

Lijmen is een kunst voor iedereen

Inleiding

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

Toch bestaan hechtmiddelen al eeuwenlang. De oudste gegevens daarover stammen uit Egypte. Gravures van 3300 jaar geleden laten al zien hoe een dun laagje fineer wordt aangebracht op een plank van een doodskist.

Meer algemeen kan worden gesteld, dat oudheidkundige musea vonden tonen van meer dan 4000 jaar oud waarin gelijmde constructies voorkomen tussen materialen als hout, steen en glas.

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

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

Automobielandustrie

Lijmverbindingen zijn tegenwoordig in alle automobielen te vinden. Sterker nog, zij is een van de grote trekkers op het gebied van lijmontwikkeling. Niet dat zij zelf lijm ontwikkeld, maar als markt is zij een zeer aantrekkelijk segment voor de lijmfabrikanten. Zo worden er lijmen specifiek ontwikkeld voor het verlijmen van autoruiten. Het productievolume bij auto's is nu eenmaal vele malen groter dan dat van vliegtuigen.

Waarom zijn lijmen en sealants (kit) hier zo interessant? De gangbare wijze van bevestigen van plaatmateriaal is het puntlassen. Bij het puntlassen blijven de ruimten tussen de lassen niet gevuld; waardoor deze gevoelig blijven voor indringend vocht, en dus corrosie. Dit zal in het algemeen leiden tot een aanzienlijke levensduurverkortening van de verbinding.

Door het toepassen van lijmverbindingen wordt het aantal puntlassen verminderd en kan vocht niet meer toetreden tussen de, te verbinden, platen. Bij een slimme toepassing van de lijm kan de stijfheid van de constructie verhoogd worden.

Daarnaast biedt de lijmverbinding een verbeterde demping tegen, de doorspraak van, (geluids en mechanische) trillingen. Bovendien blijft het plaatmateriaal onbeschadigd door het gebruik van lijmen. Dit geeft enorme kostenbesparingen op afwerking, en verhoogd de aantrekkelijkheid van de wagen.

Probleem is nog dat plaatmateriaal vaak beschermd wordt met een wals-emulsie o.a. ter bescherming tegen corrosievorming tijdens opslag van het metaal. Deze emulsie is vetachtig, en veel lijmen kunnen op een dergelijke ondergrond niet goed hechten. Er zijn daarnaast tevens lijmen (epoxies, acrylaten) verkrijgbaar, die zonder voorbehandeling op vervuild plaatmateriaal kunnen worden gebruikt (voor de automobielenindustrie), de maximale sterkte van de verbinding is dan wel lager (schuifspanning <20 MPa). Hierbij moet worden opgemerkt, dat de vervuiling dan wel in zekere mate gedefinieerd is.

Verlijming van kunststoffen

Het verlijmen van kunststoffen is een verhaal apart. Deze materialen bezitten algemeen een wat lagere oppervlakte energie. Er zijn twee hoofdgroepen kunststoffen te vinden. Gewone plastics zoals PE, PP, PVC, PS en PMMA en de zogenaamde technische kunststoffen of “engineering plastics”. Daaronder worden verschillende blends gerekend en PC, PPO, ABS, POM. PA, PET/PBT, PEEK, PEI, PPS en LCP. Vele van deze kunststoffen worden in vezelversterkte vorm toegepast. Zij worden gekenmerkt door gunstige mechanische, thermische optische of chemisch bestendige eigenschappen of combinaties daarvan. Veel van deze kunststoffen kennen door deze specifieke karakteristieke eigenschappen speciale doeleinden. Het van kunststoffen in het algemeen is, dat lijmen het oppervlak niet goed kunnen bevochtigen. Een zekere oppervlaktebehandeling blijkt vaak noodzakelijk. Men kan hierbij denken aan het opruwen van het oppervlak of het oxideren ervan. Het uitgebreid testen van de lijmverbinding voordat deze in het product wordt verwerkt is dan ook noodzakelijk.

