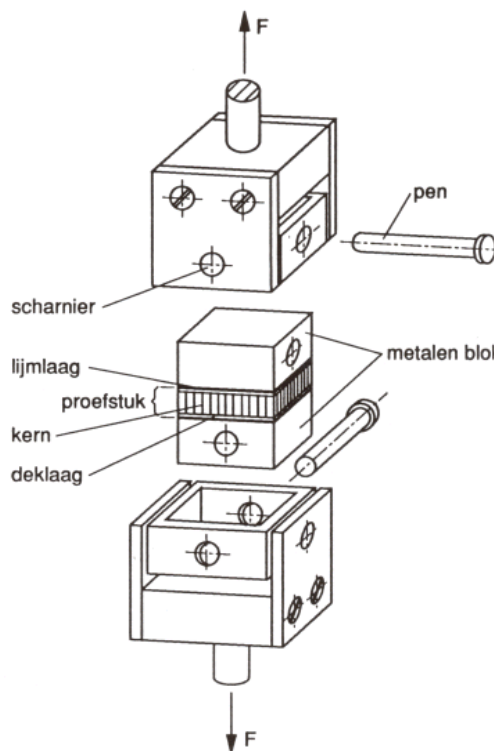
4.2.1 Trekproef

Voor het bepalen van de treksterkte van een lijmverbinding is een aantal beproevingsmethoden beschikbaar. Afhankelijk van de toepassing van de lijmverbinding moet een keuze worden gemaakt welke proef de praktijkomstandigheden het best benadert. Wordt de lijmverbinding vooral op trek belast, dan levert de keuze niet veel problemen op.

Wordt de lijmverbinding ook op andere manieren belast, dan dient ook de sterkte bij andere belastingvormen te worden bepaald.

Om lijmverbindingen zuiver op trek te belasten, mogen er geen buigende momenten optreden als gevolg van een onjuiste inspanning van het proefstuk in de trekbank of het optreden van een ongelijkmatige lijmlaagdikte. De beste manier om buigspanningen te vermijden, is het draaibaar monteren van het proefstuk om twee assen in de bekken van de trekbank (zie figuur 4.3), waarin een trekproefstuk volgens de NEN-EN 2243-4 voor het beproeven van een honingraatconstructie is weergegeven. Bij het beproeven van honingraatconstructies wordt in hoofdzaak de sterkte van de gehele constructie bepaald.

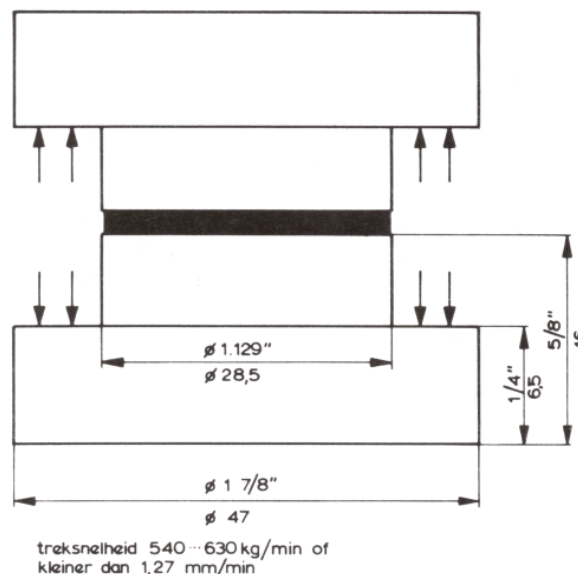
Wanneer de treksterkte van lijmnaden tussen vlakke dunne platen moet worden bepaald, lijmt men wel blokken aan beide zijden op het gelijkde platenpakket. Er dient hierbij wel op gelet te worden, dat de hechtlijm sterker moet zijn dan de toegepaste lijm van de te beproeven lijmverbinding, of dat het hechtlijmoppervlak groter is dan het te beproeven lijmoppervlak.



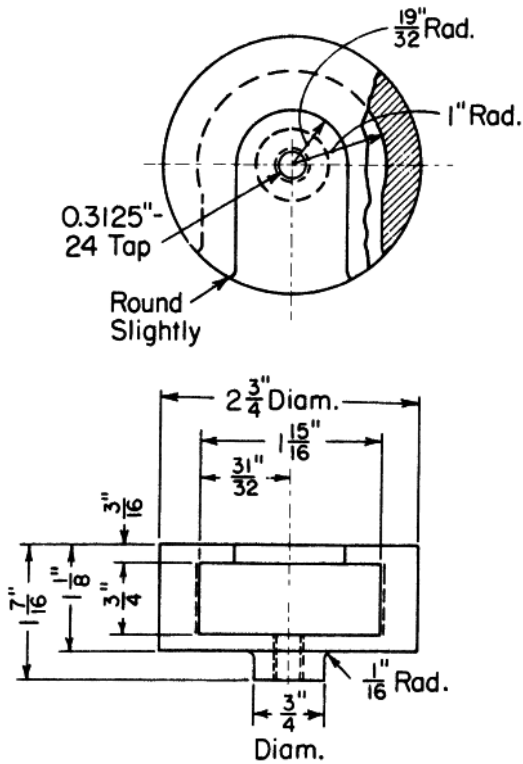
figuur 4.3 Trekproefstuk voor honingraatconstructies volgens NEN-EN 2243-4

Een andere trekproefstukvorm wordt gegeven in de figuren 4.4 en 4.5, waarin een proefstuk wordt weergegeven volgens ASTM. Deze proefstukken zijn vergelijkbaar en verschillen alleen in inspanning.

Een voorbeeld van een bijzondere trekproef wordt gegeven in figuur 4.6, waarmee de delaminatiesterkte van honingraatkernmateriaal wordt bepaald.



figuur 4.4 Trekproefstuk volgens ASTM D897



figuur 4.5 Inspangereedschap voor trekproefstuk volgens ASTM D897

4.2.2 *Schuifproef*

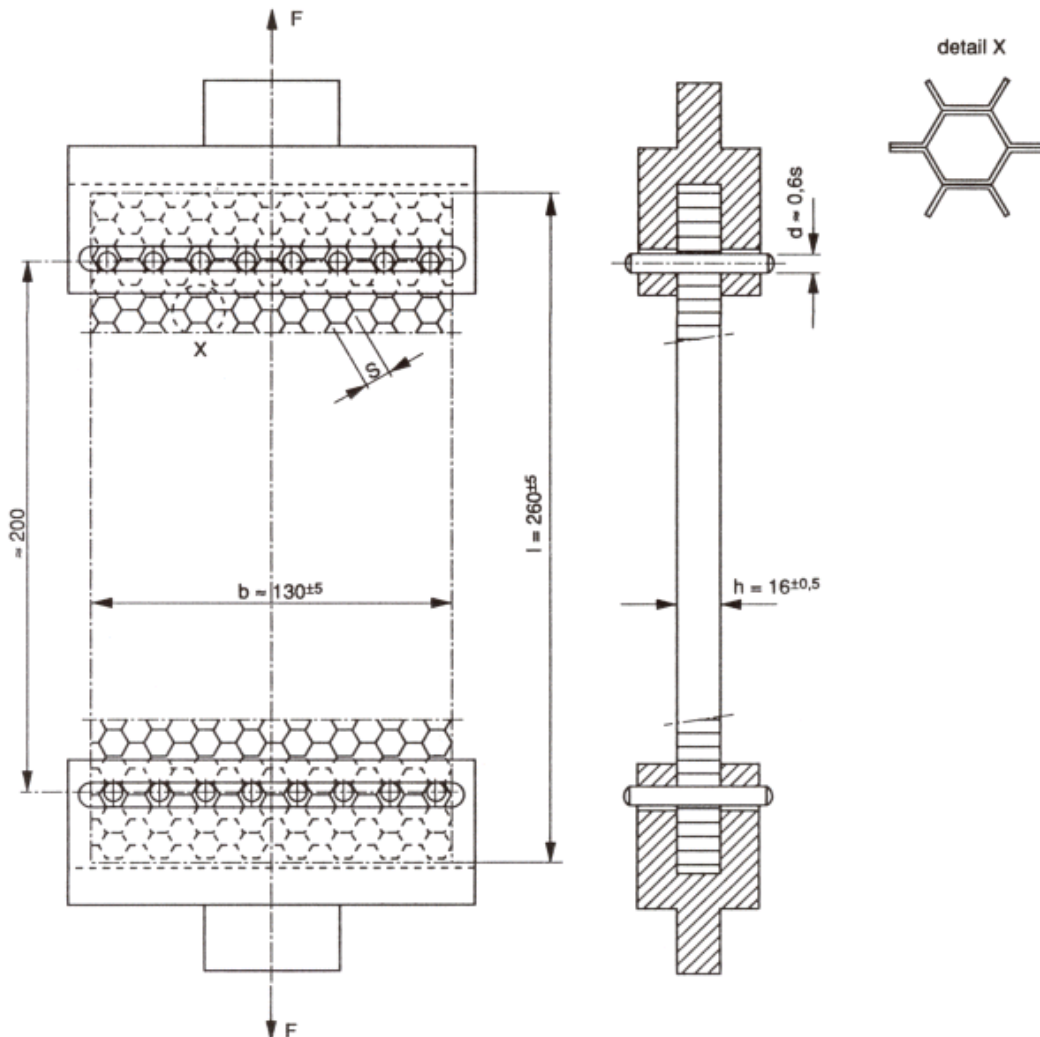
De meest voorkomende proef voor lijmverbindingen is de schuifproef op lapnaadverbindingen, omdat er bij het construeren van lijmverbindingen naar moet worden gestreefd, dat de lijmverbindingen in hoofdzaak afschuifbelastingen moeten opnemen. Tevens is deze proef eenvoudig uit te voeren en daardoor goedkoop. Wel moet er, evenals bij de trekproef, naar worden gestreefd dat er geen buigend moment kan optreden.

Zoals in hoofdstuk 2.4 reeds is aangehaald, wordt de gemiddelde breukschuifspanning van gelijmde lapnaden door een aantal factoren beïnvloed zoals door:

- ▶ de dikte van het te lijmen plaatmateriaal;
- ▶ de dikte van de lijmlaag;
- ▶ de overlappende lengte;
- ▶ de elasticiteitsmodulus en de rekgrens van het plaatmateriaal;
- ▶ de elasticiteitsmodulus van het lijm materiaal;
- ▶ de treksnelheid.

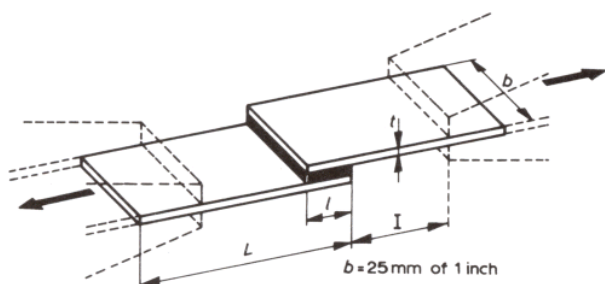
De rekgrens van het te lijmen materiaal speelt alleen een rol als de lijmlaag zo sterk is, dat de rekgrens wordt overschreden.

Wil men met behulp van de lapnaadschuifproeven een lijmverbinding beoordelen, dan moeten deze factoren bij verschillende proeven gelijk worden gehouden. De wijze van uitvoering van de proeven kan ook invloed hebben op het resultaat. In het bijzonder zijn bij deze proef de afstand van de lijmlaag tot de klembekken van de trekbank van belang.



figuur 4.6 Trekproef voor de bepaling van de delaminatiesterkte van honingraatmaterialen volgens ASTM C363

De meest eenvoudige schuifproef is de enkelvoudige lapnaadschuifproef (figuur 4.7), deze wordt daarom vaak toegepast. Het nadeel van de proef is de excentrische belastingswijze van de beide proefstukdelen met als gevolg een buigend moment ter plekke van de lijmverbinding, hetgeen resulteert in het optreden van vervormingen in de plaatdelen, vooral bij dunne plaat. Deze ongunstige belastingswijze kan enigszins worden geëlimineerd door stukjes van het te beproeven materiaal op de uiteinden aan te brengen (figuur 4.8), waardoor in ieder geval de belasting centrisch wordt ingeleid.



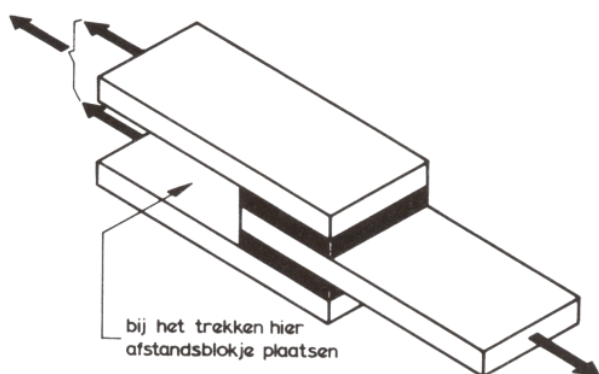
figuur 4.7 Enkelvoudige lapnaadschuifproef
 $l = 12,5 \text{ mm}$
 $L = 100 \text{ mm}$
 $t = 50 \text{ mm}$



figuur 4.8 Afschuifproef met enkele overlap

Is de excentrische belasting ongewenst, dan kan men kiezen voor de dubbele lapnaadschuifproef (figuur 4.9). De breukspanning wordt bij deze proef bepaald uit de breukkracht, op het moment dat er breuk optreedt in één van de lijmnaden, gedeeld door het oppervlak van beide lijmvlakken, ondanks dat het andere lijmvlak nog niet gebroken is.

