

PDFs van de website 1

Lijmen & Hechting

De wondere wereld van lijmen en hechten



gecertificeerde
NLT module
voor havo

DE GESCHIEDENIS VAN BISON KIT®



Bison Kit® is het oudste en veruit meest bekende product van Bison International.

De Firma Bison International voorheen Perfecta Chemie -opgericht in 1938- produceerde de eerste jaren vooral lijmen voor schoen- en lederwarenindustrie. Deze lijmen werden gemaakt van natuurrubber in oplossing maar ook wel als latex.

Neopreen

In de begin jaren 50 werd gestart met de productie van z.g. neopreenlijm. Neopreen was een synthetische rubber geproduceerd door Dupont de Nemours.

Deze rubber had vele voordelen t.o.v. natuurrubber. De rubber was sterker, beter bestendig tegenover veroudering en beter oplosbaar. Bovendien hebben synthetische producten meer gelijk van kwaliteit.



Door de diverse soorten neopreen en de vele mogelijkheden voor combinaties met andere grondstoffen werden meerdere neopreen lijmen met verschillende eigenschappen ontwikkeld voor de schoen- en lederwaren industrie.

Blik anno 1958



Tube anno nu

Formica

Toen het product Formica in Nederland op de markt kwam ontstond er behoefte aan een lijm waarmee dit materiaal gemakkelijk zonder persapparatuur verlijmd kon worden. Een schoenlijm werd aangepast en omgedoopt tot Bison Kit, een naam die kracht uitstraalde. Dit product werd in 1958 op de markt gebracht, eerst in blik en later door het succes en de vele gebruiksmogelijkheden in tubes.

Veelzijdigheid

Bison Kit was een lijm die weliswaar vooral op de markt kwam voor het verlijmen van Formica, men spreekt ook over plastic bekledingsplaat, maar die zodanig was samengesteld dat deze lijm zeer veelzijdig toepasbaar was.

De samenstelling en wijze van produceren was van dien aard dat een product werd verkregen waarbij van het ideale mengsel gesproken mocht en nog steeds mag worden. Naast de bijzonder goede eigenschappen werd ook een lijm verkregen die uiterst stabiel bleek te zijn. Vooral in warme landen bleek dit een opvallend verschil met concurrerende producten. De slogan voor duizend en een karweitjes paste dan ook ten volle bij deze lijm.

Ontwikkelingen

Ondanks vele ontwikkelingen in de lijmwereld is Bison Kit nog steeds het grootste product van Bison International. Behalve in de Benelux is de lijm buitengewoon populair o.a. Midden Oosten en Indonesië.

Receptuurveranderingen zijn er in de loop der jaren nauwelijks geweest. Alleen de oplosmiddel-samenstelling werd zodanig veranderd dat deze minder schadelijk is geworden.

Verder is de wijze van produceren verbeterd zodat de productiecapaciteit kon worden opgevoerd.



BISON KIT®



PRODUCTOMSCHRIJVING

Vloeibare contactlijm op basis van synthetische rubber, kunstharsen en oplosmiddelen.

TOEPASSINGSGBIED

Lijmt plastic bekledingsplaat (zoals Formica), fineer, board, plastic randen, trapranden, vloerbedekking op trappen, rubber, leer, linoleum, kurk, polyetherschuim onderling en op hout, spaanplaat, beton en metaal. Niet geschikt voor polystyreenschuim (piepschuim).

EIGENSCHAPPEN

Universeel
Direct vast
Extra sterk
Vochtbestendig
Zeer goed bestand tegen vorst
Bestand tegen olie, basen en zuren
Eenvoudig te verwerken

Omschrijving	Artikelnr.	BE	EAN (stuks)	EAN (BE)
Tube 50 ml schapdoos	1301054	24	8719 6099	8710439 000275
Tube 50 ml kaart	1301055	12	8710439 059976	8710439 000930
Tube 100 ml schapdoos	1301108	15	8710439 008714	8710439 032900
Tube 100 ml kaart	1301106	12	8710439 000350	8710439 003436
Bus 250 ml	1301120	6	8710439 060026	8710439 008752
Bus 750 ml	1301140	6	8710439 011431	8710439 003993
Bus 2,5 l	1301157	1	8710439 011578	8710439 011578

VERWERKING

Bewerking ondergrond: De te lijmen delen moeten droog, vet- en stofvrij zijn. Delen moeten goed op elkaar sluiten.

Gereedschap: Stevige kwast of lijmkam voor het instrijken van grote oppervlakken.

Gereedschap reinigen met Bison Ontvetter.

Aanbrengmethode: Tweezijdig aanbrengen. Bij lage temperaturen moet erop gelet worden, dat de te lijmen materialen en de lijm op kamertemperatuur zijn.

Koude materialen hebben nl. een sterke aantrekkingskracht voor aanwezig vocht. Vocht op de lijm laag kan funest zijn en de verlijming volledig doen mislukken.

Verwerkingstemperatuur: Niet verwerken beneden +10°C.

Droogtijd: 10-40 minuten.

Verbruik: Afhankelijk van de aard van de te lijmen materialen: 2-2,5 m² / liter (tweezijdig ingestreken).

GEBRUIKSAANWIJZING

Beide delen gelijkmatig instrijken. Poreus materiaal 2x instrijken; de tweede maal nadat de eerste laag droog is. De droogtijd is afhankelijk van het soort materiaal en de temperatuur. Als de lijm laag nog net even kleeft (pikt) en geen draden meer trekt als men er met de vinger op drukt, de materialen direct op de juiste plaats aanbrengen, verschuiven is niet meer mogelijk.

Vervolgens het gehele oppervlak stevig aankloppen met een rubberhamer of aanrollen met een aandrukrol. Persen met behulp van een pers is eveneens mogelijk indien de persdruk over het gehele oppervlak gelijkmatig verdeeld en voldoende hoog is. Hobbels en holten maken het hechtingsvlak kleiner. Luchtblazen kan men vermijden door bij het bevestigen het materiaal a.h.w. af te rollen. Bison Kit heeft een zeer hoge aanvangshechting. De lijmvlakken alleen met de handen aanduwen is echter niet voldoende. Stevig aankloppen of aanrollen blijft voor een optimaal resultaat in alle gevallen noodzakelijk. Persen met klemmen, die alleen druk op de randen geven, is beslist onvoldoende. Zet tijdens het drogen de met Bison Kit ingesmeerde materialen nooit op de tocht of in een ruimte waar waterdamp of stof aanwezig is. Relatieve luchtvochtigheid bij voorkeur niet hoger dan 65%.

PRODUCTOMSCHRIJVING

Vloeibare contactlijm op basis van synthetische rubber, kunstharsen en oplosmiddelen.

EIGENSCHAPPEN

Verdunbaarheid: indien nodig alleen verdunnen met Verdunner voor Bison Kit.

Temperatuurbestendigheid: Bison Kit is temperatuurbestendig van -15°C tot +70°C.

Vochtbestendigheid: goed.

Chemicaliënbestendigheid: bestand tegen olie, basen en zuren.

TECHNISCHE GEGEVENS

Basisgrondstof: polychloropreenrubber.

Kleur: geel/bruin.

Vast stofgehalte: 24,5%.

Dichtheid: 860 kg/m³.

Viscositeit: 3,5 Pa.s. bij 20°C.

Vlampunt: K1 (<21°C).

VEILIGHEIDSAANBEVELINGEN

Symbool = F Xi N

R 11 = Licht ontvlambaar.

R 36 / 38 = Irriterend voor de ogen en de huid.

R 51 / 53 = Vergiftig voor in het water levende organismen; kan in het aquatisch milieu op lange termijn schadelijke effecten veroorzaken.

R 67 = Dampen kunnen slaperigheid en duizeligheid veroorzaken.

S 2 = Buiten bereik van kinderen bewaren.

S 16 = Verwijderd houden van ontstekingsbronnen - Niet roken.

S 24 / 25 = Aanraking met de ogen en de huid vermijden.

S 26 = Bij aanraking met de ogen onmiddellijk met overvloedig water afspoelen en deskundig medisch advies inwinnen.

S 29 = Afval niet in de gootsteen werpen.

S 46 = In geval van inslikken onmiddellijk een arts raadplegen en verpakking of etiket tonen.

S 51 = Uitsluitend op goed geventileerde plaatsen gebruiken.

P99 = Bevat pijnhars. Kan een allergische reactie veroorzaken.

OPSLAGSTABILITEIT

Bison Kit kan minimaal 24 maanden worden bewaard, mits op koele plaats in goed afgesloten verpakking. Het verdient aanbeveling Bison Kit in vorstvrije ruimte te bewaren. Vorstbestendigheid: zeer goed bestand tegen vorst. Mocht de lijm ten gevolge van de vorst wat zijn ingedikt, dan op normale dikte brengen door enkele uren te verwarmen bij ca. +20°C.

LIJMVLEKKEN

Verwijderen door het materiaal, indien mogelijk, in Bison Lijmvlekverwijderaar te dompelen. In andere gevallen, verse vlekken verwijderen met wasbenzine. Oudere vlekken met verfabijt behandelen.

Onze adviezen zijn gebaseerd op uitgebreide onderzoeken en praktijkervaringen. In verband met de grote verscheidenheid van materialen en/of omstandigheden waaronder onze producten worden gebruikt, kunnen wij geen aansprakelijkheid aanvaarden voor de verkregen resultaten en/of enige schade die het gevolg zou zijn van het gebruik van het product. Wij staan echter graag voor u klaar met advies.

BRUGGEN



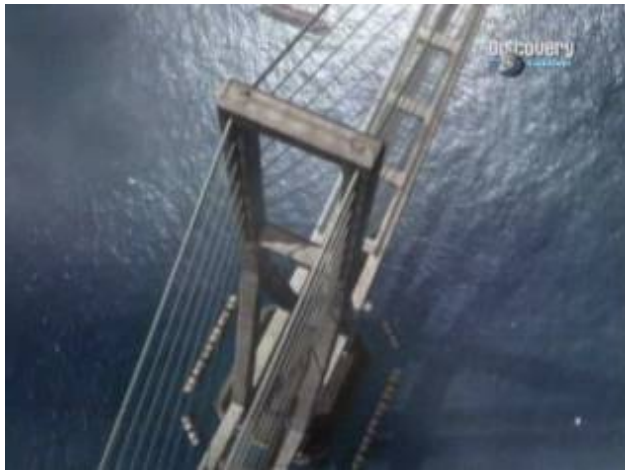
De langste brug: "Akashi Kaikyo Bridge"

Inhoud

	Blz.
Inleiding	3
De Geschiedenis	4
Type Bruggen	5
Boogbruggen	6
Balkbruggen	9
Tuibruggen	11
Cantileverbruggen	14
Hangbruggen	17
Onderzoek balkprofielen	20
Conclusie	23
Bronvermelding	24

Inleiding

Als onderwerp heb ik bruggen gekozen. Ik vond dit wel een leuk onderwerp omdat ik heel lang aan het twijfelen was welk onderwerp ik zou kiezen. In het eerste hoofdstuk staat een globale geschiedenis van de brug. Het volgende hoofdstuk gaat over de verschillende soorten bruggen die voor kunnen komen. De hoofdstukken daarna geven meer informatie per type brug. Er is ook een hoofdstuk over de langste bruggen ter wereld. Ten slotte staat er nog een stuk over mijn practicum waarbij ik een klein beetje hulp van mijn oom heb gehad. En de belangrijkste conclusies daarvan.



Een virtuele brug over de middellandse zee. Hierdoor ontstaat een directe verbinding tussen Spanje en Marokko.

De geschiedenis van de bruggenbouw

Al in de tijd van de oudheid waren er volken die bruggen bouwde. Het belangrijkste doel van deze bruggen was het instant houden van een groot rijk zoals het rijk van de Chinezen of Romeinen. Door deze bruggen kon er makkelijker en meer handel zijn tussen steden, was er minder honger doordat voedsel van verder gelegen plaatsen nog steeds geïmporteerd kon worden voordat het bedorf en konden grote legers sneller verplaatst worden. Het zorgde er dus voor dat het rijk vanuit een hoofdstad te regeren was en niet uiteenviel.



Deze bruggen waren meestal gemaakt van materialen die de natuur in de nabijheid in voorraad had zoals hout, natuursteen, bamboe en lianen. De Romeinen pasten voornamelijk twee brugtypen toe: houten bruggen, gebouwd op stenen pijlers of op ingeheide houten palen, en halfcirkelvormige [boogbruggen](#), vervaardigd uit een betonachtig materiaal met een natuurstenen bekleding. Na het instorten van deze grote rijken is er een tijd in de geschiedenis waarin het snelle transport over langere afstanden minder belangrijk was. Dorpen en steden waren toen erg zelfvoorzienend en waren niet echt afhankelijk van de handel. De handel die er plaatsvond ging meestal met behulp van scheepvaart. Er ontstonden hierdoor ook veel handelsplaatsen bij de kust of op doorwaadbare plekken langs rivieren. Een goed voorbeeld hiervan is Parijs.

Pas in de latere middeleeuwen is er weer meer behoeften naar bruggen zodat de overgang over een rivier, die nog wel eens buiten zijn oevers kon treden, het hele jaar door gegarandeerd is. Ook deze bruggen werden weer gebouwd met materialen die in de beurt gevonden konden worden zoals hout en natuursteen. Deze bruggen werden geheel uit eigen inzicht gemaakt. In het begin bouwde men alleen de perfecte boogbrug met een halfcirkelvormige boog. Later bouwde men meer gedurfde, vlakke brugtypen. Deze bouw hiervan was volledig uit intuïtie zonder enige berekeningen, toch was men toen al in staat overspanningen te maken van meer dan 60 meter.

In de loop van de 18de eeuw werd de kunst van het berekenen van bouwconstructies ontwikkeld. Ook kreeg men meer inzicht het gebruik van bepaalde materialen voor trekkrachten en weer andere voor compressiekrachten. Hierdoor werd het mogelijk bruggen te bouwen met een meer veiligheid en konden weer grotere afstanden "overbrugt" worden. De grote stoot tot de verdere ontwikkeling van zowel vaste als

beweegbare bruggen werd in de eerste helft van de 19de eeuw gegeven. Dit kwam doordat de behoefte aan bruggen enorm toenam door de ontwikkeling van de spoorwegen maar ook de opkomst van sterkere materialen zoals ijzer en staal droegen hun steentje bij. Na 1900 kreeg het staal vooral bij bruggen met kleine en middelgrote overspanningen concurrentie van het gewapend beton wat goedkoper en makkelijker in gebruik was.