Voordelen van lijmverbindingen

Er zijn een aantal voordelen te vernoemen van lijmverbindingen ten opzichte van andere verbindingstechnieken. De grootste is wel dat lijmverbindingen op een vloeiende wijze de krachten overdragen van het ene onderdeel op het andere. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld puntlassen, waar allen krachten slechts via de las worden overgedragen. Bij klinknagels of boutverbindingen is de situatie nog ernstiger. Daar wordt het product tevens nog verzwakt als gevolg van de gaten die geboord dienen te worden. Dit kan bij wisselende mechanische belasting (een vorm van vermoeiing) leiden tot breuk. Een aantal mechanische verbindingen hebben tevens een groot voordeel wanneer zij voor verstijving van een constructie worden ingezet ten opzichte van andere typen

verbindingen. Hierbij valt te denken aan constructies zoals van grote dunne plaatoppervlakken die door middel van een verstijver in axiale richting (de belastingsrichting) worden verstevigd. Tussen de lokale verstijvers kunnen bij toenemende drukspanningen door lokale knik toch plooien ontstaan (zie figuur). Deze optredende kritische drukspanning blijkt omgekeerd evenredig met de afstand tussen de verstijvers. Wanneer de verstijvers op dezelfde onderlinge afstand nu echter worden verlijmd, dan zal de deze kritische drukspanning toenemen, want onder de lijmverbinding kan de plaat niet meer plooien.

Ten behoeve van de torsiestijfheid of een alzijdige stijfheid wordt de verstijver dan ook nog gesloten uitgevoerd (doos of golfprofiel). Een mooi voorbeeld hiervan zijn de constructies van een motorkap of kofferdeksel van een auto. [3]

Nadelen van lijmverbindingen

De nadelen van lijmverbindingen zijn in feite te splitsen in nadelen tijdens het productieproces en nadelen nadat de lijm al is aangebracht.

Nadelen tijdens productie bestaan voornamelijk uit voorbehandeling. De vraag rijst al snel hoe schoon moet het lijmoppervlak zijn? Daarnaast kan (het constant houden van) de lijmnaaddikte een belangrijke rol spelen. Bovendien moet men opletten, dat er niet teveel luchtinluitsels ontstaan. Zeker op plaatsen waar veel spanning in de lijmnaad staat kunnen zij zorgen voor grote spanningsconcentraties en de initiatie van een breuk. Maar wellicht vormt het grootste obstakel om te lijmen wel de controle mogelijkheid om de kwaliteit van de verbinding te garanderen tijdens productie. De mogelijkheid hiertoe bestaat echter wel. De eindkwaliteit van een verlijmd product is zeer goed te voorspellen door het toepassen van een goede kwaliteitsbeheersing (zie onder).

Nadat de verbinding gemaakt is en de lijm is uitgehard is het over het algemeen moeilijk om de zojuist gemaakte verbinding weer te verbreken. Vooral bij een (kleine) herziening van het product kan dit problemen opleveren. Een temperatuurschok kan echter de oplossing leveren. Verhit de lijmverbinding zodat de lijm zacht wordt, het is nu uiteen te nemen. Een alternatief is het sterk afkoelen van de verbinding bijvoorbeeld met behulp van vloeibare lucht of stikstof.

Crazing

Crazing is het verschijnsel dat zich voordoet in thermoplasten waar over het algemeen zeer fijne deeltjes zijn ingebracht, die een aantal specifieke taken vervullen. De deeltjesgrootte varieert ongeveer van één tot maximaal enige tientallen micron.. Naast 'normale' materiaalverstoringen kunnen zij ook worden gezien als verstoringen van de materiaalstructuur. Wanneer men op PVC dat vrij is van interne spanning in schone lucht een spanning aanbrengt die kleiner is dan de vloeispanning, dan vindt er geen crazevorming plaats. Brengt men nu spanning aan op hetzelfde PVC dat zich in een verzadigde koolwaterstofdamp of vloeistof bevindt, dan ziet men meestal binnen een minuut de crazes verschijnen. Crazing bestaat uit minuscule (0.01mm lange) materiaalveranderingen (verstoringen) die op het eerste gezicht op barstjes gelijken in een 'stralenkrans' met de anorganische korrels als oorsprong. De barstjes staan daarbij loodrecht op de aangebrachte spanning. Zij zijn echter geen open barstjes. Over het algemeen zijn zij gevuld met een mindere dichtheid aan kunststofmateriaal. De