De lapnaadschuifproef is in een aantal landen genormeerd. Verwezen wordt naar de normen ISO 4587, NEN-EN 2243-1, NEN-EN 1465, ASTM D1002 en ASTM D3163 t/m D3166.



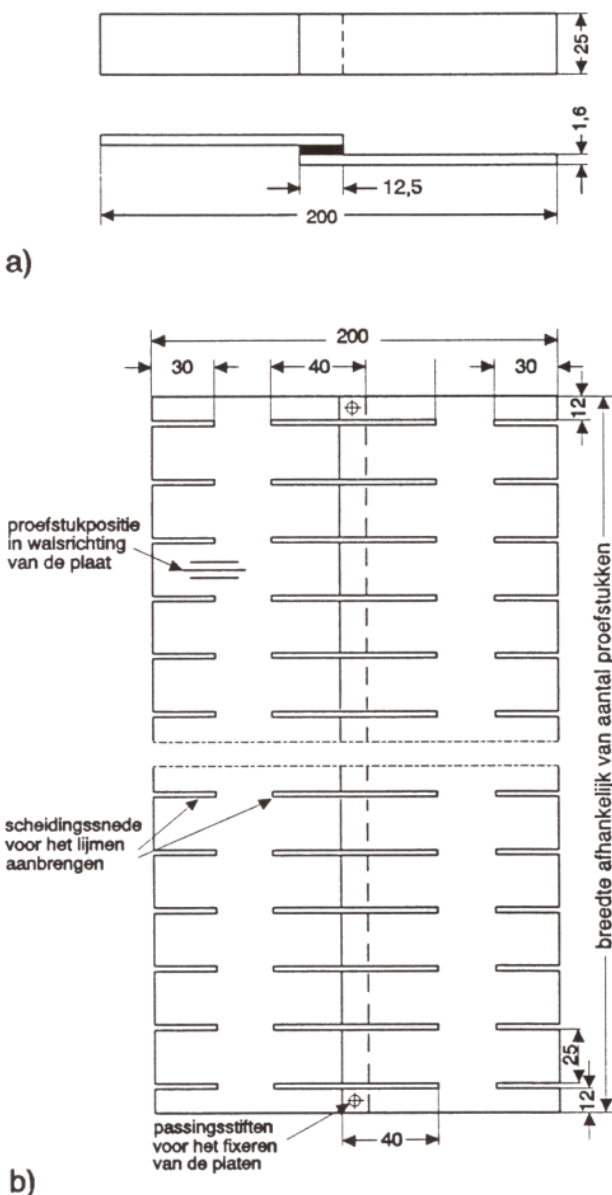
figuur 4.9 Dubbele lapnaadschuifproef

Figuur 4.10a en 4.10b geven de mogelijke vervaardigingsvorm aan voor een serie enkelvoudige lapnaadproefstukken volgens NEN-EN 1465.

Indien lapnaadschuifproeven moeten worden uitgevoerd voor de beoordeling van een gereed product, dan is het wenselijk zoveel mogelijk bij de keuze van de overlappende lengte van het proefstuk eenzelfde plaatdikte/overlappende verhouding na te streven. Tevens

moeten de verbindingen uit hetzelfde materiaal als het gereed product worden genomen.

Dan nog blijft er een mogelijkheid bestaan, dat de andere genoemde invloedsfactoren tot afwijkende resultaten leiden in vergelijking met de oorspronkelijke typekeuringsgegevens. Het wordt daarom aanbevolen van de definitieve gelijmde constructie de belangrijkste verbindingen apart te beproeven.

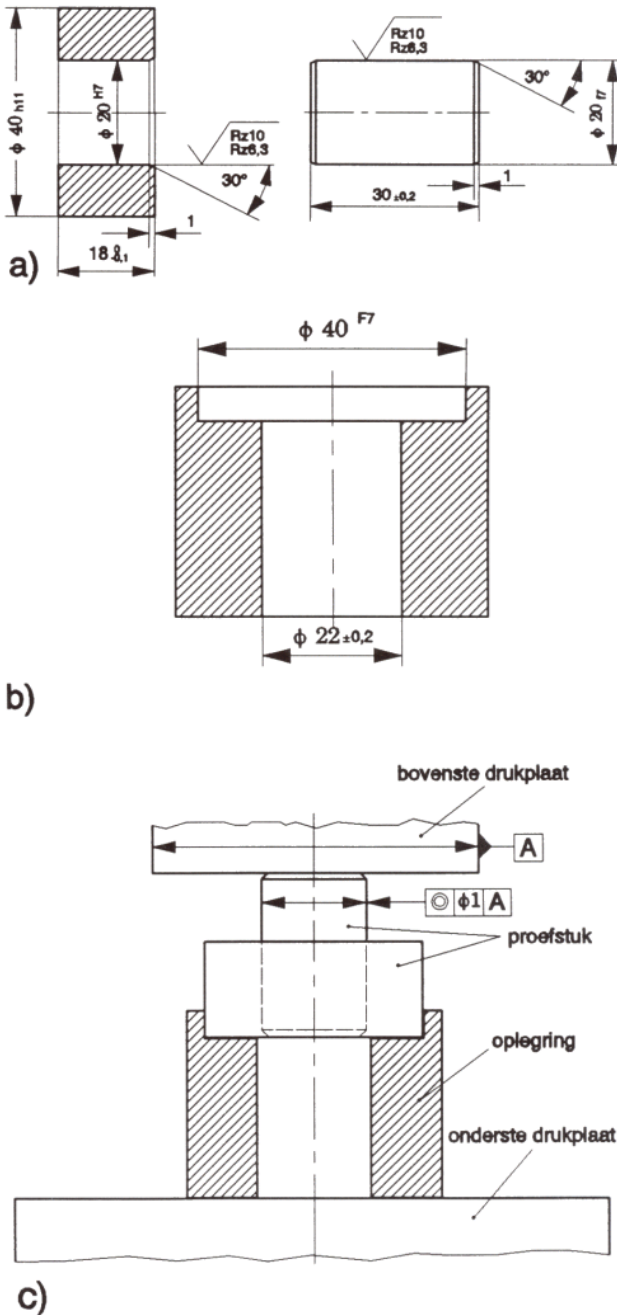


figuur 4.10 Afschuifproefstuk volgens NEN-EN 1465
 a. Enkelvoudige lapnaadschuifproefstuk
 b. Indeling aanmaak proefstukken

4.2.3 Pen- en ringschuifproef

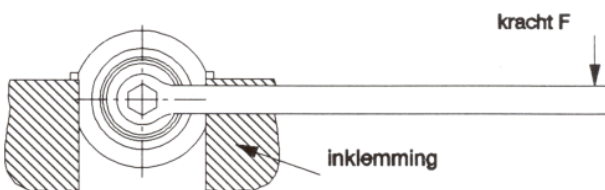
Bij toepassing van ring- of buisvormige lijmverbindingen is de pen- en ringschuifproef geschikt om dit soort verbindingen op sterkte te testen. Bij het lijmen van dit soort verbindingen is het van belang te onderzoeken in hoeverre de lijm in staat is de ruimte te vullen tussen de cilindrische lijmvlakken, die niet door uitwendige druk naar elkaar toe kunnen bewegen.

In figuur 4.11 wordt het proefstuk voor de pen en ring axiale schuifproef) volgens DIN 54452 gegeven. Dit proefstuk kan ook voor de torsieschuifproef worden gebruikt, waarbij alleen de pen voorzien is van een zeskant.



figuur 4.11 Pen- en ringschuifproefstuk volgens DIN 54452
 a. Vorm en maten van ring- en penschuifproefstuk
 b. Oplegging
 c. Proefopstelling

Bij de torsieschuifproef wordt gebruik gemaakt van een torsiesleutel (figuur 4.12), waarmee het maximum torsiemoment wordt gemeten.



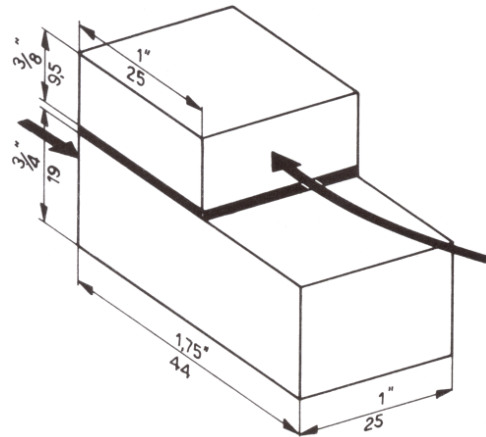
figuur 4.12 Torsieschuifproef volgens DIN 54455

Er kunnen ook constructies voorkomen, waarbij de spleet veel groter is dan die bij het testproefstuk, bijvoorbeeld tot 2 mm. De lijm zal dan gemakkelijker in de spleet vloeien, maar moet dan meer worden beke-

ken op de eigenschap van het geheel opvullen van de spleet. Bij brede "spleetverbindingen", zoals bijvoorbeeld bij torsie-stangen respectievelijk aandrijfstangen, is DIN 54452 ter beoordeling niet geschikt. Hierin wordt ook door andere normen niet voorzien.

4.2.4 Schokschuifproef

Voor het bepalen van de schokvastheid (schokbestendigheid of schoksterkte) van lijmverbindingen worden gelijkde proefstukken gebruikt, die in een standaard slagproefapparaat kunnen worden beproefd. Figuur 4.13 geeft een voorbeeld van een schokschuifproef volgens NEN-EN-ISO 9653 of ASTM D950. Het onderste blok wordt ingeklemd en het bovenste blok door een hamer aan de slagproef onderworpen. De hamer heeft een genormeerde massa en slagarm-lengte, waarmee een slagsnelheid wordt bereikt van circa 3,3 m/sec. De slagrichting is evenwijdig aan het lijmvlak en in de lengterichting van het ingeklemd blok. De schokschuifvastheid wordt uitgedrukt in de opgenomen energie per oppervlakte-eenheid van het lijmvlak in kJ/m².

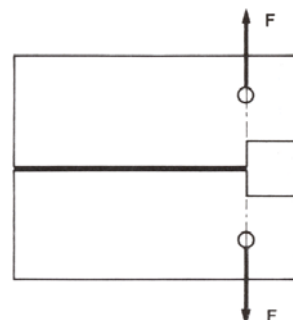


figuur 4.13 Schokschuifproefstuk volgens NEN-EN-ISO 9653 of ASTM D950

4.2.5 Scheur- en afpelproef

Met behulp van de scheur- of afpelproef wordt de gevoeligheid van de lijmnaad voor inscheuren vanaf de rand onderzocht.

Voor slijtproeven bij lijmverbindingen in dikke materialen zijn de normen NEN-ISO 15107 of ASTM D 1062 te gebruiken. Het proefstuk bestaat uit twee symmetrische proefstukhelften, die voorzien zijn van een gat voor de pen van de trekrichting. De lijmnaad wordt door middel van frezen van een inkeping voorzien tot op de hartlijn van de trekpaten (figuur 4.14). De lijmnaad wordt op deze manier op inscheuren belast. De ASTM norm D 3433 beschrijft proefstukken in dikke materialen, waarmee de scheurvoortschrijding in de lijm kan worden gemeten. Met deze gegevens kan dan de kritische breuktaaiheid van de lijm worden bepaald.



figuur 4.14 Scheurproef volgens NEN-ISO 15107 en ASTM D1062

Voor dunne materialen, in dit geval in het bijzonder voor aluminium-plaat-plaatverbindingen, is de scheurproef, maar dan als afpelproof, zeer selectief ten aanzien van het bepalen van de adhesiekwaliteit van de plaatoppervlakken. Daardoor wordt deze proef vooral gebruikt als hulpmiddel voor de controle van de kwaliteit van het oppervlakbehandelingsproces.

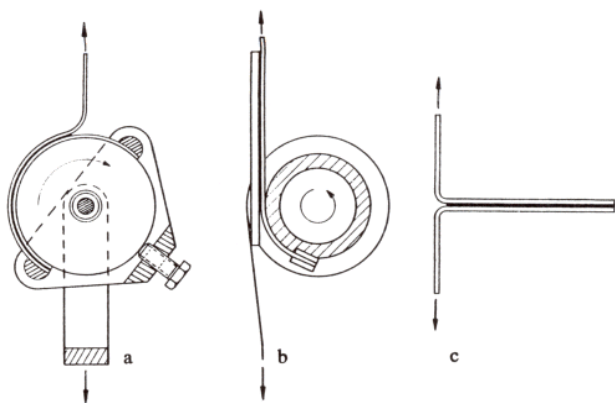
Bij de scheurproef wordt het resultaat, naast een aantal reeds eerder genoemde factoren bij de schuifproef, eveneens beïnvloed door de afscheurradius.