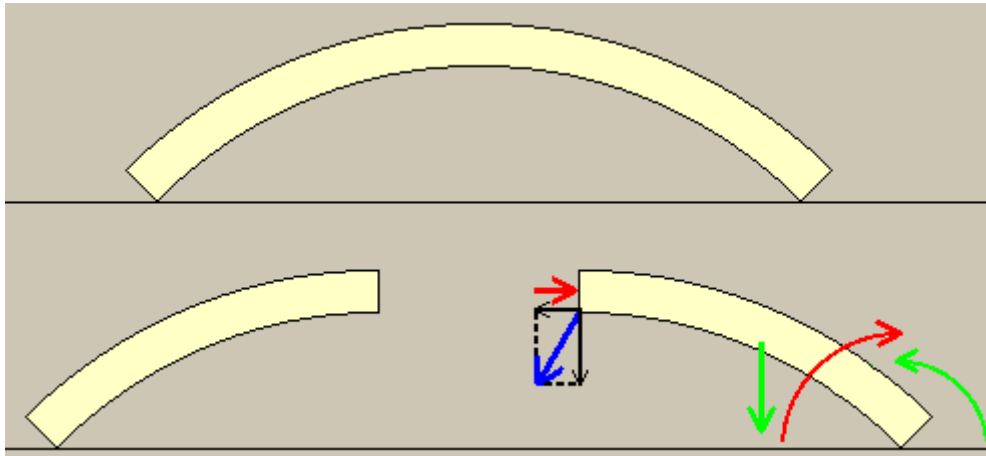


In de laatste jaren heeft de bouw van bruggen een versnelde ontwikkeling doorgemaakt. Door het aaneenlassen van stalen platen en lichte profielen kunnen staalconstructies worden samengesteld die als één geheel werken, in plaats van de eerder toegepaste constructies die uit onderdelen waren opgebouwd. Dit heeft, samen met het gebruik van speciale staalsoorten, geleid tot veel lichtere stalen bruggen. Door voorspanning van de wapening is het mogelijk geworden betonbruggen te bouwen die veel lichter zijn en met een grotere overspanning hebben.

Ook op het gebied van montage heeft is er een snelle ontwikkeling. Door het inzetten van grote mobiele kranen kunnen voorgespannen betonnen brugliggers met een maximale lengte van 60 meter vooraf in de fabriek worden gemaakt en daarna in hun geheel als een soort meccano doos in elkaar worden gezet. Grote betonnen bruggen kunnen in 'moten' worden gefabriceerd, welke met een speciale lijm en voorspankabels tot een hecht geheel worden samengevoegd. Met behulp van deze techniek kan men bruggen snel bouwen op plaatsen die praktisch onbegaanbaar zijn of maar kort kunnen worden afgesloten in verband met de economische belangen.

Boogbruggen

Je zou je wel eens kunnen afvragen waarom een boogbrug niet instort? Er is namelijk niks waar het aan kan hangen of op kan steunen buiten de zijanten waar de boog aan vast zit. Dit is het duidelijkst uit te leggen met de volgende plaatjes.



Stel we nemen een boog en delen die in tweeën zoals in het bovenstaande plaatje. Als je nu het rechter boogdeel zou loslaten zou de zwaartekracht (de groene pijl) de boog naar beneden trekken. Doordat de boog echter al op de grond steunt zal hij linksom gaan draaien, om het punt waar hij de grond raakt (zie kromme groene pijl). Door deze draaiing zal punt A in het plaatje de kant van de blauwe pijl op gaan bewegen. Doordat er een beweging is in die richting verplaatst zich dus massa in die richting wat eigenlijk inhoudt dat er dus een kracht is in die richting. Deze zou je je dus eigenlijk kunnen voorstellen als de blauwe peil.

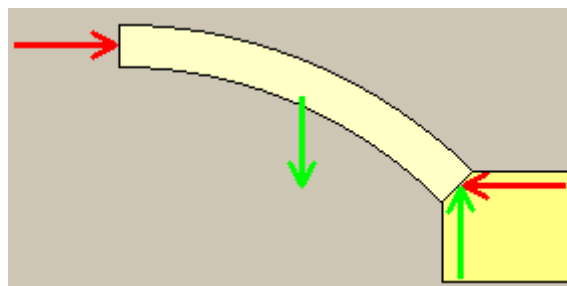
De blauwe schuine pijl die een kracht voorstelt kan je ook tekenen door hem op te splitsen in een horizontale en een verticale kracht. Stel je voor dat er aan de andere kant dezelfde boog staat maar dan in spiegelbeeld. De krachten zijn dan ook allemaal gedraaid. De horizontale krachten staan dan tegen over elkaar en zullen elkaar dus opheffen. Wat we dan overhouden is de verticale kracht. Deze kracht zal echter ook veranderen in een horizontale kracht.

Stel je voor dat de we de boog zouden bouwen op een mal en deze in een keer kunnen weghalen. We filmen dit en spelen dit filmpje vervolgens heel langzaam af zodat we goed kunnen zien wat er met de krachten gebeurt. De boogdelen willen draaien (kromme groene pijl) door de zwaartekracht (groene pijl). De bogen staan echter tegen elkaar waardoor de ze tegenovergestelde krachten op elkaar uitoefenen (rode pijl). Deze krachten zijn even groot. Daardoor houden ze elkaar in evenwicht blijft de boog precies het zelfde dan als er geen krachten zouden zijn. De kracht naar beneden blijft wel over. De boog gaat daardoor ietsje naar beneden. De blauwe pijl draait hierdoor en wordt iets horizontaler omdat de boog uiteindelijk bij de punt van de pijl moet uitkomen. Anders zou de boog een andere vorm krijgen. De boog valt dan weer een stukje naar beneden en wil daardoor weer meer opzij. Dit blijft net zolang doorgaan totdat je alleen nog maar een horizontale kracht overhoudt. Doordat de twee boogdelen het zelfde zijn zullen deze krachten ook weer de zelfde waarde hebben en elkaar opheffen. De boog is nu 1 geheel zou dus moeten blijven staan.



De boog is ietsjes ingezakt omdat de krachten naar beneden opgeheven moeten worden.

Er is echter nog iets waar we rekening mee moeten houden. Als de bogen naar links en naar recht duwen zullen ze zich naar rechts en links moeten afzetten. Dat is waar de grond voor zorgt zoals je kunt zien in de volgende figuur.



De rode pijl in het gele blok (de grond) zorgt ervoor dat de brug niet opzij schuift het zelfde geldt voor de groene peil die hierdoor de zwaartekracht naar beneden kan opheffen. Dit zorgt er voor dat het totaal moment (het totaal van alle krachten die op de brug werken) nul is. De boog zou nu blijven staan. Zonder enige ondersteuning met uit zondering van de grond.

De boogbrug is na de balkbrug het oudste type brug wat bestaat. Dit komt omdat er voor dit type brug materialen nodig zijn die een hoge compressiekracht kunnen weerstaan. Dat is dus een kracht die als het ware probeert het materiaal fijn te drukken. Bijna alle materialen kunnen beter tegen compressiekrachten dan tegen trekkrachten.

Dit materiaal is vrijwel overal voor handen: steen. Dit is ook het voordeel van de brug, hij is relatief goedkoop te maken doordat er weinig hoogwaardig staal nodig is, in het geval je hem helemaal van steen maakt natuurlijk. Met dit type brug zijn ook grotere overspanningen te maken. Ook is de boog een soort bewijs van wijsdom. Het is ingewikkeld type brug om te bouwen, wie vroeger grote boogbruggen kon ontwerpen en bouwen zonder dat ze instorten werd ook als geniaal beschouwd.



Balkbruggen

Het type balkbrug is technisch gezien het simpelste om te bouwen. Het bestaat slechts uit één onderdeel; de balk. Deze rust op de twee zijkanten van hetgeen wat je wil overbruggen en zo ontstaat een brug. De krachten die worden overgebracht door de balk zelf gaan ook via deze zijkanten de grond in. Als het bouwen van een brug zo simpel is als het hier is uitgelegd, waarom bouwen we dan allemaal van die ingewikkelde bruggen met pilaren of bogen? Dit leg ik uit met het volgende plaatje:



In de situatie van de foto is er een evenwicht. Het blad met de boeken erop blijft liggen. In deze situatie geldt dus dat de gehele kracht linksom (Dus het blad dat links van de paal zit plus de boeken) net zo groot is als de gehele kracht rechtsom. Toch is dat raar want je zou zeggen dat de stapel boeken links veel meer weegt dan rechts. Dit komt door de arm zoals dat heet. Til maar eens een hele dikke encyclopedie en houd deze eerst 30 seconden tegen je aan. Houd de encyclopedie nu is 30 seconden met gestrekte armen vast. Je snapt nou ineens waarom leraren zo gespierd zijn, die lopen altijd met dikke boeken. Hoe verder je het boek van je af houdt hoe zwaarder het lijkt te wegen. Dit geldt in onze situatie met de boeken ook. Je kan de kracht van een arm uitrekenen met de volgende formule:

$$M = Fd$$

M staat voor Moment

F staat voor gewicht in newton van het totaal gewicht van de arm

d is de afstand van de rand tot het aangrijpingspunt van de zwaartekracht van de totale massa F

In het geval van de plaat. De boeken links wegen 0.8 kg en het boek rechts 0.3 kg. Het gewicht van de plastic plaat verwaarlozen we omdat weinig invloed heeft en het anders de som onnodig ingewikkeld maakt.

M linksom is $(0.8 \text{ kg} \times 9.81) \times 0.2 \text{ meter} = 1.6$

M rechtsom is $(0.3 \text{ kg} \times 9.81) \times 0.6 \text{ meter} = 1.7$

De plaat is dus min of meer in evenwicht. Je zal nu ook wel snappen dat als iemand op een brug loopt en hij verder van een pilaar af loopt het voor de pilaar net lijkt alsof hij steeds zwaarder wordt. Elk materiaal heeft een breekpunt. Dat is een bepaalde kracht over een bepaalde lente, dus bijvoorbeeld 100 kg per meter als de balk vijf centimeter dik is waarbij het materiaal breekt. Dus zo is er ook een maximum voor de lengte van een balkbrug die je kunt maken. Je kan dit maximum echter veel verlengen door het toepassen van [balkprofielen](#).

Het voordeel van een balkbrug is dat hij heel simpel is en het goedkoopst om te bouwen. 1 balk is al genoeg. Hij komt het verreweg het meeste voor. Toch heeft de balkbrug ook een beperking: de lengte. Ten opzicht van alle andere typen bruggen kan een balkbrug maar relatief korte afstanden overbruggen. Dit maakt hem ideaal voor een brug over auto of spoorwegen. Maar rivieren en diepe ravijnen kan je er echter niet mee overbruggen zonder gebruik te maken van tussen ondersteuning of ophang.

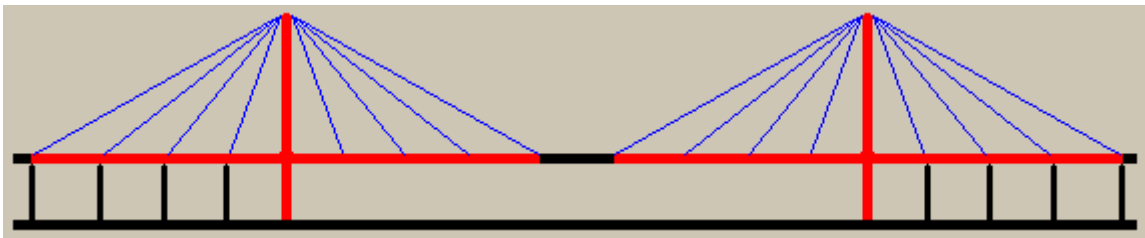


In de staat Florida in Amerika ligt er een dunne strook land voor de kust. Dit gebied is zeer toeristisch net zoals de Nederlandse stranden vol Duitsers zitten in de zomer. Er zijn daarom ook veel verbindingswegen tussen het vaste land en deze strook land aangelegt. Doordat het water er ondiep is kon men hier gewoon een goedkope balkbrug bouwen met heleboel ondersteuningspilaren in plaats van de veel duurdere hangbrug die anders nodig was geweest. Ook zijn deze balkbruggen veel beter bestand tegen de vele oorkanen die over dit gebied trekken.



Tuibruggen

Een tuibrug lijkt in veel opzichten op de cantilever brug die in het volgende hoofdstuk beschreven staat. De overspanningen links en rechts van een steuntoren kunnen op dezelfde wijze gemaakt worden als een cantilever brug. Namelijk naar beide kanten even snel zodat er geen ondersteuning van de grond nodig is tijdens de bouw. Een verschil tussen een cantilever brug en tuibrug is dat de eerstgenoemde een stuk overspanning tussen de twee cantilevers heeft. Het grootste verschil is natuurlijk dat een cantilever brug meestal van metalen frames gebouwd is en een tuibrug van 'slappe' kabels. In onderstaande afbeelding staat de schematische weergave van een tuibrug. De rode balken staan onder drukkrachten en zijn de cantilevers, de blauwe kabels staan onder trekkrachten. In het volgende hoofdstuk staat nader toegelicht hoe de cantilevers werken.



Het grootste nadeel van de tuibrug is dat hij de stijfheid van het metalen frame zoals bij bijvoorbeeld een cantilever brug mist. Dit wordt wel enigszins tenietgedaan door de lange doorlopende balk die door het wegdek gevormd wordt, maar zeker tijdens de bouw van een lange tuibrug kunnen er ernstige schommelingen ontstaan. Zeker zolang de twee helften nog niet met elkaar verbonden zijn. Tijdens de bouw van de 'Pont de Normandie' waren er zelfs grote actieve dempers aangebracht voor als de situatie uit de hand mocht lopen. Deze dempers maten de slingering van de brug en als deze te erg werden zorgden ze voor een tegenovergestelde kracht zodat de slingering weer gedempt werd. De bouw verliep echter zonder enige problemen. Op onderstaande foto's is de 'Pont de Normandie' te zien tijdens de constructie en als de brug af is.



Het grootste voordeel van een tuibrug is dat ze goedkoper zijn dan een hangbrug van dezelfde lengte, al kan een hangbrug dan wel weer langer zijn. Nog een voordeel is dat er geen horizontale krachten optreden zoals bij bijvoorbeeld een boogbrug. Dit scheelt veel geld omdat er geen dure verankering gemaakt hoeven te worden. Je kunt ze ook goed aanpassen aan ieder locatie omdat ook vele asymmetrische ontwerpen mogelijk zijn. Een in Nederland zeer bekende asymmetrische tuibrug is de Erasmusbrug. Bij deze brug is asymmetrie toegepast omdat er dan maar één toren gebouwd hoefde te worden. De totale lengte van de Erasmusbrug is 802 meter. Op onderstaande foto's is de asymmetrie zeer goed te zien.