kransbarstjes vloeien in elkaar over en men krijgt de indruk van een kralensnoervorming waarvan de ogenschijnlijk grotere 'korrels' de kralen zijn en de in elkaar overlopende kransbarstjes de snoer. Zo kunnen vanuit naast elkaar gelegen korrels ook naast elkaar gelegen kralensnoeren ontstaan. Heeft men drie à vier naast elkaar gelegen kralensnoeren, dan geeft z'on bundel de indruk gelijk aan een 'craze waarneming'.

[1]

Combineren van verbindingsmethoden

Een belangrijk aspect van het verbinden van materialen en dus ook van technische kunststoffen is de mogelijkheid om dezelfde of verschillende materialen met elkaar te verbinden. Dit kan op diverse manieren zoals:

- Mechanisch: spijkeren, nieten, schroeven, klinken en klikken;
- Lassen: speciale technieken voor metalen en kunststoffen;
- Lijmen;
- Combinaties van bovenstaande technieken: bijvoorbeeld een mechanische techniek in combinatie met lijmen of (punt-)lasen in combinatie met lijmen.

Milieu-aspecten

In toenemende mate krijgen ook de milieu –aspecten van lijmen de aandacht. In de publiciteit is nogal wat aandacht besteed aan bijvoorbeeld de tapijtleggers (oplosmiddeldampen uit contactlijmen), maar ook de plaatverwerkende industrie, de meubelindustrie en de verpakkingindustrie hebben vaak met deze lijmen te maken. Er zijn inmiddels vele "veilige" watergedragen lijmen op de markt.

De meeste lijmen zijn tegenwoordig met "normale" voorzorgsmaatregelen te hanteren. Voor alle lijmp producten worden bovendien "Veiligheids Informatie Bladen" door de lijmleveranciers verstrekt, waarin de samenstelling, toxiciteit, brandbaarheid, beschermingsmaatregelen, opslag, transport en restafvalverwerking beschreven zijn.

Toepasbaarheid van lijmen

Epoxy (lijmfilm en twee- component lijmen) zijn de meest toegepaste *structurele* lijmsystemen, die in alle industriële branches en producten worden toegepast. Maximale schuifspanning bij breuk kan oplopen van 30 tot 50 Mpa. Vaak is een warmteïnbreng bij het uitharden noodzakelijk.

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

De elastische lijmen en tapes hebben in tegenstelling tot de bovenstaande structurele lijmen slechts een bezwijklast van 0.5 tot 2 Mpa. Het voordeel van deze laatste groep lijmsystemen is echter, dat zij door hun mogelijkheid tot vervorming -en dus het uitblijven van hoge piekspanningen aan de uiteinden van een lapnaad- bij grote overlaplengten en beperkte krachtoverdracht vaak uitstekend toepasbaar zijn.

Voor een hoge sterkte en duurzaamheid is een voorbehandeling van het te verlijmen oppervlak vrijwel altijd noodzakelijk. Een oppervlak dient minimaal goed ontvet te zijn. De duurzaamheid (levensduur onder vooral vochtigheid en verhoogde temperatuur) van een lijmverbinding (in het bijzonder bij metalen) kan in veel gevallen verlengd worden, door het gebruik van primers die de oppervlaktegradatie en/ of het indringen van vocht op het lijmvlak tegengaan.

Lijmtoepassingen op metaal, hout, beton, glas en de meeste kunststoffen zijn in het algemeen goed te realiseren, ook in combinaties van twee geheel verschillende materialen. Veel thermoplastische kunststoffen zijn zonder speciale voorbehandeling moeilijk te lijmen. Een specifieke voorbehandeling is dan noodzakelijk (UV/ozon, corona, plasma, vlambehandeling, en in sommige gevallen een speciale primer). De mate van de lijmhechting is materiaalafhankelijk. Bij veel materialen kan de hechting en duurzaamheid sterk verbeterd worden door de juiste voorbehandeling van de lijmvlakken.