Men onderscheidt scheurproeven met vrije-scheurradius (figuur 4.15a en 4.15c) en met constante scheurradius (figuur 4.15b).

Figuur 4.15a toont een trommelscheurproef, die wordt uitgevoerd op vooraf rondgewalste gelijkde strippen, meestal met een dikte van 0,8 mm per strip. De trommeldiameter is gestandaardiseerd op 150 mm.

Figuur 4.15b toont een klimmende trommelscheurproef, die wordt toegepast bij honingraatconstructies, maar ook geschikt is voor plaat-plaat verbindingen.

Figuur 4.15c toont een T- of hoekscheurproef, die voor hetzelfde doel wordt gebruikt als de trommelscheurproef.



figuur 4.15 Aantal typen scheurproeven
a. CIBA trommelscheurproef
b. Klimmende trommelscheurproef
c. T-scheurproef

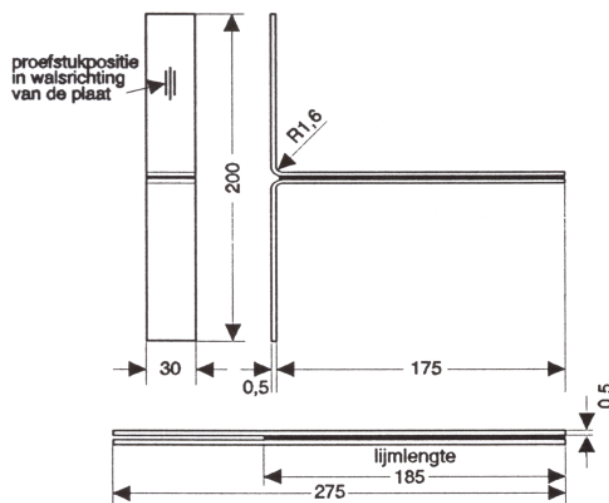
Bij het scheurproeftype met de vrije-scheurradius stelt de scheurradius zich in als gevolg van het evenwicht tussen de buigstijfheid van de afgescheurde strip en de sterkte-eigenschappen van de lijmverbinding.

Bij het scheurproeftype met de constante scheurradius wordt de scheurradius door de scheurproefapparatuur aan de afscheurende strip opgedrongen. Volledige zekerheid dat de afscheurende strip deze constante radius werkelijk aanneemt, bestaat echter niet. Het ingewikkelde samenspel van trek- en schuifspanningen in de lijmmaad tijdens de scheurproef is er de oorzaak van, dat de met deze proeven gevonden resultaten niet zonder meer als ontwerp-grondslag kunnen worden gebruikt. De scheursterkte is een typische vergelijkingsgrootte.

Voorbeeld van een scheurproef met vrije-scheurradius is de reeds eerder genoemde T-scheurproef (zie tevens figuur 4.16) met een voorbeeld van een proefstuk volgens NEN-EN-ISO 11339 of ASTM 1876. Het voordeel van dit proefstuk is, dat het proefstuk niet behoeft te worden voorgewalst, zoals bij het trommelscheurproefstuk.

Voorbeelden van scheurproeven met constante scheurradius zijn:

- ▶ de klimmende trommelscheurproef volgens ASTM D1781 (figuur 4.17) of NEN-EN 2243-3, voor zowel honingraat/dunne plaat, als plaat/plaat verbinding;
- ▶ de rolscheurproef volgens ASTM D 3167 of NEN-EN 2243-2 (figuur 4.18 inclusief proefstukafmetingen) voor plaat/plaat verbindingen.



figuur 4.16 Voorbeeld van scheurproefstuk volgens NEN-EN-ISO 11339

De klimmende trommelscheurproef wordt zowel gebruikt voor onderzoek van lijmverbindingen tussen metalen strippen, als tussen huidplaten en kernmaterialen van honingraatconstructies.

Bij scheursterkteproeven wordt als scheursterkte berekend het sterkteniveau tijdens scheuren. De scheurinitiatiepiek, tengevolge van de scheurstart en/of materiaalaanloopvervormingen, wordt niet meegenomen. Meestal worden de eerste 15% en de laatste 10% van de scheurlengte geëlimineerd (zie figuur 4.19).

De scheursterkten, die op verschillende beproevingsmethoden zijn gebaseerd, zijn onderling niet vergelijkbaar.

4.2.6 Wigsplijtproef

Als variant op de afpelproof wordt de wigsplijtproef gebruikt voor het bepalen van de hechting van de lijm op het materiaal (adhesiekwaliteit). Hierbij wordt een wig tussen de delen van een vlakke lijmverbinding gedreven (zie figuur 4.20). De initiële scheurlengte wordt direct gemeten na het aanbrengen van de wig, bijvoorbeeld onder een lichtmicroscop. Vervolgens wordt het proefstuk al dan niet blootgesteld aan een agressief milieu en met bepaalde tijdsintervallen wordt de scheurvoortgang gemeten. Bijvoorbeeld. Na 2, 4, 8, 24 uur, 7 en 30 dagen. De proef kan worden uitgevoerd volgens ISO 10354 of ASTM D 3762.

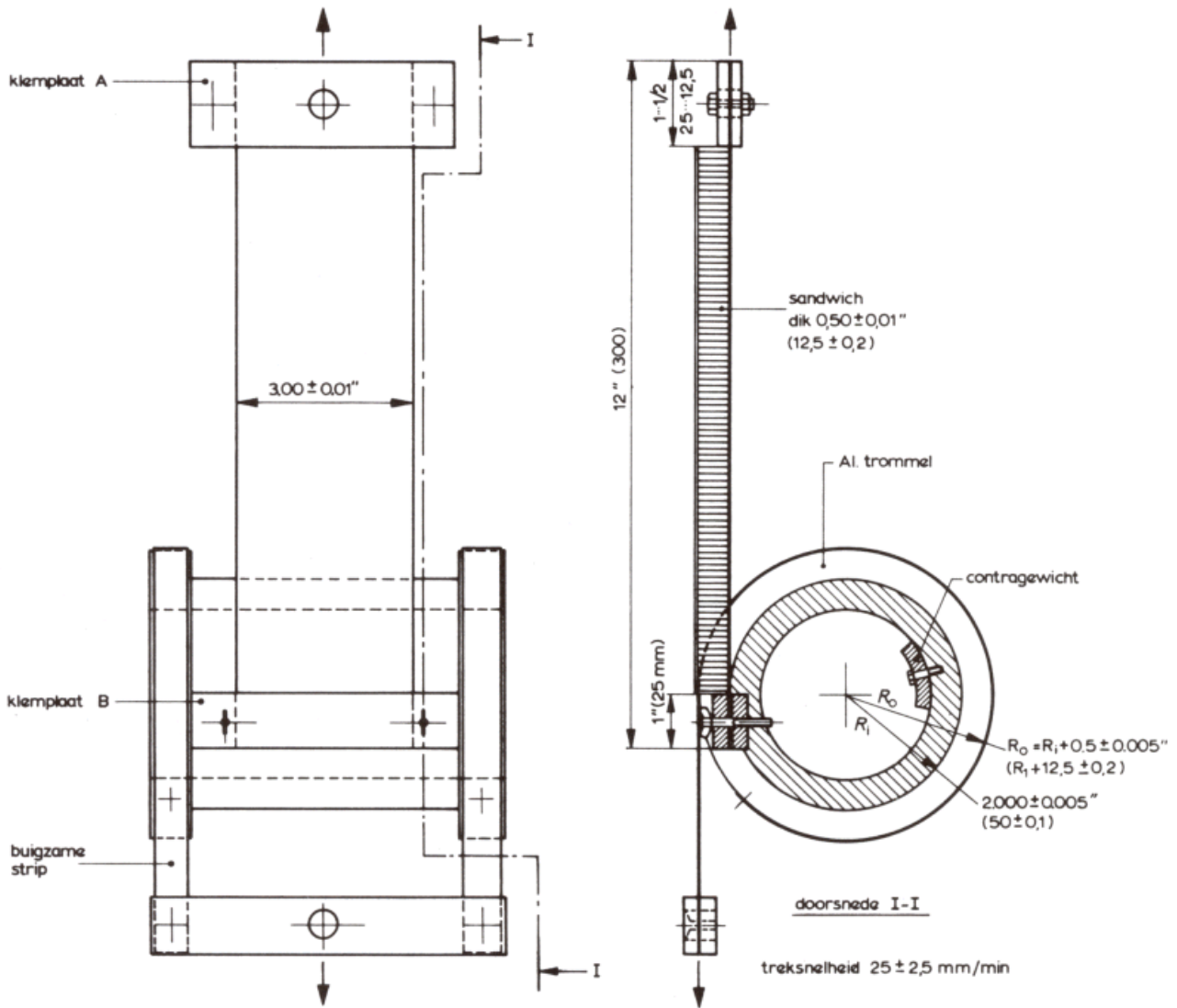
Deze proef is niet geschikt voor een kwantitatieve bepaling van de sterkte van een lijmverbinding, maar is uitstekend geschikt voor het bepalen van verschillen in voorbehandelingen ten opzichte van de hechting (adhesie) van de lijm aan het materiaal en de duurzaamheid van de lijmverbinding ten gevolge van deze voorbehandeling.

4.2.7 Kruipproef

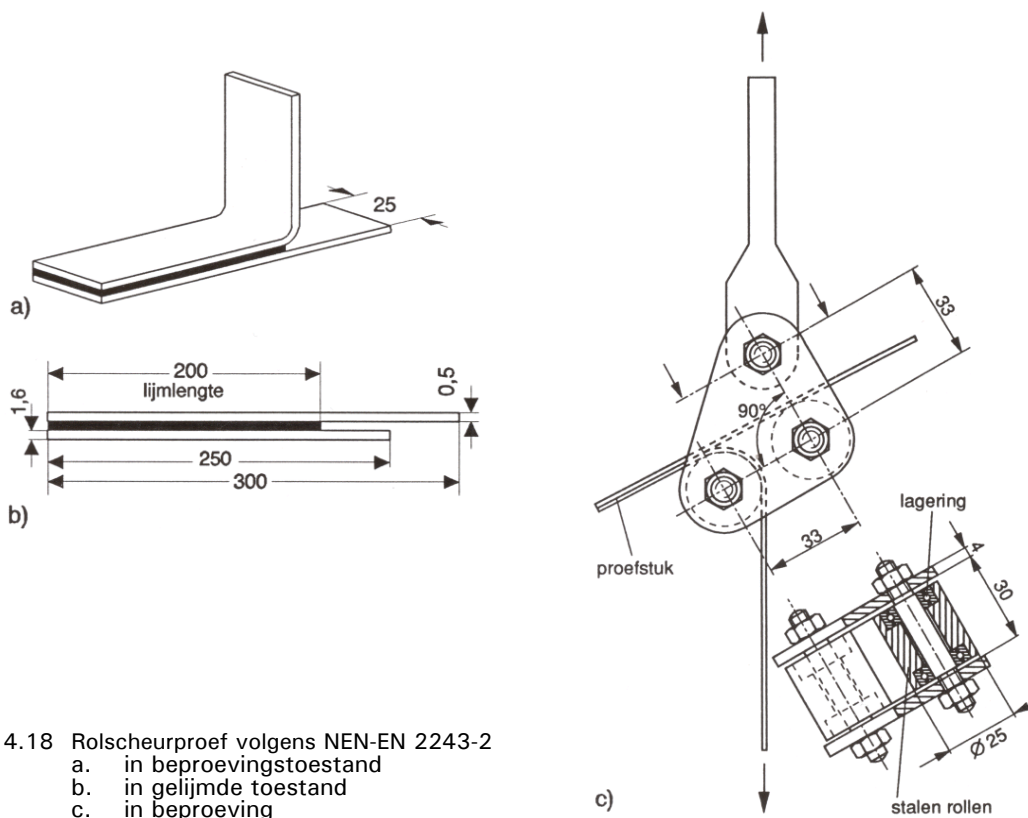
Definitie van kruip:

Onder kruip bij lijmverbindingen verstaat men de voortgaande onderlinge verplaatsing van twee gelijkde delen onder invloed van een constante belasting gedurende de tijd bij een bepaalde temperatuur.