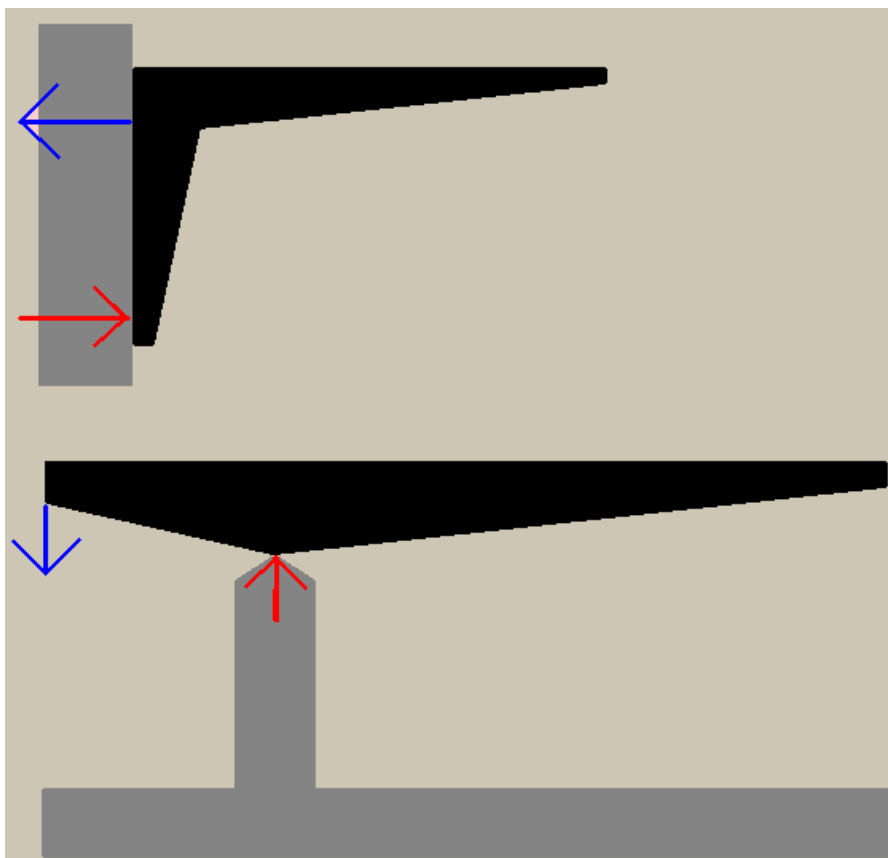


Het meest gebruikte materiaal voor de kabels is staal, omdat dit zeer goed tegen trekkrachten bestand is. Bij kleinere bruggen wordt soms ook wel gewapend beton gebruikt, vooral om de kosten te drukken. Dit kan echter alleen bij kleine bruggen omdat een hoeveelheid beton beduidend minder trekkracht aankan dan een zelfde hoeveelheid staal. De torens worden vaak van wel van beton gemaakt, omdat dit materiaal wel weer zeer goed tegen drukkrachten kan.

De meeste logische plaats voor een tuibrug is bij een overspanning van groter van 500 of 600 meter, daar kunnen de andere brugtypes niet meer aan komen. De hangbrug nog wel, maar die is weer veel duurder voor deze afstanden. Een overspanning groter dan 1100 meter kan niet meer overbrugd worden door een tuibrug, dus vanaf deze lengte zal de hangbrug weer gekozen worden.

Cantileverbruggen

Een cantilever brug lijkt vaak veel op bijvoorbeeld een boogbrug of een balkbrug. Het zit het in de manier van het dragen van het wegdek. Bij een boogbrug en een balkbrug wordt de zwaartekracht via de ondersteuning rechtstreeks naar de aarde weggevoerd. Een cantilever heeft een vrij overhangend gedeelte wat vaak iets weg heeft van een hefboom. Twee krachten of twee verschillende plaatsen houden elkaar hierbij in evenwicht. Je kunt zelf een simpele cantilever overspanning maken door met een 30 centimeter lange liniaal. Houd je rechter wijsvinger onder de liniaal bij ongeveer 10 centimeter en houd je linker wijsvinger boven de liniaal bij ongeveer 1 centimeter. De twintig centimeter die nu overhangt hangt dus op de cantilever manier. Ook een vorm van cantilever ondersteuning vindt je bij een boekenplank. De L-vormige steuntje werken ook op dit principe, alleen dan een kwartslag gedraaid. Onderstaande afbeelding verduidelijkt dit, de bovenste figuur is de boekenplank, de onderste de 'liniaalbrug'.



Op deze foto zie je een praktijkvoorbeeld van het cantilever principe, de seinen van de trein die boven de rails gehouden worden.



Op deze manier kun je natuurlijk ook bruggen maken, de meeste cantilever bruggen zien er dan zo uit als op het plaatje hieronder. Aan het begin en het eind van de brug zijn twee cantilever overspanningen (de zwarte delen), en ertussen in word nog een normale balk gelegd. Dit heeft als grootste voordeel dat met een relatief simpele constructies hele lange overspanningen behaald kunnen worden, veel langer dan met bijvoorbeeld een balkbrug. Dit komt doordat de het de middenoverspanning dus net zo lang kan zijn als een balkbrug, maar door de cantilever methode toe te passen op de ondersteuning kunnen deze veel verder naar buiten geplaatst worden.



De meeste kleine cantilever bruggen zijn op deze manier gemaakt, zijn bruggen over rijkswegen of bruggen van rijkswegen. De verschillende betonnen platen worden voorgefabriceerd en hoeven terplekke alleen nog maar 'opgestapeld' te worden. En is dus een relatief goedkope manier van bruggen bouwen. Er zitten nog meer voordelen aan; het uitzetten en krimpen van het materiaal door temperatuursinvloeden maken weinig uit omdat de verschillende delen over elkaar heen kunnen schuiven. Hetzelfde geldt als de grond waar de brug op staat een klein beetje begint te schuiven. De ondersteunden palen hoeven bij dit type cantilever brug alleen maar simpele palen te zijn, er zijn namelijk geen horizontale krachten in het veld.

Als de bruggen groter worden, kunnen ze niet meer van beton gemaakt worden, het eigen gewicht wordt dan te groot voor de brug. Er moet nu met staal gewerkt worden, omdat er dan in plaats van massieve balken met lichtere, vakwerk constructies gewerkt kan worden. Nu zit er om de zoveel meter een stalen balk, het netwerk van stalen balken heeft nu veel minder gewicht, maar kan bijna dezelfde belasting aan. Nu kunnen er dus bruggen gebouwd worden met enorme overspanningen. Het grote voordeel van deze manier van bruggen bouwen is dat je geen extra ondersteuning nodig hebt tijdens de bouw. Bij bijvoorbeeld een boogbrug moet eerste de boog ondersteund worden voordat hij helemaal af is. Bij cantilever bruggen heb je dit probleem niet, omdat je de linker en de rechterkant van de in evenwicht kunt houden. Je bouwt de brug van beide kanten naar elkaar toe, zonder dat je steun van de grond nodig hebt, dit is het grootste voordeel van de cantilever brug. Onderstaande foto verduidelijkt dit.



Doordat je geen ondergrond nodig hebt voor ondersteuning tijdens de bouw kun je de cantilever brug zeer goed bouwen over bijvoorbeeld snelstromend water. Maar ook andere moeilijk begaanbare terreinen zoals gebied waar al veel laagbouw staat is geschikt voor een cantilever brug.

De grootste cantilever brug staat in Quebec, Canada. Hier zijn de twee grote, ruitvormige cantilever ondersteuning en het kleine, boogvormige verbindingsstuk in het midden zeer goed te zien. Deze brug is gebouwd in het jaar 1917 en heeft een overspanning van 550 meter.

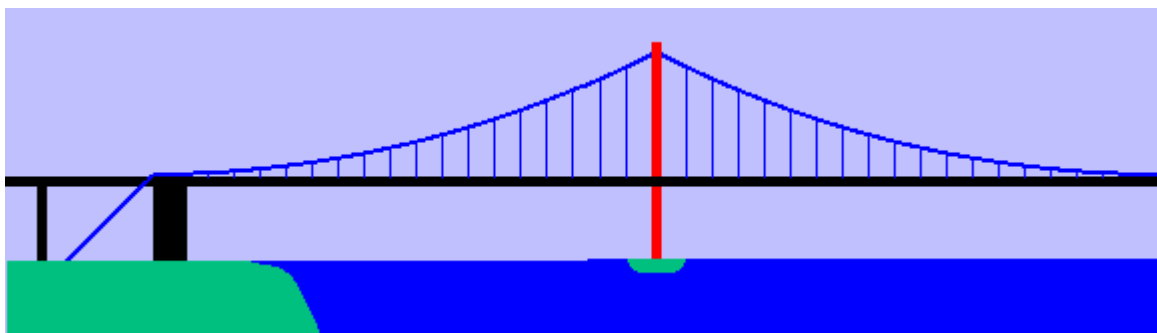


Hangbruggen

Stel je wilt een rivier oversteken zonder natte voeten te krijgen; als je een touw tussen twee bomen knoopt heb je al een simpele hangbrug gemaakt. Alleen is deze manier van bruggen bouwen zeer onhandig. De boog krijgt een knik op de plek waar de belasting is:



Voor een touwbrug waar je overheen loopt is dit niet zo erg, maar als je een vrachtwagen over je brug wilt laten rijden heb je toch een groot probleem. Dit probleem is op te lossen door een recht wegdek aan te brengen en voor de ondersteuning verticale kabels tussen het wegdek de boog aan te brengen. Het wegdek hangt nu aan de boog, daar komt dus ook de naam 'hangbrug' vandaan. Hieronder zie je wat je dan krijgt als standaard hangbrug. Alleen de linkerhelft van de brug is afgebeeld, van de oever tot het midden van de brug.



Alle kabels zijn blauw getekend, dit betekent dat hier spankrachten in heersen. De grote toren is rood getekend, dit betekent dat hier drukkrachten in voorkomen. Een groot voordeel van de hangbrug tegenover de boogbrug is dat de boog omgedraaid is. Daardoor kunnen met een hangbrug veel grotere overspanningen gehaald worden. Dit komt door het verschil in druk- en spankrachten. Een paal waar je op drukt kan buigen of zelfs dubbelvouwen, een paal waar je aan trekt heeft dit gevaar niet. Om een kracht als drukkracht te weerstaan heb je een dikkere paal nodig dan als het een spankracht geweest zou zijn. Doordat in de boog van een boogbrug drukkrachten voorkomen, moet het materiaal veel dikker zijn, ook komt het eigengewicht van het materiaal nog bij de drukkrachten. De hangbrug heeft in de kabels alleen spankrachten, wat als voordeel heeft dat de kabels relatief dun kunnen zijn of dat de brug een grotere overspanning kan hebben. Alle krachten worden verzameld in de grote middentorens, daar worden ze als drukkrachten naar de grond geleid. Daarom zijn deze torens ook altijd zo groot, en omdat ze alleen onder drukkrachten staan is het gemakkelijk om deze torens te ontwerpen.



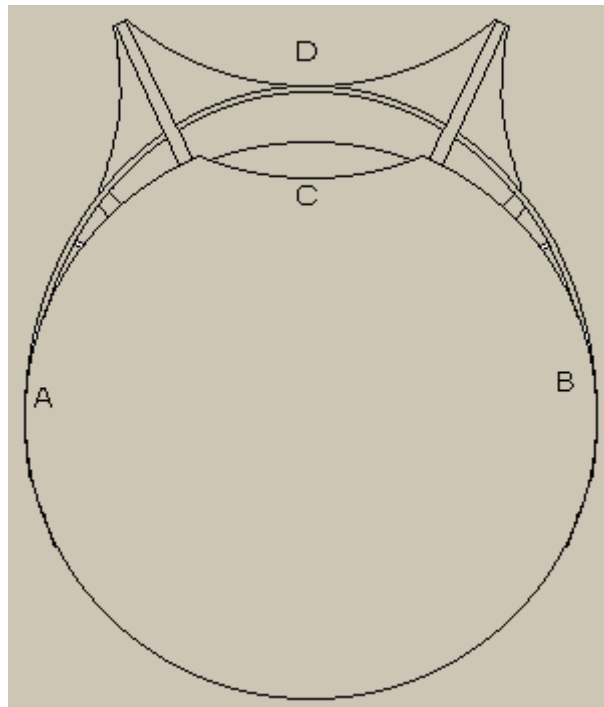
Een van de nadelen van de hangbrug is dat ze niet erg stijf zijn, alle stijfheid wordt geleverd door het wegdek. Ook bij plaatselijke belastingen, tussen twee kabelverankeringen in, moet het wegdek voor alle stevigheid zorgen. Dit kan leiden tot het enigszins doorbuigen van de brug. Als er de juiste hoeveelheid belasting met de juiste snelheid over de brug rijdt, kan dit leiden tot resonantie. Dit maakt dit type brug dan ook zeer ongeschikt om te dienen als spoorbrug. Een groter risico op resonantie komt echter van de karmanwervels die ontstaan doordat de wind langs de kabels blaast. Bij de goede belasting en windsnelheid kunnen zeer grote resonanties plaatsvinden.

De bouw van een hangbrug is niet al te gemakkelijk, het grootste probleem is het begin van de bouw. Als eerste zal er namelijk een kabel van de ene naar de ander kant moeten komen, die kabel wordt dan later uitgebouwd tot een hele brug. Bij een rivier lukt dit goed, je laat een boot met een kabelrol achterop naar de overkant varen en je bent klaar. Maar bij een diepe vallei is dit een lastiger probleem. Eerst zorg je ervoor dat een hele dunne kabel aan de overkant komt, vroeger deed men dit vaak met een vlieger. Daarna kun je via die dunne kabel steeds dikkere kabels overbrengen totdat de hoofdkabels hangen. Aan de hoofdkabels worden nu om de zoveel meter met een speciaal karretje verticale kabels bevestigd. Aan de einden van deze kabels kan vervolgens vanaf de kanten het wegdek vastgemaakt worden.



Zoals al eerder gezegd kun je met een hangbrug veel verder komen dan met een boogbrug. De langste bruggen op de wereld zijn zelfs altijd hangbruggen. De ideale situatie om voor een hangbrug te kiezen is dan ook als er een grote afstand overbrugd moet worden en er geen mogelijkheid is voor ondersteuning halverwege de brug. In de praktijk komt dat er op neer dat bijna ieder brug met een langere overspanning van 800 meter een hangbrug is. Deze bruggen worden soms zo lang dat er zelfs rekening

gehouden moet worden met de kromming van de aarde. Bij de langste brug ter wereld, de Akashi Kaikyo brug van 2000 meter lang, moest het wegdek zo meegekromd worden dat het midden van de brug bijna een meter (!) hoger lag dan de rechte lijn tussen de twee hoofdtorens. In het hoofdstuk over de langste bruggen staat meer informatie over brug. Het principe van de invloed van de kromming van de aarde kun je in onderstaande afbeelding goed zien. De cirkel stelt de aarde voor met een brug D van punt A naar B over de rivier C. Als de brug een rechte lijn zou zijn tussen de twee torens zou de brug bijna in het water van de rivier hangen. Dit is natuurlijk heel erg overdreven, maar het principe wordt zo wel goed duidelijk.



Onderzoek balkprofielen

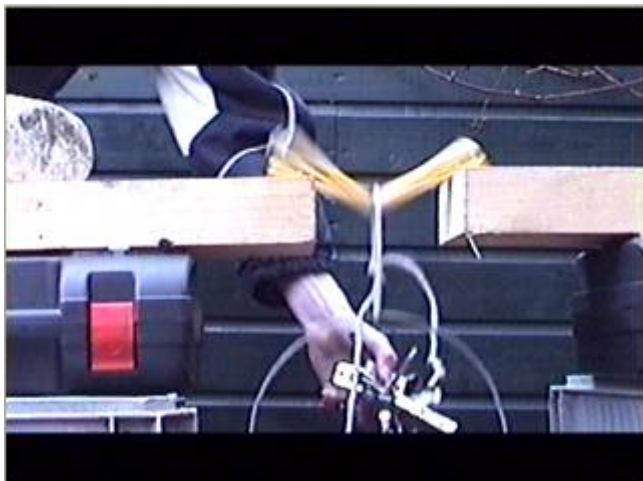
Voor het practicum onderdeel van mijn profielwerkstuk heb ik onderzoek gedaan naar de sterktes van verschillende soorten balkprofielen. Ik deed juist dit onderzoek omdat een balk het meest essentiële onderdeel van een brug is. In ieder brug die je tegenkomt zitten balken, al zijn ze alleen maar bedoelt om het wegdek op te leggen. Zonder balken is het in principe ook onmogelijk om een brug te bouwen, tenzij je bijvoorbeeld een touwbrug maakt. Het onderzoek richtte zich op de verschillende profielen die voor kunnen komen, zoals bijvoorbeeld de I, de H of een O profiel. Ik verwacht bij deze proef dat het I profiel het sterkste zou zijn, mede doordat je het I profiel het meeste in de praktijk tegenkomt. Een I profiel met een hoger middenstuk zou nog sterker moeten zijn, omdat zo'n balk minder last heeft van doorbuiging. Hieronder staat een praktijkvoorbeeld van een I profiel.