De lijmnaad

Bij lijmverbindingen is het van belang dat de te verlijmen delen een (per lijmtipe) goed gedefinieerde lijmnaad bezitten. Hierbij spelen zowel de breedte, de lengte als de dikte van de lijmnaad een rol. Bij structurele lijmen is de optimale dikte vaak beperkt tot 0.2 mm. Bij “secondenlijmen” kan de lijm vaak capillair worden ingezogen in de lijmspleet. Zeer dunne lijmnaden zijn dan mogelijk.

Bij elastische lijmsorten is de hoogte van de lijmspleet echter aanzienlijk. Deze kan oplopen tot 2 mm of meer.

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

Falen van de lijmverbinding

Velen van ons staan met de spreekwoordelijke “handen in het haar” wanneer een zorgvuldig geconstrueerde lijmverbinding faalt. Dit is erg jammer, want juist een gefaalde lijmverbinding kan U veel informatie verschaffen. Vooral wanneer de plaats waar de breuk heeft plaats gevonden nauwkeurig wordt bestudeerd, kan dit heel veel informatie opleveren over de kwaliteit van de gevolgde voorbehandelingen. De breuk zal namelijk daar plaats vinden waar de verbinding het zwakste is. Een vergelijking met een ketting waarbij na het aanbrengen van een belasting de zwakste schakel breekt, is hierbij goed op zijn plaats. (fig)

Het falen van de verbinding kan op verschillende plaatsen plaats vinden:

- In de lijmlaag (cohesieve breuk);
- In het materiaal (1en/of 2);
- Aan het grensvlak waar de lijm en het materiaal samenkomen;
- In of zeer dicht aan het oppervlak van één der materialen (cohesieve breuk in het materiaal);
- Combinaties van gedeeltelijk adhesief en gedeeltelijk cohesieve breuk.

Cohesieve breuk

Bij een cohesieve breuk in de lijm, zal er zich aan de beide materiaalkanten nog een lijm laag aan het oppervlak bevinden. Er kan in dit geval kan er bijvoorbeeld sprake zijn geweest van een te grote afschuif-spanning, waarbij de breukspanning in de lijmnaad de kritische factor is gebleken. Vaak wordt de breuk geïnitieerd aan de uiteinden van de lijmnaad, waar de hoogste spanningen staan. Er kan natuurlijk ook sprake zijn van een ander type krachten zoals pel- of trekkrachten (of combinaties daarvan) die op de lijmnaad hebben gewerkt.

Om dit probleem op te lossen, zal moeten worden gezocht naar een ander lijmtypen, dat meer krachten over kan dragen zonder te breken. Maar soms kan ook de aanpassing van een verbinding een oplossing brengen.

Bij meer gelaagd basismateriaal zal men een mogelijk een bovenlaag van het materiaal afgescheurd kunnen hebben. Dit is dan weer een cohesieve breuk in het basismateriaal. Het gevolg is, dat het uitgangsmateriaal de uiteindelijke sterkte van het product bepaald.

Vaak zit men een cohesieve breuk in de oxidelaag optreden van metalen zoals staal of aluminium na de expositie van de verbinding aan een vochtig/ vochtig en zout milieu. Dit is dan het gevolg van een slechte oppervlaktebehandeling in relatie tot de gewenste duurzaamheid.

Adhesieve breuk

Bij een puur adhesieve breuk, zal de hechtkracht van de lijm aan het materiaal de beperkende factor geweest blijken te zijn. Een mogelijkheid is, dat de hechting niet verbeterd kan worden en dus de zwakste schakel zal blijven vormen in de verbinding. Maar er kan ook sprake zijn van een onjuiste of onvolledige voorbehandeling, een onjuiste belastingsvorm of combinaties daarvan.

Indien er na het falen van de verbinding aan de lijmzijde nog materiaalresten aanwezig zijn, zal de breuk ook in de bovenste (oxide)laag van het materiaal plaatsgevonden kunnen hebben.

Men kan zich voorstellen, dat het analyseren van het probleem complex wordt, wanneer er bijvoorbeeld gebruik is gemaakt van een microscopisch poreus oppervlak waar de lijm in door is gedrongen. Waar heeft zich dan de breuk voorgedaan. Vaak is in dit soort situaties een aanvullend onderzoek nodig met een elektronenmicroscop en een EDAX, waarbij op het breukvlak naar bepaalde typen moleculen/atomen gezocht kan worden.