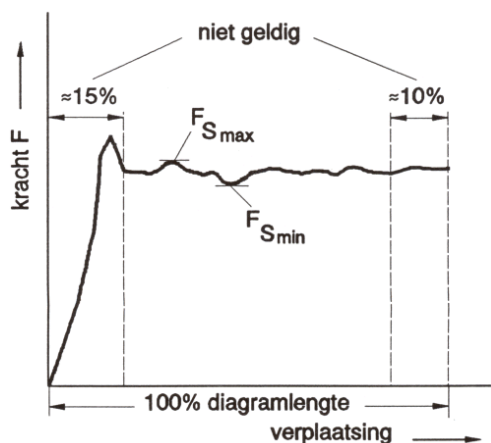
Tijd en temperatuur kan men afhankelijk stellen van de gestelde eisen. De beproeving wordt meestal alleen uitgevoerd bij thermoplastische lijmen en niet bij thermohardende lijmen, daar deze over het algemeen veel minder kruip vertonen.



figuur 4.17 Klimmende trommelscheurproef volgens NEN-EN 2243-3



figuur 4.18 Rolscheurproef volgens NEN-EN 2243-2
 a. in beproevingstoestand
 b. in gelijmde toestand
 c. in beproeving



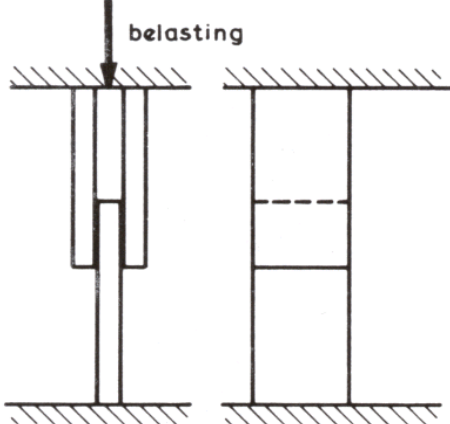
figuur 4.19 Schema van een afpeldiagram



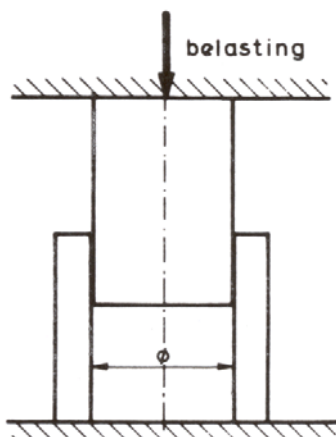
figuur 4.20 Splijtproof volgens ISO 10354 of ASTM D3762

Kruipmeting

Bij de meting van de kruip kan worden uitgegaan van het punt van bezwijken (tijd-tot-breuk) of het bepalen van de kruiprek na een bepaalde beproevingstijd (bijvoorbeeld de 0,1 of 0,2% kruiprekgrens). Deze methode is geschikt voor het onderling vergelijken van lijmen. In figuur 4.21 en 4.22 is de uitvoering van de proef geschetst.



figuur 4.21 Kruipproef volgens ASTM D1780



figuur 4.22 Kruipproef volgens ASTM D1780

Bekend zijn de volgende ASTM-tests: D1780, D2293 en D2294. Deze zijn bruikbaar bij de bepaling van de kruip. Het principe van deze methode bestaat uit het uitoefenen van druk respectievelijk trek op een in overlap gelijmd proefstuk. De druk of trek wordt uitgeoefend met behulp van een trekbank (doodgewichtbank). De beproeving kan eventueel bij hogere of lagere temperatuur dan bij kamertemperatuur worden uitgevoerd, afhankelijk van de gebruiksomstandigheden en de levensduur van de verbinding.

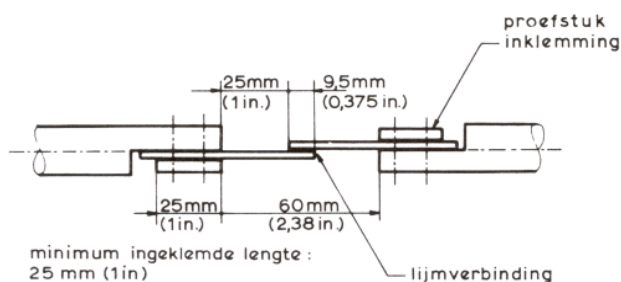
4.2.8 Vermoeingsproeven

Vermoeingsproeven dienen om vast te stellen of lijmverbindingen in staat zijn een herhaalde vervorming van de verbinding te doorstaan zonder bezwijken. Evenals de kruipproef is deze proef geschikt om lijmen te vergelijken, zonder verder mechanische eigenschappen te bepalen.

Vermoeingsproeven worden meestal uitgevoerd met lapnaad schuifproefstukken. Vermoeingsproeven kunnen worden uitgevoerd volgens NEN-EN-ISO 9664 of volgens ASTM D 3166. De belastingniveaus dienen zo te worden gekozen, dat bezwijken in de lijm optreedt tussen 5.000 en 10.000.000 wisselingen. Het maximum aantal belastingswisselingen per minuut bedraagt 3.600 (60 Hz). Uit praktische overwegingen (interne warmte ontwikkeling en visco-elastisch gedrag van de lijm) wordt voor het testen van lijmverbindingen de frequentie vaak beperkt tot 5 tot 10 Hz.

Voor de meeste lijmen geldt dat de vermoeingslimiet op ongeveer 20% van de statische sterkte van hetzelfde proefstuk ligt.

Een voorgestelde proefstukvorm volgens ASTM D3166 is afgebeeld in figuur 4.23.



figuur 4.23 Vermoeingsproef volgens ASTM D3166

4.2.9 Duurzaamheidsproeven

In principe kunnen hiervoor dezelfde proefstukken worden genomen als gebruikt voor de bepaling van de scheur- en schuifsterkte en beproefd worden na blootstelling aan temperatuur/vocht combinaties of zoutsprei. NEN-EN-ISO 9142 is een leidraad voor mogelijke condities voor versnelde veroudering van gelijmde proefstukken.

Sterkte bij verhoogde/verlaagde temperaturen (expositie onder belasting)

De gelijmde proefstukken kunnen bijvoorbeeld in een klimaatkast worden gehangen, waarbij ze met een bepaald gewicht worden belast. Om snel een maximum temperatuur te bepalen, kan bijvoorbeeld de temperatuur elk uur met 5°C worden verhoogd tot de verbinding bezwijkt. Men kan ook bij een bepaalde temperatuur de verplaatsing van de gelijmde delen opmeten (zie ASTM D2295), eventueel tot breuk toe. Een andere methode van beproeving onder belasting wordt beschreven in NEN-ISO 14615, waarbij de proefstukken door een gekalibreerde veer op spanning worden gehouden tijdens blootstelling in een klimaatkast.

Sterkte na blootstelling (expositie) bij verhoogde/verlaagde temperatuur

Men kan gelijmde proefstukken ook een aantal uren blootstellen aan een bepaalde temperatuur en dan de afpel- of schuifsterkte bepalen en vergelijken met de oorspronkelijke waarde bij kamertemperatuur.

Sterkte na temperatuurwisselproeven

Door het optreden van temperatuurwisselingen zijn de gelijmde delen onderhevig aan krimp en uitzetting. Deze kunnen de lijmverbinding extra belasten, afhankelijk van de vorm, constructie en uitzettingscoëfficiënten (lijm en materiaal).

Door de lijmverbinding aan temperatuurwisselingen bloot te stellen, kan men, door metingen vóór en ná de beproeving, een indruk krijgen van de bestandheid tegen temperatuurwisselingen.

Welke temperatuurwisselproef men neemt, wordt bepaald door de praktijkomstandigheden.

LET OP: de tijdsduur op een bepaalde temperatuur moet zodanig zijn gekozen, dat de voorwerpen inderdaad die temperatuur hebben aangenomen (ASTM D1183).

Chemische of corrosiebestandheid

Het doel van proeven voor het bepalen van de chemische bestandheid is het bepalen van de lijm- en lijmverbindingseigenschappen bij verhoogde of verlaagde temperatuur of kamertemperatuur, na expositie aan bepaalde "condities".

Deze condities kunnen expositie in vloeistoffen of dampen zijn bij een bepaalde temperatuur gedurende gestandaardiseerde perioden, zie bijvoorbeeld ASTM D896. Hieronder vallen ook de corrosieproeven, bijvoorbeeld zoutsproeitesten volgens ASTM B 117 of NEN-EN-ISO 9227.

De invloed van deze exposities kan bij lijmverbindingen worden bepaald met afpel- of schuifproeven, waarbij een eventuele achteruitgang kan worden vastgesteld.

4.3 Niet-destructief onderzoek aan lijmverbindingen

4.3.1 Fouten in een lijmverbinding

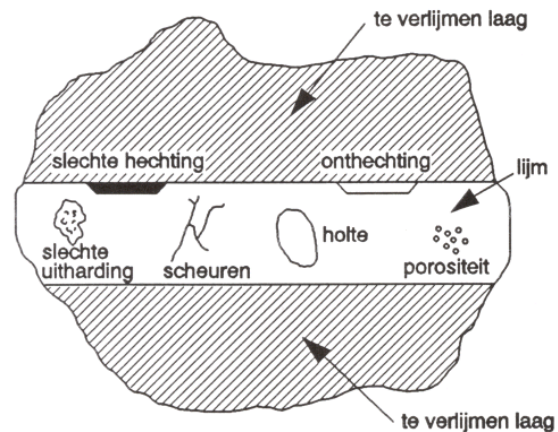
Bij een goed uitgevoerde lijmprocedure kunnen alleen nog variaties optreden in de cohesiekwaliteit van de lijm. Wordt een lijmprocedure echter minder goed uitgevoerd, dan kunnen ook adhesiefouten optreden, bijvoorbeeld door een vuil oppervlak of een slecht uitgevoerde voorbehandeling. Dit soort fouten dienen echter al in een eerder stadium, voordat de lijm wordt aangebracht, te worden opgespoord. Het is dus belangrijk dat het lijmproces goed wordt uitgevoerd, omdat adhesiefouten moeilijk zijn aan te tonen. Variaties in de cohesiekwaliteit zijn een gevolg van variaties van de procesparameters temperatuur, tijd en druk. Met de tegenwoordig ter beschikking staande apparatuur kunnen de parameters temperatuur en tijd echter uitstekend worden gecontroleerd en geregistreerd.

Temperatuurverschillen op verschillende plaatsen van de verbinding zijn moeilijk te voorkomen. De andere, nog veel belangrijkere parameter is de toegepaste druk tijdens het lijmproces. Drukverschillen zijn moeilijk te meten en te controleren. Ze ontstaan, omdat bijvoorbeeld de drukverdeling bij het uitharden van de lijm niet gelijkmatig is, of omdat de te verbinden delen niet goed passen. Verder is het tijdstip waarop de druk op de lijm wordt aangebracht van belang. De viscositeit van de lijm is namelijk temperatuur- en tijdsafhankelijk. Ook menselijke fouten tijdens het assembleren van de onderdelen kunnen een oorzaak zijn van drukverschillen.

Niet-destructief onderzoek beoogt het detecteren van fouten in de lijm laag (zie figuur 4.24):

a) de cohesiekwaliteit van de lijm laag:

- E-modulus; "undercure" (te weinig uitharding), "overcure" (overmatige uitharding), onvoldoende menging (2-componentlijmsysteem), lijmdruk;
 - lijm laagdikte (lijm druk);
 - lijm dichtheid (lijm druk);
 - holten (onthechting).
- b) de adhesiekwaliteit van de lijm laag:
- onthechting (lokale afwezigheid van lijm);
 - insluitsels aan oppervlak (bijvoorbeeld vet, water en lucht);
 - "nul-volume"-fouten (lijm in contact met oppervlak, maar geen hechting) ook wel "kissing bonds" genoemd.



figuur 4.24 Defecten die kunnen voorkomen in de lijm laag

4.3.2 Niet-destructieve onderzoekmethoden

De belangrijkste niet-destructieve inspectiemethode is het visuele onderzoek. Iedere NDO-inspectie begint altijd met een visuele controle. Daarna wordt eventueel nog een instrumentele methode toegepast, afhankelijk van de eisen die men aan de lijmverbinding stelt.

Bij de visuele inspectie van gelijmde verbindingen wordt gelet op lijmnaaduitpersing (hoeveelheid en regelmatige verdeling), kleur van de uitgereste lijm, kleur van de primer (in het geval dat deze wordt toegepast) op het oppervlak, vlakheid van het oppervlak (vooral bij dunne plaatmaterialen), alsmede de aanwezigheid van alle onderdelen!

De visuele inspectie is zeer effectief voor de detectie van (grote) losse plekken en verdachte gebieden (bijvoorbeeld geen uitpersing), die later eventueel instrumenteel moeten worden onderzocht.

Het bekloppen ("tapping" of "cointapping") is na visuele inspectie de meest elementaire vorm van NDO.

De onderzoeker beklopt met een metalen pen het te onderzoeken oppervlak en luistert naar het geluid dat hierdoor wordt voortgebracht. Op plaatsen waar een slechte verbinding tot stand is gekomen (bijvoorbeeld een losse plek), zal de frequentie van het geluid verschuiven en aldus is een fout op te sporen (zie ook § 4.3.5).

In het navolgende worden de instrumentele inspectiemethoden besproken.