De proefopzet was als volgt: ik heb de balkprofielen van spaghetti in elkaar gelijmd, eerst maakte we kleine 'plankjes', door tien spaghetti stengels naast elkaar aan elkaar vast te lijmen. Als deze droog waren, lijmden we de standaardplankjes op de hoeken aan elkaar vast zodat er balkprofielen gevormd werden. Ik heb in totaal acht verschillende balkprofielen getest. Welke dit waren is hieronder te zien. De grootte van ieder profiel is ook aangegeven, de getallen komen overeen met het aantal spaghetti stengels waaruit die lengte opgebouwd was.



ik heb de profielen als volgt getest: ik legde ze tussen twee even hoge houten balken in, zo dat ze precies in het midden lagen en er vijftien centimeter niet op het hout steunde. In het midden belastten we de balken door een er met een touwtje een emmer aan te hangen. De emmer vulde ik langzaam met stukjes ijzer. Zodra de balk door midden brak woog ik de emmer met het ijzer en het touw. Op onderstaande foto's is goed te zien hoe dit in zijn werk ging.



De resultaten zie je in de onderstaande tabel, met per profiel het aantal spaghetti stengels waaruit het opgebouwd is, de totale belasting en de belasting per spaghetti stengel. Alle belastingen staan vermeld in gram.

Profiel:	Aantal spaghetti stengels:	Totale belasting in gram:	Aantal gram belasting per stengel:
Nr. 1	30	2093	69,77
Nr. 2	20	2149	107,45
Nr. 3	40	5846	146,15
Nr. 4	20	2038	101,90

Nr. 5	30	2950	98,33
Nr. 6	30	3743	124,77
Nr. 7	35	2517	71,91
Nr. 8	28	2253	80,46

Zoals uit de tabel blijkt is volgens mijn onderzoek het profiel met de vierkante doorsnede het sterkste. Deze droeg niet alleen het meeste totaalgewicht (bijna zes kilo), maar droeg ook het meeste gewicht per stengel. Een verklaring waarom niet de I profielen het sterkste zijn kan zijn dat bij een stalen balk een veel kleiner deel van de kracht die een balk kan hebben voorkomt uit de hoekverbindingen dan bij een balk van spaghetti. Het vierkante profiel heeft vier hoekverbindingen, het I profiel maar twee. Een andere verklaring kan zijn dat een vierkant profiel twee rechtopstaande zijdes heeft en een I profiel maar één. Een balk krijgt namelijk een groot deel van zijn sterkte door de rechtopstaande delen.

Nog een voorspelling die niet uitgekomen is is dat het I profiel van vijftien stengels hoog niet sterker is dan het I profiel van tien stengels hoog. De verklaring hiervoor is dat een plankje van spaghetti snel doorbuigt over de breedte richting. Hier begon het hogere I profiel op driekwart van zijn belasting als het ware "dubbel te klappen" en was er weinig profielvorm meer over. Door het verlies van de vorm brak hij dus veel eerder dan het lagere profiel dat wel goed in vorm bleef.

Volgens onze tests is een vierkante balk steviger dan een balk met een ander profiel. In de praktijk kan er toch voor een ander profiel worden gekozen, met het oog op het onderhoud. Een balkprofiel met een vierkante doorsnee kun je aan de binnenkant niet bewerken, dus als er een maal roest optreedt, kun je dit niet ontdekken of verhelpen. Een balk met bijvoorbeeld een I profiel kun je veel makkelijker inspecteren op schade en ook veel makkelijker herstellen.

Voor een vervolgprouf zou je ook bij een bouwmarkt verschillende profielen kunnen kopen, zodat je een realistischere benadering hebt van een stalen balk. Ook zou je onderzoek kunnen doen naar de invloed van de lengte van een balk op de hoeveelheid gewicht waarbij een balk breekt.

Conclusie

De conclusie van mijn practicum was als volgt: niet het I profiel is het sterkste, maar het vierkante profiel. Dat deze verwachting niet goed uitkwam is waarschijnlijk het geval van de verschillende materiaaleigenschappen van spaghetti en staal of ijzer. Er zal waarschijnlijk verschil in toegevoegde sterkte door de hoekverbindingen zijn. Ook was het hoge I profiel niet sterker dan het lagere, de verklaring hiervoor is dat de spaghettibalken sterk de neiging hebben om dubbel te klappen.

De hoofdvraag was: in welke situaties kies je voor welke brug. Ik heb ondervonden dat de enige factor die echt veel uitmaakt de lengte van de benodigde overspanning is. De prijs speelt ook een grote rol, maar vaak is er alweer weinig keuze omdat de lengte al veel bepaald heeft. De locatie terplekke heeft ook enige invloed, maar niet zeer groot. Er zijn geen gevallen waarin een bepaald type brug echt uitgesloten, tenzij het door de lengte van de brug komt. Het belangrijkste aspect om rekening mee te houden tijdens de ontwerpfase is de veiligheid. Een ding is zeker, zonder een brug had onze maatschappij er toch wel anders uitgezien.



Bronvermelding/links

Internet:

- www.brantacan.co.uk/bridgedefs.htm: informatie over type bruggen en hun principe
- www.pbs.org/wgbh/nova/bridge/: algemeen
- www.howstuffworks.com/bridge.htm: idem
- www.spaghetti.tudelft.nl/: idee onderzoek
- www.google.nl/: voor verschillende afbeeldingen van bruggen

Encyclopedieën:

- Encarta 2003 winkler prince editie: zoeken onder "brug: weg- en waterbouw"

Informatieblad

ARNHEMSE FIJNHOUTHANDEL

Driepoortenweg 12, 6827 BR Arnhem, tel: 026-3648435 fax: 026-3630309 web: www.af.nl

Handleiding finereren

Deze handleiding is bedoeld om minder ervaren mensen op weg te helpen met het verwerken van fineer. Er zijn meerdere methoden die in het kort worden besproken.

En ook hier geldt: er zijn net zoveel methoden als er vakmensen zijn !

Fineren

Fineren is het verlijmen van een zeer dunne laag hout op plaatmateriaal of (vroeger) op goedkoop massief hout. Meestal wordt het toegepast om grote oppervlakken een houtuiterlijk te geven zonder dat het de nadelige werkeigenschappen van massief hout heeft. Bovendien is fineerwerk per m2 goedkoper dan massief hout. Fineer moet altijd aan weerskanten van het plaatmateriaal geplakt worden om kromtrekken van de plaat te voorkomen. Het is zelfs aan te raden om beide zijden met dezelfde fineersoort te beplakken omdat dat een optimaal 'evenwicht' (stabiliteit) in het paneel oplevert.

**Eerlijkheidshalve moeten we wel zeggen :
Bezint eer ge begint !**

We verkopen u natuurlijk graag een boekje fineer, maar zelfs voor de vakman blijft finereren een pittige aangelegenheid. Onderschat de moeilijkheidsgraad niet en neem liever wat extra fineer (B-keus) mee om een aantal proefjes te nemen, voordat u aan het serieuze werk begint.

Flexplaten

De fineerhandleiding die hier gegeven wordt is ook toepasbaar voor de verlijming van Flexplaten. Flexplaten zijn fabrieksmatig samengestelde platen fineer die gelijmd zijn op een onderlaag van industrieel papier. De dikte van deze platen is ongeveer 1mm. Wij hebben twee merken

Flexplaten op voorraad: Lignaflex, afmeting ca 275 x 125 cm en Kuiperflex afmeting ca 250x122 cm. Het voordeel van deze platen ten opzichte van los fineer is dat alle handelingen zoals sorteren, snijden, voegen en samenstellen tot een makkelijk hanteerbaar geheel al voor u in de fabriek zijn gedaan. Als tweede voordeel is er de concurrerende prijs met los fineer; vooral bij de algemenere houtsoorten is het verschil niet groot. Bovendien is het door een fabrieksbehandeling bijzonder flexibel. Er zijn ca 17 houtsoorten op Flexplaten leverbaar tegen 80 soorten los fineer.

Wel kan het formaat ongunstig zijn; Flexplaten worden uitsluitend per heel vel verkocht, los fineer kan al vanaf 50 x 10 cm geleverd worden. Onderschat ook de verwerking van Flexplaten niet, het is zeer belangrijk dat u de door de fabrikant aangegeven verwerkingsvoorschriften nauwgezet volgt.



Lijmsoorten

Er zijn vier lijm-methodes toepasbaar.

1. contactlijm;
2. warme beenderlijm;
3. Pvc lijm (witte houtlijm) koud geperst;
4. Pvc lijm (witte houtlijm) warm geperst met strijkbout.

contactlijm

De methode die het minste investeringen vraagt aan gereedschappen is het verlijmen met contactlijm. Wij kunnen u daarvoor Simsonkit leveren. Het is echter niet de beste methode, vaak is het eindresultaat minder vlak dan onder persdruk gelijmd fineer. Het is ook kwetsbaarder omdat er

een duidelijk aanwezige flexibele lijmlaag zit tussen plaat en fineer. Ook is het bekend dat na verloop van jaren de lijm uitgewerkt raakt en dan plaatselijk kan loslaten. (vooral smalle randafwerkingen hebben daar last van). Er ontstaan dan zichtbare naden tussen de afzonderlijke fineerstroken, met name als het oppervlak verwarmd wordt door zon of verwarming. Contactlijm is blijvend elastisch en voorkomt krimp van het fineer niet.

Als er TIJDENS de verlijming iets mis gaat dan is dat meestal onherstelbaar want aanraken is vastlijmen bij contactlijm. Ten slotte kunnen oplosmiddelen uit lak de lijm weer zacht maken met als gevolg dat het fineer loslaat. Contactlijm is voor fineer geen aanrader.

warme lijm

Een andere methode is het verlijmen met warme beenderlijm. Dit is de oudst bekende lijmsoort en vraagt eigenlijk van de drie soorten de meeste vakkennis. Het voordeel van deze lijmsoort is dat de uitgeharde lijm weer vloeibaar gemaakt kan worden als u niet tevreden bent over het resultaat. Dat reacteren kunt u doen met een warme strijkbout en een vochtige doek. Wij verkopen deze lijm in verpakkingen vanaf een halve kilo.

witte houtlijm

De derde en vierde methode is het verlijmen met witte houtlijm, in de vaktaal PVAC - lijm genoemd. De lijmen die wij hiervoor leveren zijn Simson D3 en kleiberit 303 (snel-drogend) en Kleiberit 332 (langzaamdrogend, speciaal geschikt voor grote vlakken) Met deze lijm kunt u verlijmen dmv persdruk (lijmtangen) en verlijmen door middel van persen met een verwarmde strijkbout.

Verderop worden de lijmmethodes uitgewerkt.

De ondergrond

u kunt fineren op bijna elke ondergrond. Houtachtig plaatmateriaal, massief hout en met Flexplaten zelfs op kunststof buizen. De ondergrond moet natuurlijk altijd schoon, droog en vetvrij zijn. En plaatmateriaal moet vlak en egaal van dikte zijn. Laat de onderdelen die uit een vochtige en of koude schuur komen altijd acclimatiseren in een verwarmde kamer gedurende minimaal 24 uur. Indien de ondergrond warm is heeft het een gunstige werking op de lijmhechting, echter u moet dan wel sneller werken met de verlijming omdat de lijm sneller gaat afbinden. Als u te langzaam zou werken heeft de lijm al een film gevormd en kleeft het niet meer aan het fineer.

Plaatmateriaal

Als basismateriaal kunt u eigenlijk kiezen voor bijna alle plaatsoorten die in vak- en hobby-handel verkocht worden.

Spaanplaat (grove-vezel plaat)

Deze materiaalsoort mag niet te los van structuur zijn, het oppervlak moet dicht van opbouw zijn en glad aanvoelen. Een goede plaat heeft de volgende opbouw : In de kern mag de structuur wat losser zijn met staande houtvezels, de beide buitenstelagen hebben dicht op elkaar geperste vlakliggende vezels.

MDF (fijne-vezel plaat)

Dit is de meest geschikte plaatmateriaalsoort. Wel verdient het de aanbeveling om het oppervlak op te ruwen met met schuurpapier van korrelgrootte 100. Door dit opruwen vergroot u het lijmoppervlak en zal de lijm beter hechten.

Triplex en Multiplex (opgebouwd uit 3- of meerdere lagen)

Dit zijn ook zeer veel gebruikte materialen, kies wel altijd de betere soorten voor het fineren. Standaard Okoumé is watervast verlijmd en dus voor het fineren geschikt, Meranti-triplex en underlayment zijn te grof en kwalitatief ongeschikt. De prijs van deze plaatmateriaalsoort ligt altijd hoger dan MDF. Van belang is dat de draadrichting van de kale plaat haaks staat ten opzichte van het op te brengen fineer. Dit komt vlak blijven van de plaat ten goede.

Meubelplaat (opgebouwd uit vuren latten met een laag fineer)

Tot in de jaren '70 was meubelplaat de aangewezen ondergrond voor fineerwerk. Nu is deze materiaalsoort eigenlijk verdrongen door spaanplaat en MDF.

Massief hout

tot de komst van plaatmateriaal werd er gefineerd op massief hout. In tegenstelling tot plaatmateriaal blijft massief hout altijd krimpen en zwellen onder invloed van vochtwisselingen, ook al werd er meestal gekozen voor stabiele soorten zoals Weymouthden. Plaatmateriaal is dus technisch beter.

Kunststof

Ook op kunststof en zelfs metaal kan gefineerd worden maar eigenlijk alleen maar met contactlijm. Voorbeeld: kolommen van PVC buizen bekleed met Lignaflex.

Het fineren

Soms is het makkelijker om met de randafwerking te beginnen. Verderop leest u daar meer over.

Voorbehandelen van het fineer

Ondergrond

U kunt beginnen met het op maat zagen van het plaatmateriaal, als u massieve lijsten olijmt alvorens te fineren, trek dan de lijstdiktes van de plaatlengtes af, lijmt u rond-

om lijsten dan trekt u tweemaal de lijst dikte van de plaatlengte - en breedte af om uiteindelijk toch dezelfde bladmaat te krijgen.