Voorbehandeling en voorbereiding

Een lijmverbinding kan worden fictief worden gezien als een ketting met aantal schakels. De schakels stellen de overgangen voor van de verschillende materialen. (zie figuur). Zo kunnen achtereenvolgens het materiaal, mogelijk een oxidelaag, mogelijk een primer, een lijm laag, en wederom primer, oxidelaag en metaal worden onderscheiden. Net als bij de vernoemde ketting zal de lijmverbinding breken wanneer de zwakste schakel het begeeft. Bij moeilijk hechtende materialen of sterk vervuilde oppervlakken is een voorbehandeling noodzakelijk. Pas dan kan de hoge sterkte van een lijm volledig worden benut. De functie van het voorbehandelen is het bereiken van de maximale hechting van de te lijmen

oppervlakken aan de lijm. Ook het bereiken van een bepaalde oppervlakte ruwheid kan een doel van de voorbereiding zijn. Maar een hoge ruwheid is nog geen garantie voor een goede hechting. Een hoge reinheid (geen organisch restmateriaal) is de minimale eis voor een goede hechting. Hierdoor wordt een goede spreiding van de lijm verhoogd en daarmee de hechting en duurzaamheid van de verbinding verbeterd. Een minimale, maar veel gebruikte, voorbehandeling is: ontvetten, schuren/ stralen en aansluitend nogmaals ontvetten.

De voorbehandeling kan ook bestaan uit chemische reinigingsmethoden, zoals ontvetten, etsen, beitsen, of anodiseren. Daarnaast worden ook wel mechanische reinigingsmethoden toegepast, zoals slijpen, schuren, borstelen en stralen.

Voor aluminiumlegeringen wordt vaak beitsen en/of anodiseren aanbevolen, voor staalsoorten vaak stralen of schuren.

Vooral voor kunststoffen worden vaak fysische reinigingsmethoden toegepast, zoals plasma-etsen, corona behandelen, een UV-ozon behandeling of bevlammen.

Om het oppervlak zo snel mogelijk na de voorbehandeling te consolideren (zodat er geen ongewenste vervuilingen meer op neer kunnen slaan) kan een lijmprimer worden toegepast. Ook voor lijmtoepassingen, welke in de praktijk aan een hoge vochtbelasting worden onderworpen, wordt vaak een primer aanbevolen. Veel van deze lijmprimers of hechtverbeteraars moeten wel bij verhoogde temperatuur worden gedroogd of uitgehard.

Tabel . Thermische uitzettingscoëfficiënt en de elasticiteits-modulus van een aantal materiaalsoorten.

	α (ppm/°C)	E (Mpa)
Thermoplasten	100-200	1-5
Thermoders/lijmen	40-80	5
Vezelversterkte kunststoffen	10-50	5-10
Aluminium	20-25	70
Staal	15	200
Glas	5-10	>100

Factoren die de sterkte van de lijmverbinding beïnvloeden

Veroudering

Het voorspellen van de sterkte van een lijmverbinding als functie van de tijd is geen eenvoudige opgave. Een goede voorspelling van de duurzaamheid kan slechts worden gedaan, wanneer de resultaten van verouderingsexperimenten worden vergeleken met onderdelen die in de praktische wereld zijn gebruikt. Maar zelfs dan is het vergelijken nog erg moeilijk omdat door combinaties van vele externe factoren. Er dient namelijk zorg voor te worden gedragen, dat alle factoren die bij de veroudering een rol spelen worden meegenomen in de test. Zo zal over het algemeen de invloed van vochtbelasting groter zijn, indien er een continue statische kracht aanwezig is op de verbinding.

Een gestandaardiseerde test voor de lijmverbinding is bijvoorbeeld te vinden in de ASTM -norm B117, waar de proefstukken onder een zekere hoek bij 35 °C worden geëxposeerd bij 95% relatieve vochtigheid van een 5% NaCl -oplossing in demi-water.