4.3.3 Thermische inspectiemethoden

De thermische inspectiemethoden voor lijmverbindingen zijn gebaseerd op het aantonen van variaties in de thermische eigenschappen van de lijmverbinding (geleiding en thermische diffusiviteit). Deze variaties zijn te detecteren, doordat ze resulteren in verschillen in temperatuurverdeling aan het oppervlak tijdens het opwarmen of afkoelen van de gelijmde component. Hierbij kan de warmtebron óf aan de zijde van het te inspecteren oppervlak (enkelzijdige techniek) óf achter de verbinding (transmissiemethode) worden geplaatst.

De temperatuurdistributie aan het oppervlak kan op diverse wijze worden gevisualiseerd:

- Thermografische coatings

Sommige materialen zijn in een goed bepaald temperatuurgebied kristallijn. De kristallijne structuur is duidelijk van de niet-kristallijne structuur te onderscheiden, doordat beide fasen van kleur verschillen. Andere materialen, vloeibare kristallen, veranderen van kleur bij het doorlopen van een bepaald temperatuurtraject.

Bij het gebruik van thermografische coatings moet men voor het verkrijgen van een optimaal gedefinieerd temperatuurspatroon de ondergrond zwart verven, bijvoorbeeld met waterverf.

De methode is voor grootschalige toepassingen tijdrovend.

- Infrarood-metingen

Met behulp van moderne infrarood temperatuurmeters kunnen temperatuurverschillen van minimaal 0,1 °C worden gedetecteerd (systeemgevoeligheid). In werkelijkheid is de detectiedrempel hoger tengevolge van emissievariëaties (verschillen in emissiecoëfficiënten) over het oppervlak. De gemeten temperatuurpatronen worden óf met een infrarood foto vastgelegd óf aftastend gemaakt. De infrarood foto's worden gemaakt vanaf een fluorescentiescherm die met de stralingsmeter is verbonden. Een modernere ontwikkeling is het gebruik van infrarood-camera's.

Bovengenoemde technieken hebben als nadeel dat voor een goede interpretatie veel ervaring is vereist. Snelle opwarmingsmethoden (bijvoorbeeld een hoge-energieflits) verdienen de voorkeur in verband met de detectiegevoeligheid. In het algemeen kunnen slechts globale defecten worden gedetecteerd, zoals grote holten en luchtinsluitels.

De transmissiemethode kan informatie verschaffen over de dikte van de lijmlaag, mits deze relatief slecht thermisch geleidend is (temperatuurval over de lijmlaag significant ten opzichte van temperatuurval over verbinding).

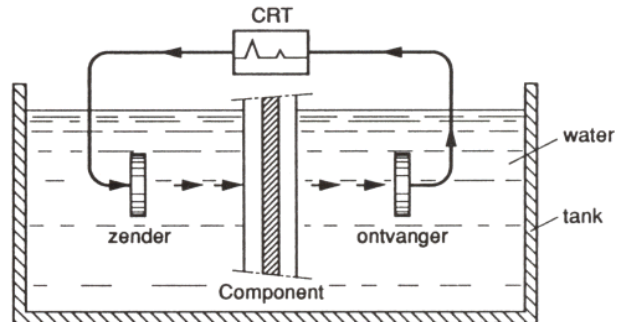
- Thermische deformatiemethode

Deze methode maakt gebruik van het feit dat een toplaag van een gelijmde component bij verwarming als gevolg van thermische expansie wil uitzetten. Verwarming van de toplaag vindt plaats door warmtelampen of gloespiralen. De deformatie (uitzetting) van de toplaag wordt in het midden van de verwarmde zone gemeten. Hiertoe wordt door middel van een mondstuk een luchtstroom op de plaat (component) geblazen. De afstand mondstuk-plaat in koude toestand is nauwkeurig bekend. Bij het opwarmen van de plaat zal deze afstand veranderen, waardoor de luchtstroom met een andere kracht op de plaat wordt geblazen. Deze krachtsverandering wordt met behulp van een drukdoos gemeten. Indien er een holte c.q. luchtinsluitel onder de toplaag aanwezig is, zal deze na verwarming sterk uitzetten en de toplaag deformeren. Bij een lijmvverbinding van goede kwaliteit zal deze deformatie veel langzamer gaan en bovendien bijna niet meetbaar zijn. De methode wordt vooral toegepast bij het testen van helikopter-rotorbladen. De methode is langzaam en alleen geschikt voor gemakkelijk bereikbare plaatsen.

Voor de bovengenoemde thermische inspectiemethoden geldt, dat lijmresten of verontreinigingen op het oppervlak het temperatuurpatroon beïnvloeden, waardoor een juiste interpretatie van de resultaten wordt bemoeilijkt. Een remedie voor dit probleem is het zorgvuldig reinigen van het te inspecteren oppervlak. Bij langzame opwarmingstechnieken moet lokale afkoeling tengevolge van tocht worden vermeden.

4.3.4 Ultrasonische inspectiemethoden

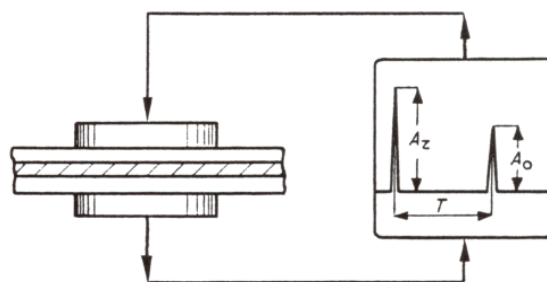
De ultrasonische inspectiemethoden vormen de basis van vele wijdverbreide niet-destructieve testmethoden. De twee basisprincipes zijn de transmissie- en de pulsecho-methode. Beide methoden werken met ultrasonische trillingen in het gebied van 1 tot 25 MHz. De trillingen worden in de meeste gevallen met behulp van piezo-elektrische kristallen opgewekt, die elektrische energie omzetten in mechanische trillingen en vice versa. De ultrasonische trillingen worden overgebracht op de te inspecteren verbinding via een laag visceuze olie of water, waarbij de zender en ontvanger óf geplaatst zijn op de lijmvverbinding óf zich op enige afstand hiervan bevinden. In het laatste geval kunnen de tasters en de lijmvverbinding in een waterbak worden ondergedompeld (zie figuur 4.25).



figuur 4.25 Het principe van de transmissiemethode, waarbij zender en ontvanger in water worden ondergedompeld

- De transmissiemethode

Bij de transmissiemethode wordt een gescheiden zender en ontvanger toegepast, waartussen de lijmvverbinding wordt geplaatst. Noodzaak hierbij is, dat de zender en de ontvanger exact in lijn met elkaar moeten staan. Bij de direct contactmethode (zie figuur 4.26) wordt dit bemoeilijkt, doordat de tasters over het oppervlak worden bewogen. Het exact in lijn houden is bij de onderdompelingsmethode gemakkelijker. Een eenvoudige geleidingsrail is dan voldoende.

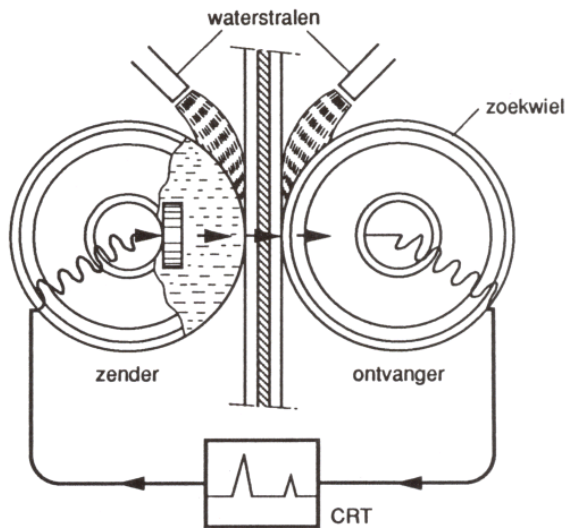


figuur 4.26 Het principe van de direct contactmethode

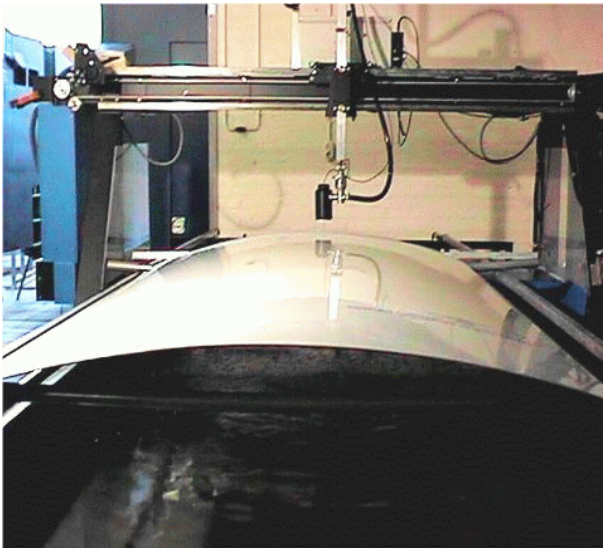
Als alternatief kan een waterstraal worden gebruikt als transportmiddel voor de ultrasonische trillingen van zender naar ontvanger via de lijmvverbinding (zie figuren 4.27 en 4.28).

De transmissiemethode verdient in het geval van holten en luchtinsluitels in dunne verbindingen (dikte kleiner dan een aantal golflengten van het uitgezonden signaal) de voorkeur boven de pulsecho-methode.

Om grotere oppervlakken geautomatiseerd te meten worden zogenaamde C-scan installaties gebruikt, waarbij de meting van elke x-y positie in een grafische weergave van het meetresultaat wordt weergegeven (met grijs tinten of kleurverschillen voor verschillen in transmissie).



figuur 4.27 Het principe van de transmissiemethode met roterende wielen en waterstraal

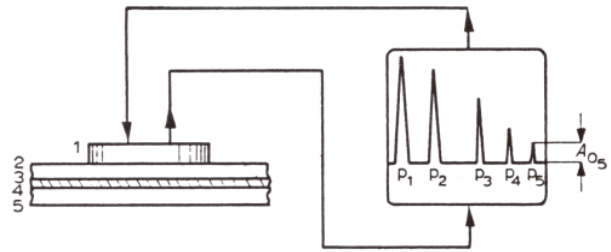


figuur 4.28 C-scan installatie waarbij contact tussen taster en product wordt verkregen met waterstralen

- De pulsechomethode

Bij de pulsechomethode is de zender tegelijkertijd ook ontvanger (zie figuur 4.29). Dit heeft als voordeel dat een lijmverbinding nu vanaf één zijde kan worden geïnspecteerd. Er wordt met pulssignalen gewerkt om te voorkomen dat het gereflecteerde signaal interfereert met het uitgezonden signaal. De gekozen pulstijd moet korter zijn dan de looptijd van het signaal naar het defect en terug. Bij dikkere platen en/of lagere geluidssnelheden kan een langere pulstijd worden gebruikt.

De techniek is gevoelig voor holten en luchtinsluitels in de orde van grootte van de golflengte. Mits de lijm laag niet te dun is (dikte kleiner dan een aantal golflengten) en de akoestische impedantie voldoende verschilt van die van het materiaal, kan de lijm laagdikte worden bepaald. In het geval van een constructie met meerdere lijm lagen kan verzwakking tengevolge van reflecties aan elke materiaalovergang problemen geven bij het inspecteren van dieper gelegen lijmverbindingen.



figuur 4.29 Het principe van de pulsechomethode.
1 = zender/ontvanger (p_1 = verzonden signaal); 2 = bovenvlak (p_2 = gereflecteerd signaal); 3 en 4 zijn lijmvlakken (p_3 en p_4 zijn de bijbehorende gereflecteerde signalen); 5 = ondervlak (p_5 = gereflecteerd signaal)