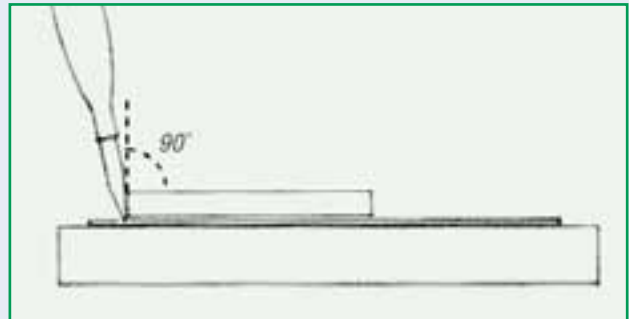
Fineer met bobbels

Als het fineer niet helemaal vlak is kunt u het licht bevochtigen, tussen kranten of keukenrollen leggen en het dan vlakpersen tussen twee platen met lijmklemmen erop.

Fineer snijden

Hierna kunt u het uitgezochte fineer op maat snijden waarbij u zorgt dat het fineer rondom zeker een centimeter langer en breder is dan de plaat. Deze overmaat snijdt u weg na het uitharden van de lijm. Meestal is het fineer niet breed genoeg voor het verlijmen van een blad met één vel fineer. Als regel kunt u aanhouden dat de meeste fineersoorten verkrijgbaar zijn in breedtes tussen de 10 en 20 cm. Sommige soorten zoals een aantal tropische fineersoorten halen breedtes tot 50 cm. U komt er dus vaak niet onderuit om meerdere fineerbanen aan elkaar te "voegen". Dit moet gebeuren voordat u het fineer op de plaat zelf plakt. De zijkanten van het fineer zijn nooit recht en haaks genoeg om direct gevoegd te kunnen worden. Zij moeten dus eerst recht "gesneden" worden. De werkwijze is als volgt : met een zeer scherp en dun hobbymes snijdt u langs een stalen liniaal of rechte MDF-strook, deze hulpmiddelen moeten breed genoeg zijn zodat ze niet zijdelings vervormen tijdens het snijden. Bij het snijden dient u er rekening mee te houden dat u snijdt met de structuur van het hout mee. Er kunnen anders vezels losgetrokken worden en wordt het fineer nooit recht.

(zie tekening)



- Let op de stand van het mes, omdat het snijvlak van het hobbymes schuin is moet het mes dien overeenkomstig schuin worden gehouden om een haakse rand te snijden aan het fineer.

Enkele handigheidjes bij het snijden zijn :

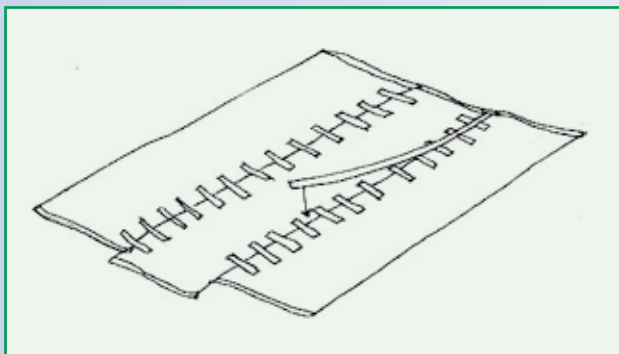
- De kopse randen afplakken met tape om inscheuren te voorkomen.
- U kunt ook het te snijden fineer op een stuk plaatmateriaal op de grond leggen en dan tijdens het snijden met uw knieën op het liniaal gaan zitten. Het fineer wordt dan goed vlak gedrukt en het liniaal verschuift niet. U krijgt alleen een "naadloos" resultaat als het snijwerk perfect is uitgevoerd!

Samenvoegen

Als u tevreden bent over het snijwerk dan kunt u de fineerbladen aan elkaar voegen door middel van speciale gegomde voegentape of gewoon met schilderstape. Leg twee vellen tegen elkaar en trek ze met behulp van de tape strakker aan. de tape hoeft niet langer te zijn dan 10 cm. Plak de tape om de 5 cm en voor de zekerheid



nog een strook extra over de hele voeg. Als controle over uw snijwerk houdt u na het tapen de fineerbladen tegen het licht, een naadloze voeg laat geen licht door, een snijfout wel. (Zie tekening)

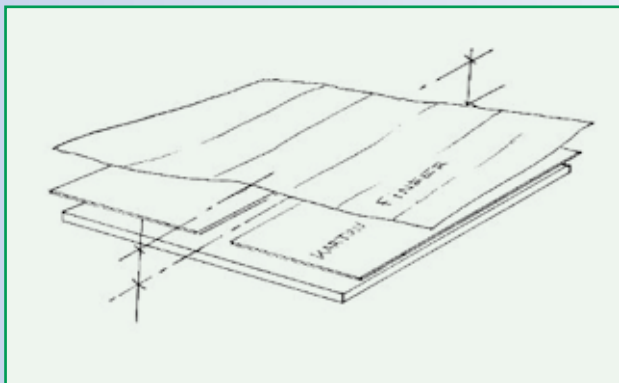


Het plakken van de voegen

Het lijmen

Contactlijm

Allereerst is het van belang dat u de gebruiksaanwijzing op de verpakking raadpleegt. Contactlijm is met name erg gevoelig voor niet-geclimatiseerd materiaal. Breng de contactlijm aan op beide oppervlakken d.w.z. op de niet met tape beplakte fineerkant en op het plaatmateriaal. U kunt de lijm aanbrengen met een fineerkam, maar ook met een verfroller (ook al heeft die er wel wat van te lijden). Laat de lijm drogen totdat het niet meer kleeft als u het aanraakt. (voorkom stof-, vuildeeltjes- en vocht op de lijm). Als de vlakken elkaar raken zitten ze direkt vast! Leg daarom twee dunne platen hout, latjes of karton op de aangedroogde belijmde plaat zodat u het fineer in positie kunt brengen zonder dat het fineer meteen aan het plaatmateriaal vastkleeft. Vooraf kunt u de middenlijnen van het plaatmateriaal en het fineer aanstrepen met potlood, dit vergemakkelijkt het in positie brengen van het fineer. (Zie tekening)



Een plaatje karton ertussen zodat de fineer in positie gebracht kan worden.

Nu schuift u vanuit het midden beetje bij beetje de tussenplaatjes uit elkaar en drukt u het fineer vast met schuurklosje van kurk (met de afgeronde kant op het fineer). Werk altijd vanuit het midden naar buiten. Na het handmatig aandrukken, klopt u het fineer nog goed na met een hamer en een vlakke klos hout. Haal zo snel mogelijk het schilderstage weg, dat wordt namelijk moeilijker naarmate u het langer laat zitten. Gegomde tape verwijderd u met lauw water en een scherpe beitel, bevochtig de tape licht en schraap na enige indringingstijd de tape weg. Schrapen doet u met een trekkende beweging met een rechtopstaande beitel. Daarna alles netjes naschuren.

Lakken doet u pas na een paar dagen als de lijm wat beter aangehard is. Let op voor lak met "scherpe oplosmiddelen"; die kunnen de lijm weer "zacht" maken. Zoals al eerder gezegd zijn de temperatuur en de vochtigheid van groot belang. Een koude plaat neemt de lijm heel slecht op en vocht tijdens het lijmen komt de verbinding zeker niet ten goede.

Witte houtlijm

(pvac lijm) met deze lijm kunt u fineer persen (aanbevelen) en aanbrengen met een warme strijkbout. (alleen als er niet geperst kan worden)

Persen met witte houtlijm

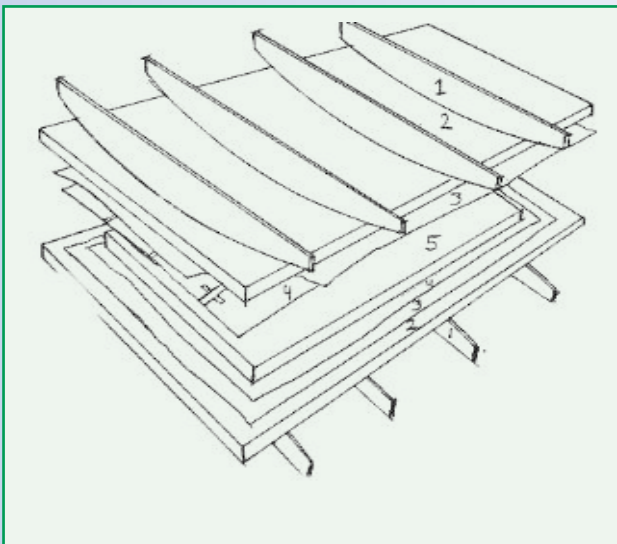
Fineerbedrijven gebruiken meestal een hydraulische pers, waarbij de persplaten verwarmd zijn. Door de warmte hardt de lijm snel uit, de perstijd is niet meer dan enkele minuten.

Zelfbouw pers

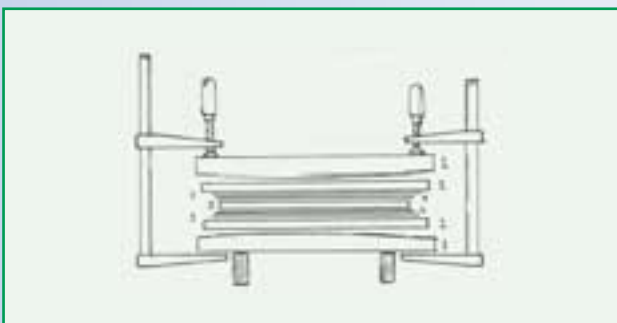
Een eenvoudige niet hydraulische koude pers kunt u zelf maken (als het om niet al te grote oppervlaktes gaat). We maken dan gebruik van persplaten (bijvoorbeeld een paar lagen spaanplaat), licht gebogen drukbalken en lijmtangen. Hoe dikker de persplaten, des de beter wordt de druk van de lijmtangen verdeeld. Bij een oppervlak van 50 x 50 cm kunt u nog volstaan met persplaten van ongeveer 18mm dik. Wordt het oppervlak groter dan kan het geen kwaad twee lagen spaanplaat te gebruiken per fineerkant. Een voordeel van deze verlijming is wel dat er tweezijdig tegelijkertijd fineer gelijmd kan worden, mits u natuurlijk snel genoeg werkt.

zelfbouw pers (zie tekening op de volgende pagina)

- 1 drukbalken
- 2 persplaten
- 3 papier
- 4 fineer
- 5 te fineren plaat



Onder de drukbalken legt u nog balkjes om ruimte te maken om de tangen te plaatsen. Controleer of de gehele opstelling vlak ligt, afwijkingen in de opstelling komen terug in het gefineerde eindresultaat. De drukbalken dienen om de 10 a 15 cm dwars onder het plaatmateriaal geplaatst te worden. Let wel, hoe meer drukbalken en tangen, hoe groter de persdruk. De drukbalken dienen enigszins bol geschaafd te worden. Op deze manier vloeit de persdruk bij het aandraaien van de tangen gelijkmatig uit vanuit het midden naar buiten. Begin met aanspannen bij de tangen die in het midden van de opstelling geplaatst zijn. En werk dan afwisselend van links naar rechts naar buiten toe. De krant op het fineer zorgt ervoor dat het fineer niet aan de persplaten plakt. Eventueel vastgeplakte krant kan weggekrabt worden met een schraapstaal of beitel.



Opbrengen witte houtlijm

Het lijmpopbrengen moet tamelijk snel gebeuren evenals het aanspannen van de tangen want de lijm droogt snel. (Kies voor grote oppervlakten eventueel de langzaam drogende Kleiberit 332 lijm) Giet een spoor lijm uit over de lengte van de te fineren plaat en verdeel deze dan met een fijne lijmkam overdwars over de plaat. Rol daarna de lijm met een verfröller uit in de lengterichting van de plaat. Bij grote plaatoppervlakten is het vaak beter om

niet tweezijdig maar per enkele zijde te fineren. Want de verwerkingstijd en de tijd die u nodig hebt om alle tangen aan te spannen kan anders te lang zijn voor de hechting van de lijm. Zorg er altijd voor dat zowel fineer als plaatmateriaal en lijm goed op kamertemperatuur zijn. Maak de lijm niet te dun. Te dunne lijm kan door de poriën van het hout naar buiten komen. Lijmresten laten zich zeer slecht verwijderen en kunnen lakproblemen geven.

Na het persen

Laat het fineerwerk een nacht over aandrogen en haal het dan pas uit de pers. Daarna laat u het nog een dag of langer indien nodig uitdampen, want al het lijmvocht moet uit het plaatmateriaal en het fineer weg zijn voordat u kunt gaan schoonmaken. Verwijder wel de schilderstape. Zet de gefineerde plaat nooit vlak bij een verwarmingsbron, de fineernaden kunnen dan gaan openstaan.

Persen met een warme strijkbout

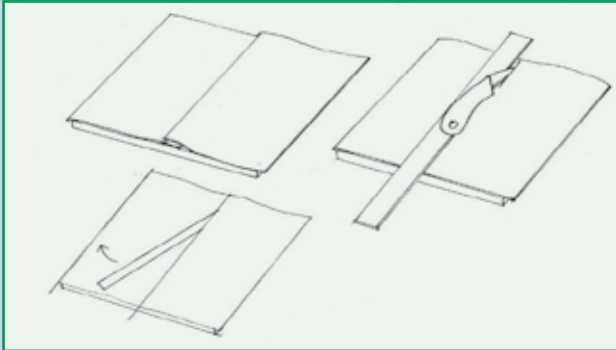
Witte houtlijm (PVAC-lijm) kan ook geperst worden met een warme strijkbout. Deze methode is met name geschikt als er niet geperst kan worden. Smeer plaatmateriaal en fineer in met een dunne gelijkmatige lijmlaag en laat het drogen. Als de lijm na ongeveer een half uur voldoende gestold is dan kan het fineer op de plaat gelegd worden. Verwarm met een strijkbout het fineer en de beide lijmlagen.

PVAC lijm is een thermoplastische lijmsort, d.w.z. dat de lijm zacht wordt als men het verwarmt. Oefen voldoende druk uit met de strijkbout om het fineer vlak op de plaat te krijgen. Werk vanuit het midden naar de randen toe. Door de warmte van de strijkbout hecht de lijm aan elkaar en hardt versneld uit!

Voegen op de ondergrond

Als u meerdere banen fineer nodig hebt om de gewenste breedte te krijgen dan kunt u bij deze lijmmethode ook het voegwerk tijdens het verlijmen doen. U voegt baan voor baan, door steeds de volgende baan over de vorige baan te laten overlappen. Deze overlap hoeft maar ongeveer één centimeter te zijn. Verwarm de overlap met de strijkbout, de bedoeling hiervan is dat door deze verwarming krimp van het fineer ontstaat. Langs een stalen liniaal snijdt u eerst de bovenste fineerlaag door en daarna de onderliggende laag, haal het snijfalval onder de onderste fineerlaag vandaan. Verwarm de fineernaad nogmaals maar nu niet langdurig.

Het risico van teveel verwarming van de fineernaden is dat er krimp optreedt in het fineer, waardoor zichtbare naden kunnen ontstaan. Kleine oneffenheden kunnen later nog gecorrigeerd worden met de strijkbout.