Temperatuur

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

Vocht.

Het kleine watermolecuul is -over het algemeen- zonder al te veel problemen in staat om een polymeer binnen te dringen. Echter, naarmate het polymeer dichter wordt zoals bij veel thermoharders (met een grote hoeveelheid aan gecrosslinkte verbindingen) zal de vochtopname geringer zijn. Ook kunnen gebruikte vulstoffen in negatieve zin bijdragen in de vochtopname. Door de vochtopname kan het polymeer opzwellen. Daarmee kunnen zijn fysische eigenschappen zoals de sterkte en stijfheid afnemen. Bovendien bestaat het risico van toename van de spanningen als gevolg van de zwelling. Bij de verlijming van verschillende polymeren bestaat tevens het risico van verschil in vochtopname met als resultaat verschil in zwelling en een daarmee samenhangende toename in spanningsniveau.

UV-licht

UV-licht is te verdelen in deelspectra. Te weten, UVA (), UVB () en UVC – licht. Polymeren hebben de eigenschap dat zij vaak nogal gevoelig zijn voor UV-licht. Dit is het gevolg van de energie waarmee de koolstof-koolstof bindingen in de polymeerketen verbonden zijn..

Ref.

1. W. Takens, 'Crazevorming in thermoplasten met verzadigde pentaandamp als medium', *Materialen* Nov/Dec 1993, pp 26-28.
2. J. Bouma, 'Lijmen van technische kunststoffen', *de constructeur*, oktober 1994, speciale uitgave, pp 34-38.
3. D.J. de Korte, :*"Lijmen als verbindingstechniek"*, MB, Jrg. 61, No. 5, mei 1995.
- 4.

Veiligheidsfactor voor een lijmverbinding

Na langere tijd indringing van vocht, de inwerking van UV-straling of een agressief milieu zoals zuren en zouten, etc. kan de lijm (polymeer) versneld verouderen waardoor de eigenschappen veranderen en de sterkte versneld zal kunnen afnemen. Bij het ontwerp van een gelijmde verbinding moet hiermee dmv een veiligheidsfactor rekening worden gehouden. Deze waarde kan men slechts bepalen aan de hand van vele duurzaamheidsproeven en kan per type toepassing, per lijmsysteem en per voorbehandeling sterk uiteenlopen. De factor zal hoog zijn bij zware omstandigheden als bij toepassingen waarbij zeewaterbestendigheid geëist wordt, en gelijk aan 1 zijn indien het verlijmde product in de huiskamer wordt gebruikt.

Vermoeiing

Vermoeiing is het bezwijkgedrag van een materiaal, verbinding of constructie ten gevolge van het aanbrengen van een groot aantal belastingwisselingen. Bij een belasting lager dan de statische bezwijklast zal het materiaal niet direct bezwijken, maar als deze belasting vele malen wordt herhaald kan een vermoeiingsbreuk optreden (Kinloch [2], Schijve [12]). De vermoeiingslevensduur kan worden opgedeeld in twee fasen (Schijve [12]):

- 1) Initiatiefase van vermoeiingsschade;
- 2) Scheurgroefase tot bezwijken.

De weerstand van een gelijmde verbinding tegen vermoeiing is afhankelijk van het lijm materiaal, de gebruikte materialen, de toegepaste voorbehandeling, afmetingen van de lijmverbinding en de opgewekte spanningsconcentraties. Maar ook de frequentie van de opgelegde kracht spelen hierbij een rol.

Voor elastische lijmen kunnen een sterk dempende werking uitoefenen bij wisselende belastingen. Dit kan een sterk positief effect op de duurzaamheid van de verbinding/constructie hebben.