4.3.5 Akoestische resonantiemethoden

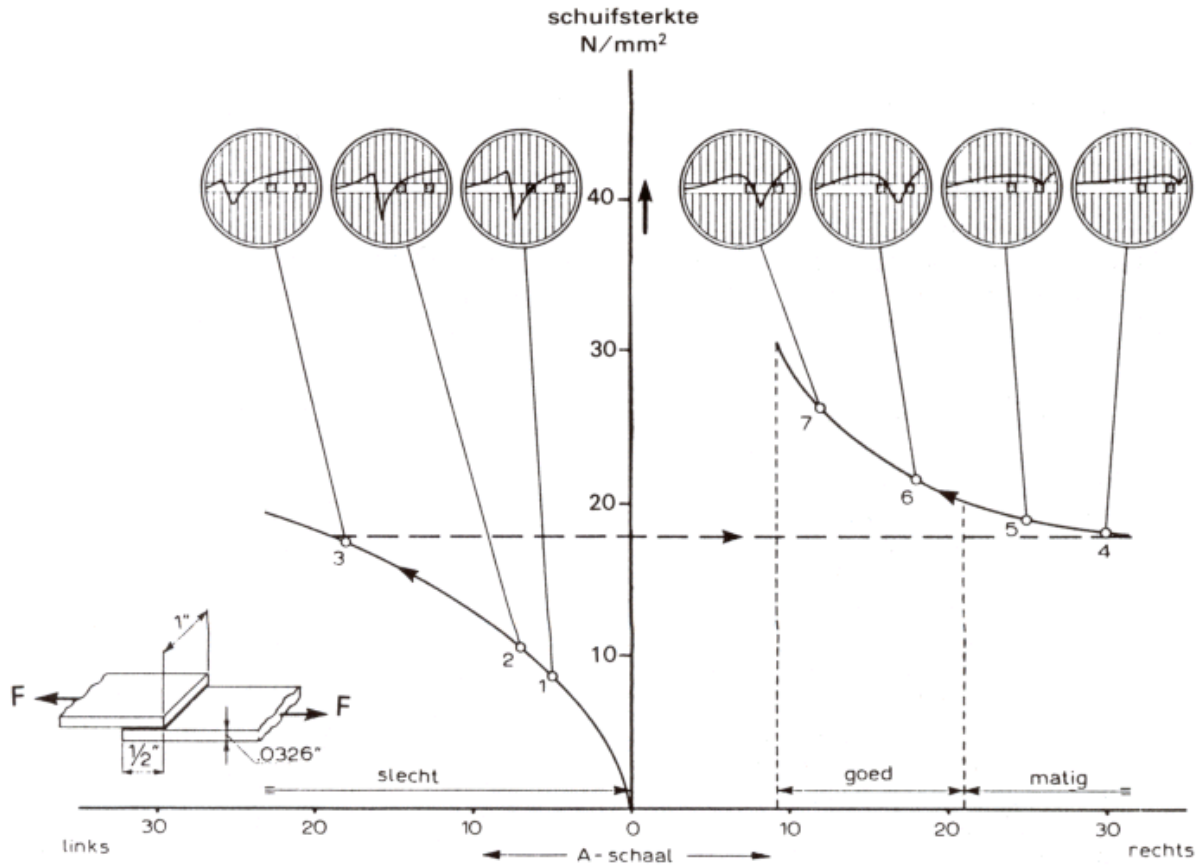
De meest bekende akoestische resonantiemethode is de methode met de Fokker-Bondtester.

- De Fokker-Bondtester

Het principe van de Fokker-Bondtester berust op metingen van de resonantie-eigenschappen van lijmnaden welke zich gedragen als een gedempt massa-veersysteem. De meettaster van de Bondtester bevat een piëzo-elektrisch kristal, waarvan de eigenschappen zeer nauwkeurig bekend zijn. Het frequentiebereik waarin wordt gemeten ligt tussen de 30 kHz en 1 MHz. De bondtester geeft informatie over de verandering van de resonantiefrequentie en de demping van de lijmlaag. Deze zijn afhankelijk van de cohesiekwaliteit van de lijmlaag (E-modulus, dikte en dichtheid) en de adhesiekwaliteit. De verandering van de resonantiefrequentie ten opzichte van de uitgangstoestand wordt gepresenteerd in de vorm van een zogenaamde A-schaal (zie figuur 4.30 voor uitleg) op een oscilloscoop. De mate van demping van de trilling wordt op een zogenaamde B-schaal aangegeven (zie figuur 4.31 voor uitleg). De B-schaal gebruikt men bij voorkeur in het geval van lijmverbindingen tussen een metaalplaat en een materiaal met een zeer geringe massa, zoals een honingraatkern in een sandwichconstructie. De A-schaal alleen levert in de meeste gevallen reeds voldoende informatie over de kwaliteit van de lijmverbinding.

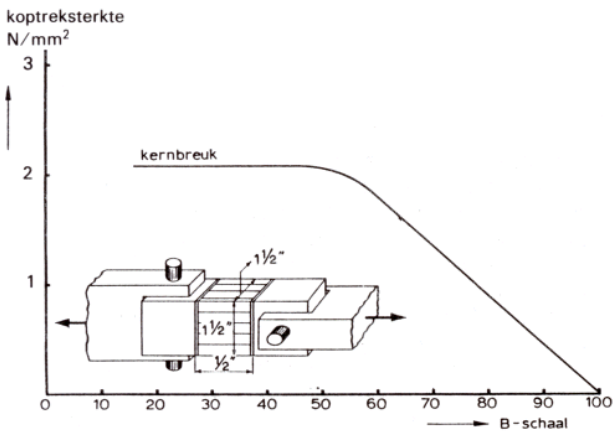
Het is mogelijk om met de Fokker-Bondtester een voorspelling te doen omtrent de cohesiekwaliteit van de lijmlaag en daarmee de sterkte van de lijmverbinding. Classificatie van de defecten is niet mogelijk.

Tevens kunnen adhesiefouten (lokale afwezigheid van lijm) in de orde grootte van enkele mm's, worden gedetecteerd, afhankelijk van de gebruikte frequentie en de dikte van de gelijmde delen. Tabel 4.1 geeft een indruk van de relatie tussen minimale detecteerbaarheid van holten, de gebruikte frequentie en de dikte van twee gelijmde platen.



figuur 4.30 Voorbeeld van een kalibratiecurve

Typisch verband tussen de schuifsterkte van de gelijmde metalen lapnaadproefstukken van verschillende lijmnadkwaliteit en de Fokker-Bondtester A-schaalaanwijzingen. De schuifsterkte is 0 wanneer de piek in het midden van de schaal op het nulpunt staat. Bij toenemende kwaliteit beweegt de piek zich naar links, terwijl de amplitude afneemt. Deze amplitude dempt tenslotte geheel uit, waarna aan de rechterzijde van de schaal weer een piek met geringe amplitude verschijnt. Bij toenemende kwaliteit verplaatst de piek zich vervolgens in de positie voor de ideale kwaliteit, die behoort bij een stuk massief metaal ter dikte van de som van de metaaldikten van de gelijmde constructie. In het gebied tussen de ideale kwaliteitslijn en de nullijn komen alleen indicaties voor van lijmnaden, die bestaan uit een overigens goed uitgeharde en massieve lijmlaag waarin zich echter enige luchtballen bevinden.



figuur 4.31 Voorbeeld van B-schaal (Fokker-Bondtester)

Typisch verband tussen de koptreksterkte van gelijmde honingraatsandwichconstructies en de Fokker-Bondtester B-schaalaanwijzing. Het horizontale deel van de kromme geeft het kwaliteitsgebied aan waar de lijm sterker is dan de honingraat en dus bij de koptrekproef kernbreuk en geen lijmnadbreuk is opgetreden

tabel 4.1 Minimaal te detecteren holten (lokale afwezigheid van lijm) als functie van de resonantiefrequentie en dikte van de platen

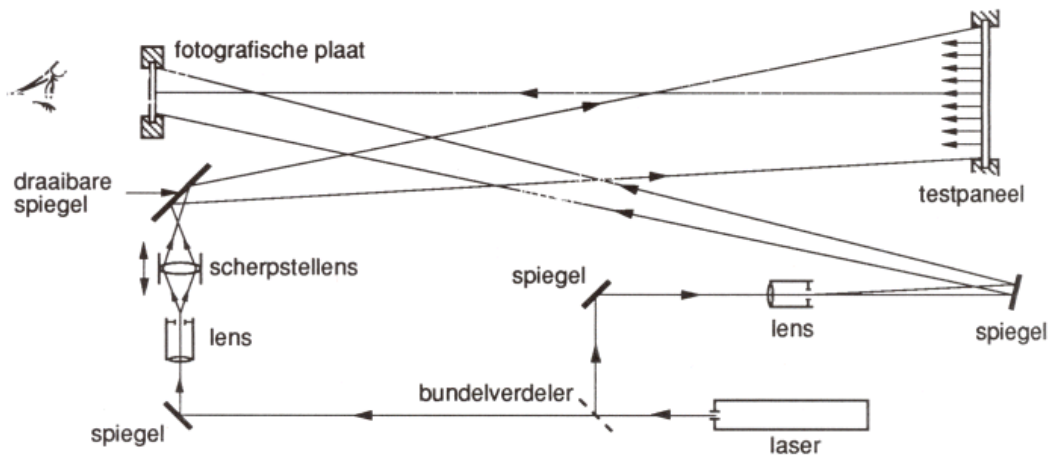
	afmeting holten (mm)						
	3x3	5x5	8x8	10x10	15x15	20x20	25x25
plaatdikte (mm)	frequentie (kHz)						
0,4	153	55	21	14	3,9	3,4	2,2
0,8	306	110	43	28	7,8	6,8	4,4
1,0	382	138	53	35	9,8	8,6	5,5
1,2	459	165	64	41	11,7	10,3	6,6

4.3.6 Optische holografie

Met holografische interferometrie (zie figuur 4.32) kunnen verplaatsingen van de oppervlakte van lichamen worden gemeten in de grootte van een halve golflengte in het zichtbare gebied van het elektromagnetische stralingsspectrum, ongeveer 0,25 µm.

De techniek vereist het aanbrengen van spanningen op een gelijmde constructie op een zodanige wijze, dat verschillen in vervormingen van tenminste 0,25 µm tussen de buitenoppervlakken van een goed en slecht gelijmd gebied optreden.

De optische holografie is geschikt voor het onderzoeken van dunne composietmaterialen, omdat hier relatief weinig spanningen nodig zijn om een voldoende



figuur 4.32 Principe van de holografische interferometrie

vervorming te realiseren (stijvere constructies vergen grotere spanningen). De spanningen kunnen thermisch of door druk worden aangebracht. Ook het vibreren van de constructie is mogelijk. De techniek is ingewikkeld en vergt een bijzonder stabiele opstelling van de apparatuur.

4.3.7 Radiografie

Het principe van de röntgen en gamma radiografie berust op het detecteren van dichtheids- of diktevariëaties in materialen (bij lijmverbindingen de lijm laag). Essentieel voor het detecteren van dichtheidsvariëaties binnen de lijm laag (porositeit/holten) is, dat de lijm laag een significante absorptie tot gevolg heeft, zowel in absolute zin als ten opzichte van de totale absorptie over de verbinding. In het geval van metaal-metaallijmverbindingen is de dichtheid van de lijm en daarmee de absorptie van röntgenstraling veel lager dan die van het metaal. Dichtheids- en diktevariëaties in de lijm laag zijn dan ook nauwelijks waarneembaar, tenzij er gebruik wordt gemaakt van metaalgevulde lijmen met een hogere absorptie voor röntgenstraling. Radiografische inspectie wordt vooral toegepast bij het controleren van de lijmverbindingen tussen de honingraatkern van sandwichconstructies en de randprofielen daarvan. Mits de lijm laag significante absorptie tot gevolg heeft (zie boven), kunnen kleine holten, insluitels met een hogere dichtheid dan de lijm laag en poreusheid worden gedetecteerd.

Indien in plaats van röntgenstraling een neutronenbron wordt gebruikt, worden defecten in metaallijmverbindingen goed zichtbaar. Neutronen worden nauwelijks door metalen geabsorbeerd, echter sterk verzwakt door stoffen met een hoog waterstofgehalte zoals in lijm materiaal, bijvoorbeeld epoxyharsen. Vooral poreuze plekken kunnen daardoor goed zichtbaar worden gemaakt.

4.3.8 Akoestische emissie

Het principe van akoestische emissie berust op het uitzenden van ultrasone golven (100 tot 1000 MHz) door een defect binnen een lijmverbinding onder toenemende belasting, welke worden gedetecteerd met een sensor op het oppervlak van de component. Op basis van de relatie tussen hoeveelheid akoestische emissie en bijbehorende belasting kan er een voorspelling worden gedaan omtrent de breuksterkte van een gelijmde component. Naarmate een hogere belasting wordt aangebracht (dichter bij het bezwijkpunt), zal de nauwkeurigheid van de voorspelling van de breuksterkte in het algemeen toenemen. De geïntroduceerde schade (op microschaal) is dan uiteraard hoger.

Net als de Fokker-Bondtester kan akoestische emissie inzicht verschaffen in de sterkte van een verbinding. Voor een juiste interpretatie van de resultaten is echter veel ervaring vereist. Speciale aandacht dient uit te gaan naar de representativiteit van de gebruikte belasting. Akoestische emissie meting vindt alleen toepassing bij een nog niet eerder belaste constructie.

4.3.9 Capaciteitsmeting

Een elektrisch isolerende lijm laag vormt samen met de gelijmde metalen delen een condensator. De capaciteit van deze condensator is een functie van de diëlektrische constante van de lijm laag, het oppervlak en de afstand tussen twee gelijmde delen. De diëlektrische constante van de lijm laag wordt beïnvloed door holten, poreusheid en insluitels.

Het is mogelijk om holten, poreusheid, insluitels en variëaties in de lijm laagdikte aan te tonen. De meetmethode is echter zeer gevoelig voor lijm diktevariëaties, hetgeen de methode moeilijk toepasbaar maakt. Is de lijm laagdikte nauwkeurig constant, dan kan de diëlektrische constante van de lijm als een maatstaf voor de kwaliteit gelden.