"op de plaat voegen" van finer

Warme lijm (beender- huiden- of vleeslijm)

Veel mensen denken dat warme lijm een lastig te verwerken achterhaald ouderwets produkt is, dat is niet helemaal terecht. Het verwerken vereist inderdaad enige oefening maar de lijm heeft ook voordelen boven moderne lijmen. De lijm laag wordt glashard en is toch met warmte en water makkelijk te reactiveren. Dat maakt de lijm bij uitstek geschikt voor antiekrestauratie en muziekinstrumentenbouw. Warme lijm is wel vochtgevoelig. Het moet altijd vochtwerend afgewerkt worden. Maar testen tonen aan dat het vaak sterker is dan veel moderne lijmen.

En wat duurzaamheid betreft: In de Egyptische piramiden is meubliar aangetroffen van 2700 jaar voor Christus waarvan de huidenlijm nog in perfecte staat was!

Fabrikage

Warme lijm wordt gemaakt van een dierlijke gelatine, deze stof zorgt voor de binding van vezels van huid, spieren en botten. Lijmfabrikanten kunnen het maken van huidenschraapsel (van de binnenkant van de huid) of koken het van botten af. Het kan zelfs gemaakt worden van visgraten. De verkregen gelatine-achtige massa wordt gedroogd, gebroken tot kleine korrels en verpakt.

De werkzame bestanddelen en de verwerking van de diverse soorten zijn vrijwel gelijk. Alleen beenderlijm en met name vislijm stinken meer dan de wat zuiverde huidenlijm. (wij hebben huidenlijm op voorraad)

Verwerking

Aanmaken van de warme lijm

Met het aanmaken van een pot huidenlijm begint u eigenlijk al de avond voordat u de lijm nodig heeft. De lijmkorrels moeten een nacht-over (ca 8 uur) inweken. Doe de lijmkorrels in de "binnenpot" en overgiet het met water. De volgende morgen is een deel van het water opgezogen in de korrels en zijn zij zacht en opgezwollen. Giet het overtollige water af. de lijm is nu klaar voor verwarming

Verwarmen van warme lijm

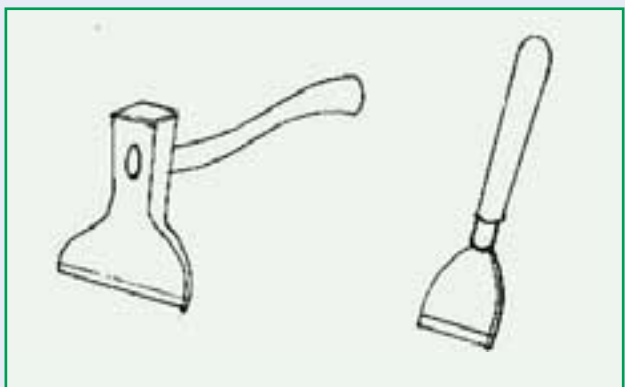
Warme lijm moet voor gebruik opgewarmd worden. Opgewarmd, maar het mag niet koken! Zet de binnenpot in een met water gevulde buitenpot. (bijvoorbeeld een concervenblik als binnenpot geplaatst in een oude pan als buitenpot) Deze methode is in de keuken ook wel bekend als Au-bain-Marie koken. Verwarm het water in de buitenpot en roer de lijm om onder het opwarmen. Voeg eventueel af en toe wat water toe om de lijm op goede dikte te verdunnen. Een goede dikte is als de lijm druipt als schenkstroop.

Fineren met warme lijm

U hebt nodig:

- Lijmpot (binnen- en buitenpot)
- electrisch- of gascomfort
- water in een extra pot of kan
- 5cm brede platte kwast
- roerhoutje
- strijkijzer
- meerdere doeken of lappen
- lijmhamer, - spatel, of -roller
- kopspelden, fineertape en hobbymes
- en natuurlijk lijm, finer en plaatmateriaal om het op te lijmen

Voor mensen die maar incidenteel werken met warme lijm is de van oudsher bekende lijm-hamer-methode de beste. Een lijmhamer lijkt enigszins op een bankhamer, maar wordt niet in die betekenis gebruikt.



Lijmhamer en spatel

Aan één kant van de hamerkop loopt het uiteinde uit tot een breed plat vlak. Deze platte kant wordt op het finer gedrukt en de hamersteel fungeert als stuur. Ook zijn er bij schildersbedrijven spatels te koop die lijken op een plamuurmes waarvan het metalen deel enige millimeters dik is en dus zeer stijf. De steel is bovendien langer. De functie van deze gereedschappen is het geven van persdruk en het wegtrekken van overtollige lijm onder het finer.

Het aanbrengen van de lijm

Begin met het aanbrengen van een gelijkmatige dunne laag lijm op het fineer, gebruik hiervoor een platte kwast die niet verhaard. Smeer daarna een eveneens gelijkmatige dunne laag lijm op het plaatmateriaal. Als de lijm stolt, dus als hij bijna droog aanvoelt maar nog wel kleverig, kunt u het fineer op de plaat leggen. In tegenstelling tot contactlijm kunt u nu nog wel het fineer positioneren, er vindt niet onmiddellijk afbinding plaats. Om te voorkomen dat het fineer verschuift tijdens de hierna volgende bewerkingen, kunt u het vastprikken met een paar knopspelden. Wrijf het fineer op zijn plaats met een warme vochtige doek. Dit sluit o.a. de poriën van het hout en voorkomt schroeiplekken tijdens het reactiveren van de lijm met de strijkbout.

Het verlijmen

Verwarm het fineer daarna gelijkmatig met een strijkbout die op een middelmatige temperatuur staat afgesteld. Werk in niet al te grote oppervlaktes want meteen na het verwarmen van de lijm moet u het aanpersen met de fineerhamer, -rol of -schraper. Werk vanuit het midden naar de hoeken toe evenwijdig aan de structuur van het hout. Als u dwars over het fineer perst kunt u het fineer splijten.

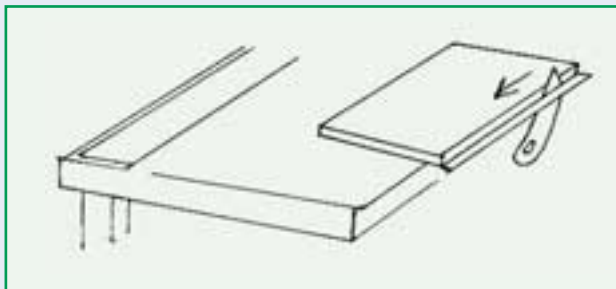


Het werken met warme lijm

De afwerking**Bijsnijden fineer**

Na voldoende uitwaseming kunt u de fineerovermaat wegsnijden. Dat gaat als volgt: u legt de gefineerde plaat met de kant waar u het fineerrestant wilt afsnijden op de werkbank. (zorg ervoor dat de werkbank schoon is, leg er eventueel een stuk tapijt op of een handdoek.) U snijdt dan van onderuit naar u toe, waarbij u het mes goed schuin houdt. Op deze manier trekt u geen splinters van de plaat los en kunt u goed zien waar het mes snijdt zodat

u ook niet in de eventuele herlijsten snijdt. Bij snijden van bovenaf is dat risico groter. (Zie tekening.)



bijsnijden van het fineer

Verwijderen voegtape

U kunt de voegtape even bevochtigen zodat het wat makkelijker loslaat. Gebruik voor het verwijderen een schraapstaal of een beitel waarmee u schraapbewegingen maakt over de tape. Gebruik nooit een staalborstel want hierdoor kunnen blauwe vlekjes in het fineer ontstaan als gevolg van een chemische reactie.

Randafwerking

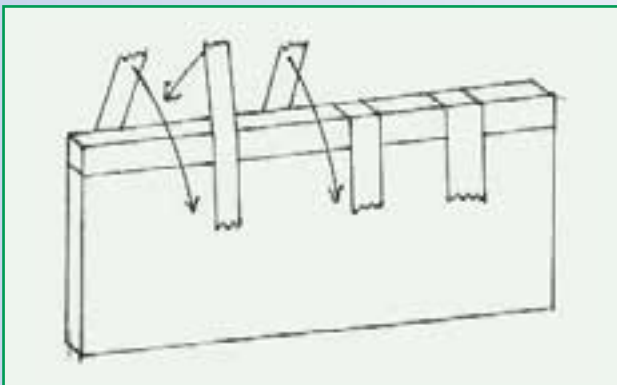
We maken onderscheid tussen randafwerking met fineer en met massieve lijsten. Massieve lijsten geven minder kwetsbare randen. Afwerken met fineer is goedkoper en gaat veel sneller. Tevens kunt u exact dezelfde houtkleuren en -structuren aanhouden als het dekfineer.

Voor het fineren een randafwerking maken

Doorgaans wordt geacht dat de randafwerking van fineerwerk iets is dat als laatste handeling komt bij het fineren. Dat is niet altijd de beste methode, stel dat u een tafelblad wilt maken waarbij de randen met massieve lijsten worden afgewerkt deze randen blijven dan altijd duidelijk zichtbaar aanwezig. Tevens maakt u het uzelf moeilijker doordat de randen weer egaal op hoogte geschuurd moeten worden met het fineeroppervlak, het fineer kan al vrij snel doorgeschuurd worden. Het is daarom een goede keuze om voordat u gaat fineren eerst de randen te beplakken met een massieve lijst van bijvoorbeeld 5 mm dik, de breedte van dat lijstje moet iets groter zijn dan de dikte van de plaat.

Massieve lijstjes rond een plaat

Voor een MDF plaat van 18 mm gebruikt u lijstjes van 19 mm breedte. De lijstjes moeten rondom vlak en haaks zijn en kunnen met witte houtlijm tegen de plaat gelijmd worden. Als lijklemmen kunt u gewone schilderstape gebruiken dat u ruim rondom de lijstjes trekt. Om te voorkomen dat het lijstje er enigszins schuin op komt te zitten plakt u de ene tapestrip van boven naar beneden om de lijst en de volgende keer van beneden naar boven.



Lijstje aanbrengen met schilderstape

Haal na enige uren uithardingstijd de tape weg en schaaft met een blokschaaf de overstekende randjes van de lijstjes weg zodat er een egaal oppervlak ontstaat hierna wordt het fineer over de plaat inclusief de lijsten gelijmd en ontstaat er een tafelblad waarvan de randen altijd goed vast blijven zitten en eventueel na verloop van tijd nog eens opnieuw geschaafd of geschuurd kunnen worden. Tevens is het mogelijk om de randen te profileren. Pas hiervoor de dikte van de lijsten aan. Als u paneeltjes maakt die in een sponning of groef geplaatst worden, hoeft u natuurlijk geen randafwerking toe te passen.

Controle op het lijmresultaat

Door een aantal oorzaken kunnen er plaatselijk slecht verlijmde gedeeltes ontstaan in het fineeroppervlak. U kunt de hechting controleren door met een deuveltje het oppervlak zachtjes te bekloppen. Een goede hechting geeft een massief geluid, als er een blaas wordt aangetikt klinkt dat veel holler. Ook door controle met strijklicht kunnen oneffenheden herkend worden.

Herstel

Mocht u zo'n blaas (ook wel een haas genoemd) tegen komen dan kunt u dit ongeacht de gebruikte lijm vaak weer herstellen door het oppervlak weer aan te strijken met een strijkbout. Met een warme (niet hete) strijkbout is de nog redelijk verse lijm lichtelijk te reactiveren zodat de lijm alnog "pakt". Is het fineer opgedrukt door een teveel aan lijm, dan moet het fineer met een scheermesje of een scalpel opengesneden worden. Het teveel aan lijm perst u met een warme strijkbout eruit en verwijdert u meteen. Ook hierna oefent u weer persdruk uit. Hecht het fineer nu nog niet aan de plaat dan kan de haas openge-sneden worden om te proberen het fineer met contactlijm alsnog te verlijmen. De oude lijm onder de haas moet natuurlijk eerst goed droog zijn. Breng tweezijdig wat contactlijm aan met bijvoorbeeld een strookje fineer. Hou met een lucifer de snede in het fineer open totdat de

contactlijm is opgedroogd en druk de haas dan goed dicht. Let wel : hoe dunner de snede van het mes, des te minder zichtbaar wordt het in het eindstadium.

Fineervoegen die tijdens het persen elkaar overlapt hebben of die zijn gaan losstaan kunnen eigenlijk niet meer herstelt worden. Eigenlijk zou dit blad dan overgefineerd moeten worden. Opvullen met schuurstof of kneedbaar hout is mogelijk, maar blijft altijd zichtbaar.

Schuren en lakken

Het schuren

Gebruik schuurpapier in een grofheid dat geen sporen in het hout achterlaat. Begin eventueel met een grove soort en werk het af met een fijnere kwaliteit. Schuur altijd (zoveel mogelijk) in de lengterichting van de houtnerf.

Het lakken

Begin nooit te snel na het verlijmen met lakken of beitsen. De lijm moet goed aangedroogd zijn om het risico van vocht- of bij contactlijm oplosmiddel insluiting te voorkomen. Dit geeft onherroepelijk schade aan de lak na het uitharden.

Juiste lak voor de toegepaste lijm

Het is mogelijk om met oplosmiddellen uit lak fineer weer los te maken van de ondergrond. Berucht is met contactlijm gelijmd fineer, grondig ingekwast met een lak op cellulose basis. De cellulose verdunner lost ook prima contactlijm op, het fineer kan daardoor losraken. Ook warme lijm met waterlak kan deze problemen geven.

Bijkleuren

er zijn diverse kleurlakken, met name waterbeitsen te koop waarmee fineer, bijvoorbeeld bij een restauratie, op de gewenste kleur gebracht kan worden. Deze lakken kunnen flink verdund worden waarna door meerdere lagen aan te brengen de gewenste kleur bereikt kan worden. Na het kleuren kan er afgelakt of -gespoten worden met een beschermende toplaag naar keuze.

Nawoord

De opzet van dit verhaal is om niet-technisch geschoolde mensen bekend te maken met het verwerken van fineer. Omdat wij geen controle kunnen uitoefenen op de toepassing en verwerking aanvaarden wij daarvoor ook geen aansprakelijkheid.

Formaldehydevergiftiging

Wat is formaldehydevergiftiging?

Formaldehyde is een giftige stof die veel in onze omgeving voorkomt. Het is bijvoorbeeld een belangrijk bestanddeel van lijm. De stof kan ook zitten in textiel, cosmetica, schoonmaakmiddelen, lichaamsverzorgingsproducten, mottenballen, chemische toiletten, fotochemicaliën, verfstoffen en bestrijdingsmiddelen.

De bekendste bron van formaldehydegas is spaanplaat. Spaanplaat is gemaakt van houtsplinters die met lijm zijn samengeperst. In die lijm zit formaldehyde, dat als gas uit het spaanplaat vrijkomt. Als die hoeveelheid gas onder een bepaalde norm blijft, kan het spaanplaat het KOMO-keurmerk voor spaanplaat krijgen. (Zie hiervoor www.komo.nl).

Formaldehydevergiftiging kan zowel ontstaan door inademing van het gas als door contact met de stof zelf. Het laatste komt echter minder voor.