De gevolgen van herhaalde belastingen op de vermoeiingslevensduur van een materiaal of constructie wordt meestal weergegeven in een zg. S-N kromme, of Wohler kromme (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Uit deze figuur blijkt, dat voor de vermoeiingslevensduur ruwweg drie gebieden kunnen worden onderscheiden (Schijve [12]):

- I) **Statische sterkte.** Als bij hoge belastingen nabij de statisch bezwijklast het materiaal niet bezwijkt bij de eerste cycle is het blijkbaar in staat om 100 of meer wisselingen te weerstaan. De S-N kromme vertoont een horizontale asymptoot;
- II) **Daling van de vermoeiingssterkte.** Na een zekere initiatiefase van vermoeiingsschade zal de scheur verder groeien totdat uiteindelijk bezwijken optreedt bij een belasting onder de statische bezwijklast. Hoe lager de belasting hoe meer wisselingen het materiaal kan weerstaan. De S-N kromme vertoont meestal een rechte lijn op log-log schaal;
- III) **Vermoeiingsgrens.** Bij lage belastingen is de initiatiefase van vermoeiingsschade relatief lang. Na initiatie zal de scheur langzaam doorgroeien totdat uiteindelijk bezwijken optreedt. Echter, als er geen initiatie optreedt is de levensduur – in theorie – oneindig lang. In dat geval is er sprake van een vermoeiingsgrens.

Beneden deze belasting treedt geen bezwijken op. De S-N kromme vertoont een horizontale asymptoot.

Lijmverbindingen zijn, vanwege hun flexibiliteit dus in het algemeen zeer geschikt om gebruikt te worden als er in de constructie wisselende belastingen optreden. Voornamelijk omdat er geen versnelde materiaalverzwakkingen optreden als gevolg van de -anders vaak noodzakelijke- geboorde gaten. Daarnaast treden er geen spanningspieken op in de verlijmden producten zoals dat wel degelijk het geval is bij klink-, bout en lasverbindingen. In vergelijking tot lasverbindingen is er bij lijmverbindingen bovendien geen sprake van een toegenomen brosheid van de verbonden delen als gevolg van de ingebrachte warmte.

Vermoeiingscurve

Lijmen biedt een groot aantal voordelen ten opzichte van klassieke verbindingmethoden. Indien er twijfel bestaat over de mogelijkheden van het type toepassing tot voorbehandeling kunt U altijd te raad gaan bij één der instituten. Want vergeet U niet, lijmen hebben ongekeerde verbindingsmogelijkheden!

Het testen van lijmverbindingen

Bij veel producten die verlijmd zijn rijst de vraag of de verbinding van voldoende kwaliteit is. Om dit te controleren zijn twee principieel verschillende methoden: destructief en niet-destructief.

Bij destructieve testen worden een aantal (meestal gestandaardiseerde) proefstukken aangemaakt en getest op hun sterkte. Bij niet-destructieve testen worden de producten zodanig getest, dat het verlijmd deel- of eindproduct intact blijft, en dus gewoon verkocht kan worden aan een klant.

Destructieve testen

Bij de destructieve testen betreft het meestal eenvoudige proefstukken bestaande uit plaatmateriaal, bijvoorbeeld overlappenden die verlijmd zijn. Hierbij valt te denken aan plaatmateriaal van bijvoorbeeld aluminium met een dikte van 1.6 mm en een breedte van 25 mm. Deze twee stroken worden met een overlap van 12.5 mm met lijm verbonden en nadat de lijm is uitgehard kapot getrokken. Voor aluminium van het type 2024 TC clad – materiaal is dit nauwkeurig beschreven in de ASTM –norm D 1002 maar ook in de Europese norm EN2243-2 staat een identieke beschrijving. Deze normalisering kan natuurlijk ook op andere materialen worden toegepast, en vergemakkelijkt het onderling vergelijken van gevonden testwaarden.

Naast deze zogenaamde overlap verbinding bestaan er ook andere (gestandaardiseerde) testmethoden zoals diverse typen peltesten (ASTM....) en kop-kop trekproeven. Al deze destructieve testen kunnen -afhankelijk van het gebruikte type- worden gebruikt om informatie te verzamelen over de kwaliteit (hechting) van de gebruikte coating

(primer) aan het basismateriaal, maar ook van de hechting van de primer en de lijmlaag onderling.

Niet-destructieve testmethoden

Er zijn verschillende fysische principes te onderscheiden. De belangrijkste berusten op de volgende:

Resonantie verschijnselen,

Mechanische weerstand (damping) van geluid

Uitzettingsverschillen als gevolg van overgangen naar andere materialen