Voor grote gelijmde oppervlakken is de methode niet geschikt, omdat de capaciteit van het totale oppervlak wordt gemeten. Lokale veranderingen in de capaciteit zijn dan niet te detecteren. Verder is de methode ook niet geschikt wanneer de lijm laag goed elektrisch geleidend is, zoals in het geval van metaalgevulde lijmen.

Hoofdstuk 5

Keuze van beproevingsmethoden

Bij het keuren van lijmen en lijmverbindingen kan er onderscheid worden gemaakt in:

- 1) fysische beproevingsmethoden ten behoeve van het lijm materiaal;
- 2) mechanische/destructieve beproevingsmethoden ten behoeve van het lijm materiaal;
- 3) niet-destructieve beproevingsmethoden ten behoeve van de gelijmde verbinding;
- 4) destructieve beproevingsmethoden ten behoeve van de gelijmde verbinding.

- ad 1) Hierbij kan gedacht worden aan het beproeven van bepaalde eigenschappen van het lijm materiaal, zoals de viscositeit, de vloeigraad, de soortelijke massa, enzovoort.
- ad 2) Dit kan zijn een schuifproef, een scheurproef, een kruipproef, enzovoort.
- ad 3) Hier kan worden gedacht aan beproevingsmethoden zoals visuele inspectie, het bekloppen van de gelijmde verbinding, ultrasoononderzoek, enzovoort.
- ad 4) Dit kan zijn een trekproef, een afschuifproef, een proef op ware grootte, enzovoort.

Voor een korte beschrijving van beproevingsmethoden voor het keuren van het lijm materiaal of de gelijmde verbinding wordt verwezen naar de aanvullende paragrafen 5.1 en 5.2, waarin tevens de ASTM-, ISO-, EN-, NEN- of DIN-normen zijn vermeld indien aanwezig. Voor een uitgebreide beschrijving van de beproevingsmethoden wordt verwezen naar hoofdstuk 4.

Bij de beproevingsmethoden voor het keuren van lijmverbindingen wordt tevens aangegeven voor welke materiaal soort deze methode van toepassing is, te weten:

- ▶ M voor metalen;
- ▶ K voor kunststoffen.

Onder de kunststoffen vallen ook de vezelversterkte kunststoffen. Eveneens komen er kunststof/metaalcombinaties voor.

De volgende factoren bepalen onder andere welke beproevingsmethoden voor het keuren van lijm materialen en lijmverbindingen moeten worden toegepast:

Eisen aan het lijm materiaal

Bij het maken van een lijmverbinding moet het geleverde lijm materiaal aan de gestelde (verwachte) eisen voldoen.

De keuze van de fysische dan wel mechanische beproevingsmethode wordt bepaald door de eisen aan het lijm materiaal. Indien bijvoorbeeld de eis is dat het lijm materiaal een zuurgraad > 7 heeft, dan zal dit beproefd moeten kunnen worden.

Materiaal

Het materiaal, bijvoorbeeld een kunststof of een metaal, bepaalt voor een groot deel de keuze van een beproevingsmethode.

Sommige niet-destructieve beproevingsmethoden, zoals die gebaseerd op de capaciteitsmeting van een gelijmde constructie, komen bij het keuren van een gelijmde kunststofverbinding niet in aanmerking.

De aard van de belasting

De wijze waarop een lijmconstructie wordt belast, bijvoorbeeld op afpellen, afschuiving of trek (of een combinatie ervan), bepaalt de keuze van destructieve beproevingsmethoden. Wordt een constructie op afschuiving belast, dan zal men een proefverbinding

vervaardigen, die ook op afschuiving wordt belast. Hetzelfde geldt voor andere belastingsomstandigheden.

De toepassingsomstandigheden van een gelijmde constructie

De vraag "Waar wordt een lijmverbinding toegepast?" is zeer belangrijk. Deze vraag stelt men bij de keuze van het te lijmen materiaal, bij de lijmkeuze en natuurlijk bij het kiezen van een geschikte beproevingsmethode, 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 beproefd.

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

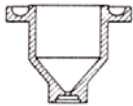
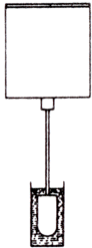
Normen voor het keuren van een lijmverbinding

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

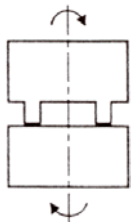
Bij de keuze van de beproevingsmethode moet worden uitgegaan van de meest realistische of representatieve test voor het gebruik van het eindproduct.

5.1 *Standaard beproevingsmethoden voor lijmateriaal*

5.1.1 *Fysische beproevingsmethoden*

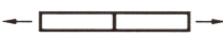
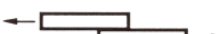

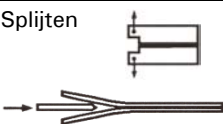
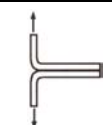

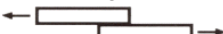
Proefaanduiding	Norm	Omschrijving
Stabiliteit en homogeniteit		Door roeren moeten geringe afwijkingen verdwijnen, binnen de gegeven opslagtijd onder de vermelde condities.
Viscositeit		
	NEN-EN 12092 NEN-EN-ISO 2431	Bepalen van de uitloopsnelheid van de lijm bij bepaalde temperatuur met een uitstroombeker.
	NEN-EN 12092 ASTM D1084	Rotatieviscositeitsmeting berust op de weerstand tegen draaien in een vloeistof, onder andere met een Brookfieldmeter.
Smelteigenschappen	NEN-EN 1238	De 'Ring en bal' methode, bij bepaalde temperatuur zakt een standaardkogel door de lijm massa.
Vaste-stofgehalte	NEN-EN 827	Gedurende een vaste periode, bijvoorbeeld 2 uur, drogen van een vast gewicht aan lijm bij een constante temperatuur.
Zuurgraad		Een pH-bepaling, bijvoorbeeld met indicatorpapier of pH-meter.
Soortelijke massa	NEN-EN 542 ASTM D1875	Bepaling met behulp van het gewicht van de lijm in bekende inhoud voor vloeibare lijmsoorten en voor vaste lijmsoorten door het bepalen van de hoeveelheid verplaatste vloeistof met een pyknometer.
Ontvlammingspunt	NEN-EN 924	Met apparaat van Abel Pensky voor lijmen met een brandbaar oplosmiddel. Bepalen van de laagste temperatuur waarbij damp uit de lijm door vuur ontbrandt.
Verwerkingstijd	ISO 10364 ASTM D1338	Vooraf voor tweecomponentenlijmen is de houdbaarheid na het mengen (potlife) belangrijk.
Open tijd		Op een standaard materiaal wordt lijm aangebracht en na vaste tijdsintervallen bekeken of de lijm nog hecht onder bepaalde druk.

5.1.2 *Mechanische/destructieve beproevingsmethoden*

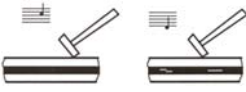
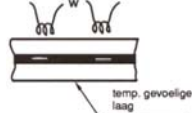
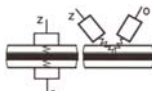

Proefaanduiding	Norm	Omschrijving
Afschuiving	NEN-ISO 11003-2 NEN-EN 2243-6 ASTM D5656	Voor het bepalen van de glijdingsmodulus. Voor bepaling van de E-modulus en de sterkte van de lijm.
Torsieschuif	ASTM E299 NEN-ISO 11003-1	Voor bepaling van de afschuifmodulus van de lijm.
		

5.2 Standaard beproevingsmethoden voor lijmverbindingen

5.2.1 Destructieve beproevingsmethoden

Proefaanduiding	Norm	Materiaal	Omschrijving
Trek (axiaal) 	NEN-EN 2243-4	M / K	Voor honingraatconstructies.
	ASTM D897	M / K	Voor staven in ronde vorm.
	ASTM C 363	M / K	Bepaling delaminatiesterkte van honingraatmateriaal.
Afschuiving 	NEN-EN 2243-1 NEN-EN 1465 ASTM D1002	M / K	Enkelvoudige lapnaadverbinding voor dunne plaat.
	ASTM D2557	M / K	Bij lage temperaturen.
	ASTM D3163	K	Voor stijve materialen.
	DIN 53294	M / K	Voor sandwichconstructies
	ASTM D3164	M / K	Voor sandwichconstructiemateriaal.
	ASTM D3528	M / K	Voor dubbele lapnaadverbindingen.
	NEN-EN 2243-6 NEN-EN 14869-2 ASTM D5656	M / K	Voor dikke materialen in een enkelvoudige lapnaadverbinding ter bepaling van schuifspanning-schuifrek kromme.
DIN 54452	M	Pen-ring proefstuk voor bijvoorbeeld asverbindingen.	
Torsieschuif	DIN 54455	M	Voor bepaling van het maximum torsiemoment van asverbindingen.
Schokschuif 	NEN-EN-ISO 9653 ASTM D950	M / K	Voor het bepalen van de schokvastheid.
Splijten 	NEN-ISO 15107 ASTM D1062	M / K	Bepaling splijtweerstand van gelijkde dikke materialen.
	ISO 10354 ASTM D3762		Wig splijtweerstand ter beoordeling van voorbehandeling en duurzaamheid.
Afpellen 	NEN-EN-ISO 11339 ASTM D1876	M / K	Bepaling afpelsterkte met T-scheurproefstuk.
	NEN-EN 2243-3 ASTM D1781	M / K	Klimmende trommelscheurproef voor zowel dunne plaat als honingraatconstructies.
	NEN-EN 2243-2 ASTM D3167	M	Scheurproef voor dunne plaat.
	ASTM D903	M / K	180° afpelproef.
Kruip 	ASTM D1780 DIN 53284	M / K	Constante belasting gedurende lange duur.
Vermoeiing 	NEN-EN-ISO 9664 ASTM D3166	M / K	Wisselend in trek belasten van enkele lapnaadverbinding.

5.2.2 *Niet-destructieve beproevingsmethoden*

Methode	Materiaal	Omschrijving
Visuele inspectie	M / K	Hier wordt onder andere gelet op de lijmnaaduitpersing, de kleur van de uitgeperste lijm, kleur van de primer, vlakheid van het oppervlak en aanwezigheid van alle onderdelen.
Bekloppen 	M / K	Eenvoudige en snelle methode voor het opsporen van grote adhesiefouten (losse plekken) en cohesiefouten.
Thermische inspectie 	M / K	Veel ervaring vereist voor goede interpretatie van verkregen resultaten; minder goed bruikbaar voor kleine fouten; snelle opwarming verdient de voorkeur.
Ultrasone inspectie		
a) transmissie 	M / K	Zender en ontvanger goed uitlijnen (bij "droge methode"); vereist veel ervaring; goed bruikbaar voor inspectie van dunne plaatverbindingen.
b) pulsecho 	M / K	Werkt vanaf één zijde van de lijmverbinding; vereist veel ervaring voor de beoordeling; goed bruikbaar voor holten en luchtinsluitels (orde van grootte van de golflengte).
Akoestische Fokker-Bond tester	M / K	Kwantitatief onderzoek mogelijk; "go-no-go" meting mogelijk; voor vaststellen acceptatiegrens is veel ervaring nodig; classificatie van cohesiedefecten is niet mogelijk.
Optische holografie	M / K	Moeilijke techniek, vooral geschikt voor honingraatstructuren en dunne composietmaterialen; ervaring vereist.
Radiografie	M / K	Vooral toegepast bij honingraatconstructies, of bij gebruik van metaalgevulde lijmen.
Akoestische emissie	M / K	Kan informatie verstrekken over daadwerkelijke sterkte van de verbinding; interpretatie van de resultaten is moeilijk: gebruikte belasting dient representatief te zijn voor de praktijk.
Capaciteitsmeting	M	Zeer goed bruikbaar voor lijm dikte variaties; niet geschikt voor geleidende lijmen; niet geschikt voor grote oppervlakken.