Klachten die veroorzaakt worden door formaldehydevergiftiging zijn niet bij iedereen even erg. De een krijgt misschien alleen last van lichte hoofdpijn, de ander wordt er echt ziek van. De meest voorkomende klachten zijn irritaties van de luchtwegen en ogen, misselijkheid, hoofdpijn, benauwdheid, slapeloosheid of diarree. Meteen na inademing van het gas ontstaan vaak tranende ogen en een prikkend gevoel in de neus en keel. Deze klachten gaan snel weer over. Mogelijke chronische klachten zijn keelirritaties, hoesten, branderige ogen, ontsteking van de luchtwegen en ademhalingsmoeilijkheden. Vrouwen kunnen bovendien last krijgen van menstruatiestoornissen, onvruchtbaarheid, problemen tijdens de zwangerschap en complicaties tijdens de geboorte of een te laag geboortegewicht van de baby.

Bij gezondheidsklachten door formaldehyde moet de concentratie formaldehyde gemeten worden in de ruimte(s) waarin u klachten krijgt. Officiële metingsinstanties zijn het [Centrum voor Onderzoek en Technisch Advies](#), de [Voedsel en Waren Autoriteit](#) en soms de Dienst Bouw- en Woningtoezicht van de gemeente. De kosten van een meting zijn in principe voor eigen rekening.

Is de concentratie te hoog? Dan moet er spaanplaat verwijderd worden of kunt u het spaanplaat behandelen met speciale verf of folie (dit laatste is goedkoper). Soms worden de kosten vergoed, bijvoorbeeld als de woningbouwvereniging verantwoordelijk is voor de woning of als de woning eigendom is van de gemeente. Schakel eventueel de de [Arbo-dienst](#) in als u op uw werk last hebt van formaldehyde.

Voor informatie over (nazorg)maatregelen bij gezondheidsklachten na blootstelling aan formaldehyde kunt u terecht bij het [Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu](#), wetenschapswinkels en chemiewinkels en bij de Bedrijfsgezondheidsdiensten (bij klachten over de werkomgeving).

Ik heb onlangs een bestaande woning gekocht waarin veel spaanplaat is verwerkt. Moet ik dat verwijderen en vervangen?

Spaanplaat bestaat uit samengeperste houtvezels die door lijm bij elkaar worden gehouden. Uit deze lijm komt het voor de gezondheid schadelijke formaldehydegas vrij. Veel voorkomende klachten zijn hoofdpijn, irritatie van de luchtwegen en vermoeidheid. Sinds 1987 worden er dan ook eisen gesteld aan spaanplaat. Spaanplaat wordt veel toegepast in dakelementen en in binnenwanden. U hoeft het niet per se te verwijderen. Om klachten als gevolg van de formaldehydeafgifte te voorkomen, kunt u namelijk een aantal maatregelen treffen:

- * het verbeteren van de ventilatie
- * de zijkanten afdichten met fineer, folie, aluminium- of kunststofprofielen
- * het meermalen verven van onbekleed spaanplaat met speciale dampdichte verf
- * het aanbrengen van isolatiemateriaal tussen spaanplaat en radiator of andere warmtebronnen
- * het afplakken van het onbekte spaanplaat

Als u besluit het spaanplaat te verwijderen, kunt u het vervangen door ander plaatmateriaal of door spaanplaat met het KOMO-keurmerk.



Gehecht aan lijmen

"Dat is nu ook toevallig", zegt Cor Jager als hij een Chemisch Magazine openslaat en zijn oog direct laat vallen op het artikel 'Optische schakelaars zien het licht'. De optische schakelaar is een schoolvoorbeeld van de verworvenheden van de lijmtechnologie. Met geen andere verbindingstechniek is het mogelijk de onderdelen zo nauwkeurig en precies in elkaar te passen." Aan het woord is C.W. Jager, lijmadviseur bij Akzo Nobel Central Research en werkzaam op de hoofdvestiging te Arnhem.

Iwan Koenderman

Het is op zich niet zo moeilijk om bijvoorbeeld kunststof aan metaal te lijmen, maar als bij een temperatuurbelasting (bijvoorbeeld hoger dan 80 °C) de verbinding breekt, hoor je de mensen klagen over een waardeloze lijmverbinding. In het algemeen wordt in de praktijk veel te licht gedacht over een lijmprobleem," zo weet Jager na jarenlange ervaring als lijmadviseur. Jager vervolgt: "Projectleiders en constructeurs denken pas op de laatste plaats aan verlijmen als zij een oplossing zoeken voor een verbindingprobleem. Pas als lassen en andere verbindingstechnieken zijn afgefallen, komt verlijmen aan de orde. Op dat moment dringt de tijd voor het project en is het budget zo goed als op. Als ze dan bij mij komen, willen ze een snel en goedkoop advies. Daar pas ik voor. Ik adviseer niet zonder een grondige analyse van het verbindingprobleem."

Jager begon 38 jaar geleden als tekenaar-constructeur, werd daarna hoofdconstructeur en is nu al twintig jaar bezig met lijmtechniek. Hij adviseert iedereen, die de lijmtechniek wil toepassen. Daarnaast verzorgt hij in samenwerking met innovatiecentra en het ministerie van Economische Zaken cursussen voor medewerkers uit het midden en kleinbedrijf. Hiervoor heeft hij een syllabus geschreven. Ook is hij bestuurslid van de sectie Hechting van de Bond voor Materialenkennis.

Van vragenlijst tot 'Lijmsleutel'. Jager heeft een uitgebreide vragenlijst ontworpen, waar-

in hij onder andere vraagt naar de chemische belasting, de lineaire uitzetting, de warmtegeleidingscoëfficiënt en handelsnamen van de te verlijmen materialen. Bovendien wil hij onder andere de lijmconstructie, het type belasting, de chemische omstandigheden en de temperatuur waaraan het te verlijmen voorwerp bloot komt te staan weten. Zodra dit alles bekend is geeft hij zwart op wit zijn lijmadvies.

De voorbehandeling vindt hij zeer essentieel. Als iets over het hoofd wordt gezien, komen er geheid moeilijkheden. Jager heeft zijn kennis opgebouwd in de praktijk en heeft geleerd van fouten. Zijn kennis probeert hij binnen Akzo Nobel over te dragen. Hiervoor heeft hij de 'Lijmsleutel' samengesteld, een lijmbijbel gebaseerd op theorie, kennis en jarenlange praktijkervaring.

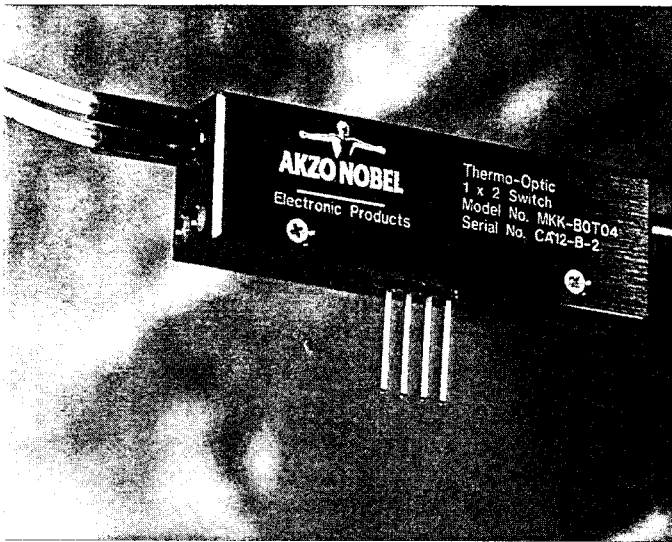
Jager: "Ik ben heel eenvoudig begonnen met alles wat met lijm te maken heeft in mapjes te bewaren. Zo is het gekomen dat mensen met lijmproblemen al snel bij mij terecht komen. Zo'n vijftien jaar geleden is de 'Lijmsleutel' ontstaan. Dit is een handboek



De lijmtechnologie maakt razendsnelle ontwikkelingen door. Het wordt een geduchte concurrent van andere verbindingstechnieken zoals bijvoorbeeld lassen. Fundamentele fysisch-chemische kennis over werkingsprincipes groeit snel en biedt een basis voor het ontwikkelen van nieuwe, geavanceerde lijmsorten. Hoe beter het lijmproces wordt begrepen, hoe preciezer de samenstelling en verwerkingstechnologie kan worden afgestemd op de specifieke toepassing.

Het thema van deze maand gaat over lijmen en hechten. Wij bezochten Akzo Nobel, waar lijmadviseur Cor Jager alles weet over lijmen en lijmtoeepassingen. In het openingsartikel 'Gehecht aan lijmen' pleit hij voor een grondige analyse van het verbindingprobleem voordat er überhaupt wordt gelijmd of gehecht. Vervolgens komt fysisch-chemicus professor Gert Frens van de TUD aan het woord. Hij is een 'lijmspecialist' die met zijn onderzoek participeert in het Hechtingsinstituut TUD: "Goed lijmen betekent knokken tegen de entropie," zo weet hij en legt uit hoe dat komt. In het derde themaverhaal 'Biopolymeren maken comeback', toont Stephan Hulleman van Ato-dlo zich een warm voorstander van lijmen op basis van biopolymeren: "ze zijn goedkoop, hernieuwbaar, herpulpbaar, biologisch afbreekbaar en lossen goed op in water."

Marian van Opstal



Optische schakelaar

Bij de vervaardiging van optische schakelaars wordt dankbaar gebruik gemaakt van lijmtechnologie.

waarin we zowel de theorie van het lijmen als de voor- en nadelen van lijmsystemen behandelen. Akzo Nobel test de producten van leveranciers en oordeelt of ze voldoen aan de gestelde eisen. De testen met lijmen die we uiteindelijk binnen het bedrijf gebruiken, staan vermeld in de 'Lijmsleutel'. Zo kan iedereen met een lijmprobleem dit boek naslaan en een weloverwogen keuze maken uit het grote aanbod van lijmsystemen."

Recent is de derde uitgave van deze 'Lijmsleutel' naar de drukker gegaan. Het handboek wordt alleen gebruikt binnen het be-

drijf en door lijmfabrikanten. Alleen bij hoge uitzondering kunnen andere bedrijven, die een lijmprobleem hebben, dit boek met speciale toestemming kopen.

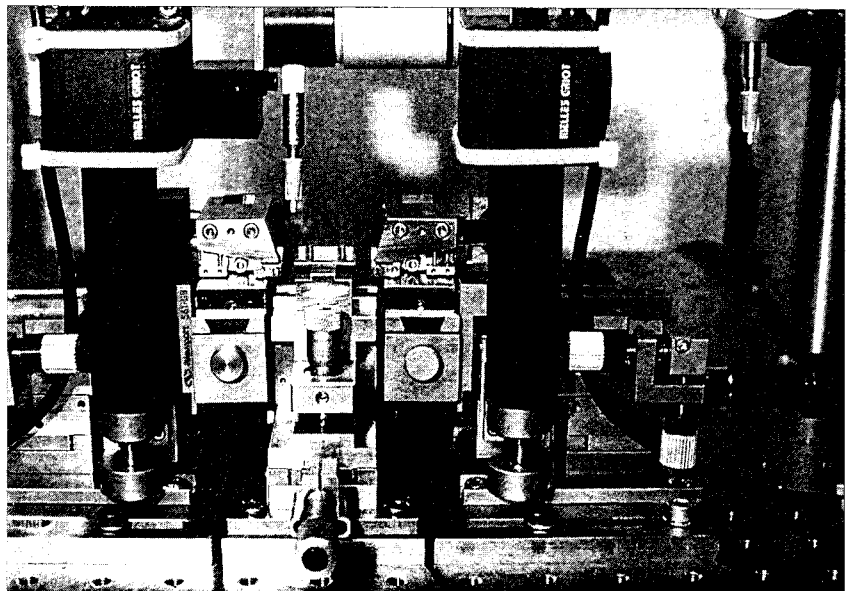
Een ieder die met lijmen te maken krijgt dient de basisprincipes te kennen (zie ook het kader 'Hechten door adhesie').

Een proces in fasen. Tijdens het lijmproces is een aantal fasen te onderscheiden. De lijmmoleculen zijn in het begin relatief korte monomeren (prepolymeren), waardoor de lijm in een vloeistoffase verkeert. Deze fase is nodig om de lijm tot in de fijnste details de vorm van het oppervlak te laten aannemen. Dit proces wordt *bevochtigen* genoemd. De luchtmoleculen boven het te lijmen oppervlak worden verdreven door de moleculen van de lijm. Doordat de prepolymeren met elkaar gaan reageren ontstaan er polymeren, die niet meer in de vloeibare maar in de vaste fase verkeren. Dit proces heet *uitharden*. Doordat de polymere ketens zich ook via crosslinks met elkaar verbinden, ontstaat uiteindelijk een mechanisch sterk driedimensionaal netwerk dat niet meer door de oplosmiddelen kan worden aangetast.

Doordat de moleculen in lucht boven het te lijmen oppervlak worden verdreven door de moleculen uit de lijmplossing vindt hechting van de lijm plaats. Een goede bevochtiging is zeer belangrijk voor het verkrijgen van een goede hechting. De drijvende kracht achter dit proces is het verschil in *oppervlaktenspanning (of oppervlakte energie)*. Verdringing van moleculen uit de lucht, die aan het te lijmen oppervlak zijn geadsor-

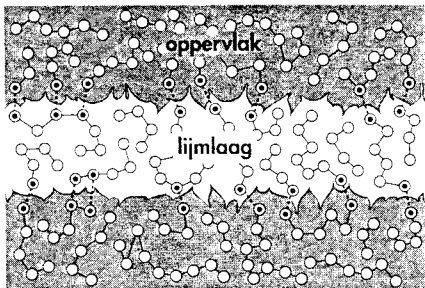
MEGATRONICA

Voor het verlijmen van optische schakelaars is een zeer geavanceerd, computergestuurd positioneersysteem ontwikkeld. Er wordt gebruik gemaakt van UV-lijm en een uiterst verfijnde uitrichtingsprocedure. De componenten moeten op de micron nauwkeurig worden gepositioneerd. Vervolgens wordt de lijm gedoseerd. Na UV-belichting vindt hechting plaats binnen een tijdbestek van enkele seconden. De verlijmmachine is ontwikkeld door het Centrum voor Constructie en Megatronica (CCM) in nauwe samenwerking, voor wat betreft de lijmtechnologie, met Akzo Nobel. Het ontwikkelingsproces nam geruime tijd in beslag. De machine is sinds kort operationeel.