Normen

ISO-, NEN-EN Normen

ISO 10123:1990 en	Adhesives - Determination of shear strength of anaerobic adhesives using pin-and-collarspecimens
ISO 10354:1992 en	Adhesives - Characterization of durability of structural-adhesive-bonded assemblies - Wedge rupture test
ISO 10364:1993 en	Adhesives - Determination of working life (pot life) of multi-component adhesives
ISO 14676:1997 en	Adhesives - Evaluation of the effectiveness of surface treatment techniques for aluminium - Wet-peel test by floating-roller method
ISO 14679:1997 en	Adhesives - Measurement of adhesion characteristics by a three-point bending method
ISO 15166-2:2000 en	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-breekbeproeving
NEN-EN 1464:1995 en	Lijmen - Bepaling van de weerstand tegen pellen van lijmverbindingen met hoge sterkte - Drijvende-rollemethode
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 oppervlaktebehandelingstechnieken voor aluminium door gebruik van de natte-afpelproof in samenwerking met de drijvende-rollemethode
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 lijmoeg 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 lijmmaad met hoge sterkte van gelijmde verbindingen onder botsomstandigheden - Splijt-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 lijnverbindingen - 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 lijnverbindingen - Deel 2: Schuifproef met dikke trekstaven
NEN-ISO 13445:2003 en	Lijmen - Bepaling van de afschuifsterkte van lijnverbindingen 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 lijmmaad van gelijmde verbindingen
NEN-ISO 15108:1998 en	Lijmen - Bepaling van de sterkte van gelijmde verbindingen met een buig-afschuifmethode
NEN-ISO 15109:1998 en	Lijmen - Bepaling van de tijd tot breuk van gelijmde verbindingen onder statische belasting
NEN-ISO 15166-1:1998 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 oppervlakbehandeling van metaal en kunststoffen voorafgaand aan lijnverbindingen
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 7724	Gruppierungen hochpolymerer Werkstoffe auf Grund der Temperaturabhängigkeit ihres mechanischen Verhaltens; Grundlagen, Gruppierung, Begriffe.
DIN 8580	Fertigungsverfahren; Einteilung.
DIN 8593	Fertigungsverfahren Fügen; Einordnung, Unterteilung, Begriffe.
DIN 16945	Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmasse; Prüfverfahren.
DIN 16970	Klebstoffe zum Verbinden von Rohren und Rohrleitungen aus PVC hart; Allgemeine Güteanforderungen und Prüfungen.
DIN 18156	Teil 3, Stoffe für keramische Bekleidungen in Dünnbettverfahren; Dispersionsklebstoffe.
DIN 18157	Teil 1, Ausführung keramische Bekleidungen in Dünnbettverfahren; Hydraulisch erhärtende Dünnbettmörtel

- 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 Adhesive 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] Fein, Kunz, "Neue Konstruktionsmöglichkeiten mit Kunststoffen", WEKA Fachverlage GmbH & Co., Kissing, 1989.
- [8] E.W. Flick, "Handbook of Adhesive Raw Materials", Noyes Data Publications, Park Ridge, 1982.
- [9] G. Habenicht, "Kleben; Grundlagen, Technologie, Anwendungen", Springer-Verlag, Heidelberg, 1986.
- [10] S.R. Hartshorn, "Structural Adhesives; Chemistry and Technology", Plenum Press, New York, 1986.
- [11] C. Jager, "Lijmsleutel", AKZO-Research, Arnhem, 1991.
- [12] W.S. Johnson, "Adhesively Bonded Joints: Testing, Analysis and Design; ASTM STP 981", ASTM, Philadelphia, 1988.
- [13] A.J. Kinloch, "Adhesion and Adhesives; Science and Technology", Chapman and Hall, London, 1987.
- [14] A.J. Kinloch, "Developments in Adhesives - 2", Applied Science Publishers, London, 1981.
- [15] A.J. Kinloch, "Durability of Structural Adhesives", Applied Science Publishers, Essex, England, 1983.
- [16] A.J. Kinloch, "Structural Adhesives; Developments in Resins and Primers", Elsevier Applied Science Publishers, London, 1986.
- [17] "Kleben von thermoplastische Kunststoffen, Blatt 1: PVC - weichmacherfrei, Merkblatt DVS 2204 (September 1972)", DVS, Düsseldorf, 1990.
- [18] "Kleben von thermoplastische Kunststoffen, Teil 2: Polyolefine, Merkblatt DVS 2204 Teil 2 (Februar 1977)", DVS, Düsseldorf, 1990.
- [19] "Kleben von thermoplastische Kunststoffen, Polystyrol und anverwandte Kunststoffe, Richtlinie DVS 2204 Teil 3 (April 1981)", DVS, Düsseldorf, 1990.
- [20] "Kleben von thermoplastische Kunststoffen, Polyamide, Richtlinie DVS 2204 (März 1981)", DVS, Düsseldorf, 1990.
- [21] Th. Krist, "Metallkleben (kurz und bündig)", Vogel-Verlag, Würzburg, 1970.
- [22] A.H. Landrock, "Adhesives Technology Handbook" Noyes Publications, Park Ridge, 1985.
- [23] W.A. Lees, "Adhesives in Engineering Design", Springer-Verlag, Heidelberg, 1984.
- [24] A. Matting, "Metallkleben", Springer-Verlag, Berlin, 1969.
- [25] K.L. Mittal, "Adhesive Joints; Formation, Characteristics, and Testing", Plenum Press, New York, 1984.
- [26] J.R. Panek, I. Skeist, "Handbook of Adhesives" Nostrand-Lemhold, New York, 1977.
- [27] M.M. Sadek, "Industrial Applications of Adhesive Bonding", Elsevier Applied Science, London, 1987.
- [28] H.R. Sasse, "Adhesion between Polymers and Concrete; Bonding, Protection and Repair", Chapman and Hall, London, 1986.
- [29] E. Schindel-Bidinelli, "Strukturelles Kleben und Dichten", R. Hinterwaldner-Verlag, München, 1988.
- [30] R. Schliekelmann, "Gelijmde metalen constructies", Agon-Elsevier, Amsterdam, 1970.
- [31] J. Shields, "Adhesives Handbook", Butterworths, London, 1985 (third edition).
- [32] I. Skeist, "Handbook of Adhesives", Van Nostrand Reinhold, New York, 1977.
- [33] "Structural Adhesives in Engineering; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers", Mechanical Engineering Publications Ltd., London, 1986.
- [34] E.W. Thrall, R.W. Shannon, "Adhesive Bonding of Aluminum Alloys", Marcel Dekker Inc., New York and Base, 1985.
- [35] W.C. Wake, "Adhesion and the Formulation of Adhesives", Elsevier Applied Science Publishers, London, 1982 (second edition).
- [36] W.C. Wake, "Synthetic Adhesives and Sealants; Critical Reports on Applied Chemistry Volume 16", John Wiley & Sons, Chichester, 1987.
- [37] 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

aansprakelijkheid	1, 2.2	omgevingscondities	2.4
acrylaten	1	onderdompelingsproces	2.4
adhesie(sterkte)	2.2, 2.4, 4.1, 4.2.6	onderdompelingstijd	2.4
adsorptie	2.4	ontvetten	2.2, 2.4, 4.1
afpelproof	4.2, 4.2.5, 4.2.6, 5.2	ontvlammingspunt	3, 3.7, 5.1
akoestische emissie	2.6, 4.3.8, 5.2	ontwerp	2.2, 2.6
anaërobe acrylaten	1	ontwerpgegevens	2.3
analysetechnieken	4.1	open tijd	3, 3.9, 5.1
autoclaven	2.3, 2.5	opleidingsniveau	2.3
bekloppen	4.3.2, 5, 5.2	opleidingsprogramma	2.1
belastingwijze	2.2, 4.2.2	oppervlakte-impedantie	4.1
beproevingmethode	1, 4.2.1, 4.2.5, 5, 5.1, 5.2	opslagcondities	2.3, 2.5, 3.1.2
bevochtiging	4.1	optische holografie	3.6, 5.2
capaciteitsmeting	2.6, 4.3.9, 5, 5.2	opwarmgradiënt	2.5
certificeren	2.1	ovens	2.3
chemische bestandheid	4.2.9	overlap	2.2, 4.2.2, 4.2.7
chemische processen	2.3, 2.4	oxydatie	2.4
chemische eigenschappen	2.4	pastavormige lijmen	2.3
cohesie(sterkte)	2.2, 2.3, 2.5	pen- en ringschuifproef	4.2.3, 5.2
contacthoek	4.1	persen	2.3
controle	1, 2.1, 2.3, 2.6, 3.1.2, 4.1, 4.2.5, 4.3.2	perstafel	2.5
correctieve maatregelen	2.1	plastisol	1
cyanoacrylaten	1	polyesters	1
dampvormige bijproducten	2.5	polyurethanen	1
destructieve controle	2.6	preventieve maatregelen	2.1
destructief onderzoek	4.2	procedures	2.1, 2.2
dissectieproeven	2.5	procesbeheersing	2.3
duurzaamheidsproef	4.2.9	procescontrole	2.5
eindcontrole	2.6, 4.2	proceskwalificatie	2.1
elektronen emissie	4.1	productaansprakelijkheid	1
epoxy's	1	productiecontrole	2.3, 4.2
ervaring	2.3, 4.3.3, 4.3.8, 5.2	productkwalificatie	2.1
etsen	2.2, 4.1	proefstukken	2.3, 2.4, 2.5, 4.1, 4.2, 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5, 4.2.7, 4.2.8, 4.2.9, 5
exothermtemperatuur	3, 3.15	pulsecho	4.3.4
expansie	3, 3.16, 4.3.3	radiografie	2.6, 4.3.7, 5.2
fabricagedatum	2.3	resonantiefrequentie	4.3.5
fabricageprocessen	2.3	risico's	2.2
fenolen	1	ruimtecondities	2.3
Fokker-Bondtest(er)	4.3.5, 4.3.8, 5.2	scheidingsfolie	2.5
fysische eigenschappen	2.4	scheurproef	4.1, 4.2, 4.2.5, 5, 5.2
glasovergangstemperatuur	3, 3.17	scheursterkte	2.3, 4.2.5, 4.2.9
glijdingsmodulus	3, 3.14, 5.1	schokschuifproef	4.2.4, 5.2
grondstoffen lijm	2.3	schuifproef	4.2.2, 4.2.3, 4.2.5, 5
harders	2.3	schuifsterkte	4.2.9, 4.3.5
hechting	4.2.6, 4.3.1	schuren	2.2, 2.4, 4.1
holografische interferometrie	4.3.6	siliconen	1
homogeniteit	3, 3.1, 5.1	smelteigenschappen	3, 3.3, 5.1
ingangscontrole	2.3, 4.2	smeltlijmen	1, 3.3
insteltemperatuur	2.5	soortelijke massa	2.3, 3, 3.6, 5, 5.1
ISO-9000	2.1	spleetbreedte	2.2
katalysatoren	2.3	splijtproef	4.2, 4.2.6
keuren van lijm	1, 3, 5	stabiliteit	3, 3.5, 5.1
keuren van lijmverbindingen	4.1, 5	steekproeven	2.6
krimp	4.2.9	sterkte-eigenschappen	2.2, 2.3, 3.1, 4.2, 4.2.5
kruipproef	4.2, 4.2.7, 4.2.8, 5	stralen	2.2, 2.4
kwaliteit	1.2, 2.2, 2.3, 2.5, 2.6, 3, 4.2, 4.2.5, 4.3.3, 4.3.5, 4.3.9	T-scheurproef	4.2.5, 5.2
kwaliteitsbeheersing	1.2, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5	thermische deformatie	4.3.3
kwaliteitszorg	2.1	thermische inspectie	2.6, 4.3.3, 5.2
levensduur constructie	2.3	toeleveranciers	2.1
lijmdruk	2.5, 2.6, 4.3.1	transmissie(methode)	4.3.3, 4.3.4, 5.2
lijmfabrikant	2.3	trekproef	4.2, 4.2.1, 4.2.2, 5
lijmfilms	2.3, 2.5, 3, 3.6, 3.8, 3.10, 3.11, 3.13, 3.16	treksterkte	4.2.1
lijmhchting	4.2.6	trommelscheurproef	4.2.5
lijmhoeveelheid	2.3, 2.5, 3.2, 3.3	typekeuring	2.3, 4.2
lijm laag	2.2, 2.5, 2.6, 4.2.2, 4.3.1, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.7, 4.3.9	uithardingscondities	2.2, 2.5
lijm laagdikte	2.5, 4.2.1, 4.3.1, 4.3.4, 4.3.9	uithardingsreactie	2.5
lijmmassa	2.5, 3.15	uithardingstijd	2.2, 2.5
lijmpasta	3.12	uitpersing	2.6, 4.3.2
lijmprocedure	1, 2.2, 2.3, 4.3.1	ultrasone inspectie	2.6, 4.3.4, 5.2
lijmprocedurekwalificatie	1, 2.3	UV-hardende acrylaten	1
lijmvlakken	2.2, 2.4, 2.5, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4	vakbekwaamheid	2.1, 2.3
meercomponentenlijm	2.3, 2.5, 3.8	vaste-stofgehalte	3, 3.4, 5.1
mengen	2.3, 5.1	vermoeiingsproef	4.2, 4.2.8, 5.2
mengverhouding	2.2, 2.3, 2.5	veroudering	2.3
naadvorm	2.2	verwerkingstijd	2.3, 3, 3.8, 5.1
nabehandeling	2.2	viscositeit	2.2, 2.3, 2.5, 3, 3.2, 4.3.1, 5, 5.1
niet-destructieve controle	2.6	visuele controle	2.6, 4.3.2
niet-destructief onderzoek	4.3	visuele inspectie	4.3.2, 5, 5.2
normen	1, 2.3, 4.2, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.5, 5	vloei-eigenschappen	2.3, 3.11, 3.12
		vloeistoftest	4.1
		voorbehandeling	2.2, 2.4, 2.6, 4.1, 4.2.6, 4.3.1
		warmte-ontwikkeling	2.5, 3.15
		wateradsorptie	2.4
		werkplaattemperatuur	2.3
		zuurgraad	3, 3.5, 5, 5.1



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