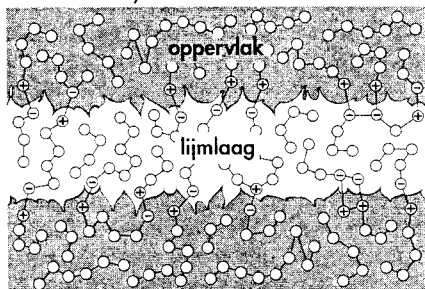


HECHTEN DOOR ADHESIE

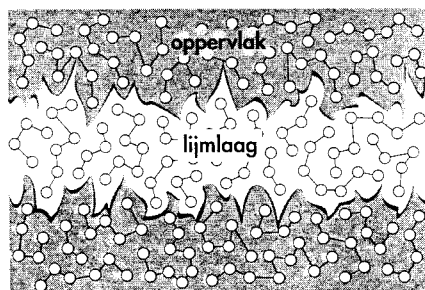
chemische adhesie



fysische adhesie



mechanische adhesie



Hechting berust op chemische, fysische of mechanische verankering. Ook combinaties hiervan zijn mogelijk. Bij *chemische* adhesie reageert de lijmlaag met het te verlijmen oppervlak. Het is een chemische verankering, waarbij chemische bindingen ontstaan tussen de moleculen/atomen uit de lijmlaag en het te verlijmen materiaal. Er treedt een zekere mate van vermenging op tussen de lijm en het te lijmen materiaal. *Fysische* adhesie berust op moleculaire of atomaire interacties tussen lijmlaag en te verlijmen oppervlak. Door adsorptie hecht de lijm. De interacties werken alleen als de afstand tussen de moleculen van lijm en materiaal voldoende klein is. Van *mechanische* adhesie is sprake wanneer het te lijmen oppervlak ruw of poreus is en de vloeibare lijm in de poriën van het oppervlak kan dringen. Na de uitharding van de lijm vindt in dat geval een verankering plaats. De meeste lijmen werken op basis van fysische of chemische adhesie.

beerd, kan alleen plaatsvinden als de oppervlaktespanning van de lijm kleiner is dan die van het te lijmen oppervlak. In het geval van een onvolledige bevochtiging, raken de moleculen uit de lucht op een aantal plaatsen ingesloten tussen het oppervlak en de lijm. Dat deel van het oppervlak kan dan ook niet mee doen aan het adhesieproces.

Een maat voor de drijvende kracht achter bevochtiging is de contacthoek. Dit is de hoek waaronder een lijmdruppel het oppervlak raakt. Hoe kleiner deze hoek is, des te groter de kans wordt op een goede bevochtiging (zie 'de contacthoek').

Ook de *viscositeit* (stropigerigheid) van de lijm speelt een rol in het bevochtigen. Wanneer deze te hoog is, zal de drijvende kracht niet in staat zijn de lijm binnen de beschikbare uithardingstijd (*setting-time*) in contact te brengen met het oppervlak. De zogeheten (*wet*)tack is dan te laag. Bevochtiging kan worden verbeterd door de viscositeit te verlagen door bijvoorbeeld de temperatuur te verhogen of een oplosmiddel toe te voegen.

Zwakste schakel versterken. De sterkte van de lijm hangt zowel af van de *cohesie*, die het gevolg is van moleculaire en atomaire krachten in de lijm zelf, als van de *adhesiekrachten* tussen de lijm en het te lijmen oppervlak. De cohesiekrachten mogen echter pas hoog zijn als de adhesie plaats heeft gevonden. Met andere woorden de lijm moet eerst vloeibaar zijn om goed te kunnen *bevochtigen* en mag daarna pas hard worden tijdens het *verharden*. Bij dit laatste proces is het van belang dat er zo weinig mogelijk spanningen in de lijm ontstaan, omdat deze de lijmsterkte nadelig beïnvloeden. Spanningen kunnen ontstaan door:

- chemische contractie: krimp onder invloed van chemische verharding;
- verdamping van vluchtige bestanddelen uit de lijm;
- het verschil in thermische uitzettingscoëfficiënt van lijm en materialen.

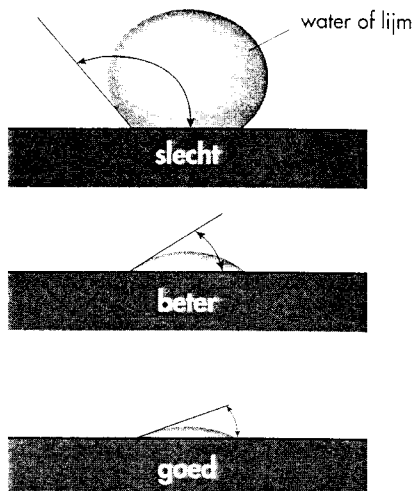
Bij de lijmverbinding moet de zwakste schakel bij voorkeur in de lijmlaag en niet in de overgang tussen lijm en materiaal liggen. Bij een sterkteberekening van een lijmverbinding wordt er dan ook van uitgegaan dat de cohesiesterkte de zwakste schakel is.

Makkelijker, sneller, beter. Jager wordt veelvuldig geconfronteerd met een gebrek aan kennis op het gebied van lijmtechnologie: "Er wordt in het onderwijs en op de universiteit praktisch geen aandacht besteed aan lijmen. De jonge HTS'er of academicus zal een lijmverbinding dan ook niet snel toepassen. En dat terwijl deze verbindingstechniek zo vaak economisch voordeel op kan leveren."

Ofschoon lijmen en lijmtechnologie in het

Lijmen & Hechten

DE CONTACTHOEK

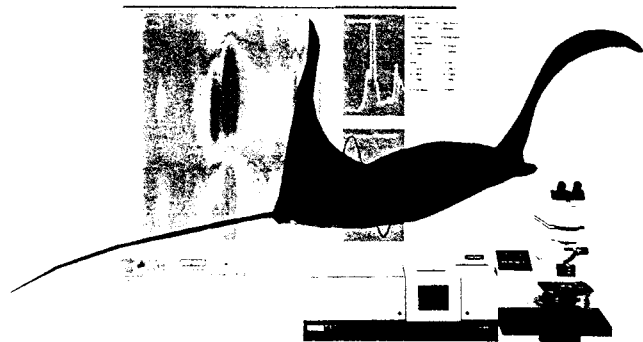


Een maat voor de drijvende kracht achter de bevochtiging is de contacthoek. Hoe kleiner deze hoek, hoe groter de kans op een goede bevochtiging, dus op een sterke hechting.

onderwijs wellicht wat weinig aandacht krijgen, brengen fabrikanten steeds meer nieuwe lijmsystemen op de markt. Ze voldoen aan steeds hogere eisen. Er komen lijmen die makkelijker te doseren zijn, lijmen die sneller de maximale hechtkracht bereiken en dus sneller hechten. Ook doseerapparatuur wordt steeds geavanceerder. Door bijvoorbeeld gebruik te maken van computergestuurde systemen komen minder fouten voor bij het aanbrengen van de lijmen. Jager constateert ook dat het toepassen van de lijmtechnologie steeds populairder wordt. In auto's dragen lijmen bij aan hogere frame-stijfheid, waardoor de carrosserie steviger wordt. Ook in de bouw worden lijmverbindingen steeds vaker toegepast.

Toch is lijmen niet de enig zaligmakende oplossing voor alle verbindingproblemen relativeert Jager: "Het is gewoon een verbindingstechniek. Als in een bepaald geval lassen beter is, geef ik geen lijmadvies. Als je echter wil verlijmen, moet je wel over de kennis beschikken om het juiste systeem te kiezen."

Advanced Infrared Micro Imaging



New!

FTS Stingray 6000

- FT-IR Micro-Imaging with Focal Plane Array Detector
- Large area image analysis (400 x 400 microns)
- Excellent spatial resolution, better than 8 microns
- High contrast infrared images
- Total analysis in minutes

**More than 30 years
experience in FT-IR**

BIO-RAD

Bio-Rad Laboratories

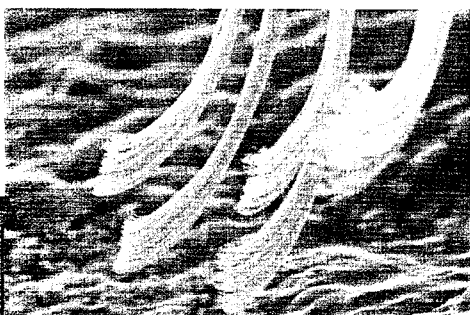
Austria ☎ +43-1-877-8901
 Belgium ☎ +32-9-385-5511
 ☎ 0800-97032 (free phone)
 France ☎ +33-1-43-90-4690
 Germany ☎ +49-2151-5159-0
 Italy ☎ +39-2-216091
 Netherlands ☎ +31-318-540666
 Spain ☎ +34-1-661-7085
 Sweden ☎ +46-8-627-5000
 Switzerland ☎ +41-1-809-5555
 UK ☎ +44-1442-232552

<http://www.bio-rad.com>

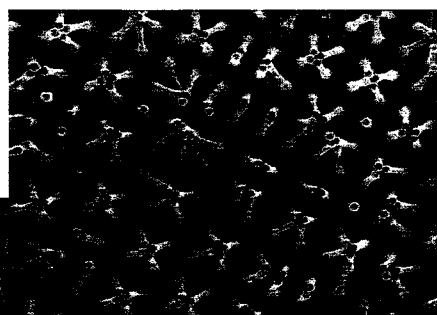
GEKKO-TAPE

Vraagje: wat hebben insecten, gekko's en mensen met elkaar gemeen? Antwoord: ze kunnen allemaal moeiteloos tegen spiegelgladde oppervlakken opklimmen. Nou ja, mensen nog even niet, maar er wordt gewerkt aan kunstmatige gekko-voeten. Gekko's, een groep hagedis-achtigen met ongeveer 750 ondersoorten, kunnen zonder problemen tegen letterlijk spiegelgladde oppervlakken oplopen. Tot kort wist niemand hoe ze dat deden. Hun voetzolen zijn niet kleverig en hebben ook geen weerhaakjes. De afgelopen jaren is dat vraagstuk eindelijk opgehelderd door het team van Kellar Autumn van het Amerikaanse Lewis & Clark College. De truc zit hem in haartjes die zo klein zijn dat ze direct aan moleculen blijven plakken. De elektrische lading in moleculen is vaak niet netjes verdeeld en daardoor werken ze als piepkleine magneetjes; de zogenoemde Van der Waalskracht. Toch blijft je koffiebekertje niet direct aan de muur plakken. Dat komt doordat Van der Waalskrachten alleen optreden als moleculen heel dicht bij elkaar in de buurt komen. Op microscopische schaal zitten er in het geval van een koffiebeker zoveel hobbels in het oppervlak dat er veel te weinig moleculen contact maken. De twee miljoen haartjes (oftewel *setae*) op de voetzolen van gekko's hebben elk zo'n honderd tot duizend piepkleine uitlopers. Al die uitloperijtjes maken op moleculaire schaal wel goed contact met het oppervlak. En hoewel elke uitloper apart maar heel licht

vastkleeft, kunnen ze samen het gewicht van een gekko makkelijk houden. Onderzoekers proberen die truc nu na te doen. Dat kan bijvoorbeeld van pas komen in autobanden, klimmende robots, en in de ruimtevaart. Een groep Britse wetenschappers onder leiding van Andre Geim heeft door middel van lithografie, de techniek waarmee computerchips gemaakt worden, een plakje plastic met kunstmatige gekko-haartjes gefabriceerd. Na enig geëxperimenteer ontdekten ze de juiste afmetingen, zodat de haartjes flexibel en toch stevig zijn. Losse haartjes plakten niet zo goed als bij gekko's, maar het plakje werkte helaas niet als een gekko-voet. Dat verbeterde toen de haartjes een flexibele ondergrond kregen in plaats van een hard stukje plastic. Daardoor worden de oneffenheden in het oppervlak veel beter gevolgd en kunnen meer haartjes contact maken. Uiteindelijk moet al dat werk een soort plakband opleveren. Of misschien is klittenband een betere vergelijking. Je kunt het namelijk keer op keer lostrekken en opnieuw gebruiken. Zover is het nog even niet. Op het moment blijven de haartjes na een paar keer aan elkaar of aan de ondergrond plakken. Bovendien is het nog erg duur en lastig om ze te maken. De Olympische Spelen zullen het nog even zonder honderd meter steile-wand-klimmen moeten doen. -PE
(Bronnen: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/2953852.stm>
<http://www.lclark.edu/~autumn/dept/index.html>)



De haartjes (*setae*) op de voet van een gekko lopen uit in nog kleinere haartjes (*spatulae*). Die hebben precies de goede afmetingen om een zogenoemde Van der Waals-verbinding aan te gaan.



De haartjes blijven nu nog na gebruik aan elkaar en aan de ondergrond plakken. Waterafstotend materiaal moet dit op zien te lossen.

Een stuk gecko-tape ter grootte van een mensenhand moet sterk genoeg zijn om iemand aan een glasplaat te laten bungelen. Helaas is het nu te duur om zoveel tape te maken, maar de vrijwilligers voor het experiment stonden al in de rij.

S P L A T O M E T E R

Volgens de Royal Society for the Protection of Birds (RSPB, zeg maar de Engelse vogelbescherming) gaat het met verschillende vogelsoorten niet goed. Vooral de mus en de grauwe gors doen het slecht. Nu zijn er mensen die denken dat dat wel eens te maken kan hebben met

een vermindering van het aantal insectensoorten. En bij de RSPB willen ze weten of dat klopt. Daarom wil men stukjes doorzichtig folie, zogenoemde *splatometers*, uitleiden die automobilisten over de nummerplaat van hun vehikel kunnen plakken. De insecten krallen daar

vollijk op kapot en aan de spetterende ondergrond kunnen de onderzoekers vervolgens zien welke insecten zo in de omgeving rondsporen. Al die stukjes folie analyseren ze bij de RSPB overigens niet met de hand. Daarvoor hebben ze een handig computersysteem en speciale software voor

de analyse van de spetteringen. Het gaat erom te weten of er nog voldoende insecten zijn die voor de vogels belangrijk zijn. De RSPB wil namelijk weten of de vogels nog voldoende voedsel hebben om te overleven. Het systeem kan ook worden gebruikt om te zien of er nog voldoende insecten zijn die voor de mens belangrijk zijn. Het systeem kan ook worden gebruikt om te zien of er nog voldoende insecten zijn die voor de natuur belangrijk zijn.

Gevaarlijke stoffen

Zonder het te beseffen werken doe-het-zelvers vaak met gevaarlijke stoffen: bepaalde soorten verf, lijm, bestrijdingsmiddelen, soldeerwater, afbijtmiddelen, terpentijn.

Dergelijke stoffen kunnen gevaarlijk zijn voor de gezondheid, ze kunnen zeer brandgevaarlijk zijn, soms zijn ze zelfs explosief. Het zou daarom het beste zijn om helemaal niet met dergelijke stoffen te werken. Maar omdat dat helaas niet altijd mogelijk is, moeten de nodige voorzorgsmaatregelen genomen worden.

Voorkom het inademen van schadelijke dampen en/of brandgevaar door in de buitenlucht te werken of zeer goed te ventileren. Het brand- en explosiegevaar is verre van denkbeeldig: bij een te hoge dampconcentratie kan het omzetten van een lichtsakelaar door het ontstaan van een vonk al genoeg zijn om brand of ontploffing te veroorzaken. Ook roken of een waakvlam kan explosie veroorzaken.

Draag een veiligheidsbril en vloeistofdichte handschoenen, die bovendien tegen de inwerking van de stof waarmee men werkt, bestand zijn, als dat maar even nodig is.

Houd gevaarlijke stoffen buiten het bereik van kinderen en berg ze ergens hoog achter slot en grendel weg.

Verzorg ook kleine verwondingen onmiddellijk.

Lees altijd eerst de gebruiksaanwijzing en waarschuwingen op de verpakking. Daarbij kunt u bepaalde symbolen tegenkomen die de aard en de mate van gevaar aanduiden.

Gebruik voor "losse" gevaarlijke stoffen kunststof flessen. Die kunnen niet breken.

Spoel restanten nooit door de gootsteen. Daarmee helpt u om onnodige milieuschade te voorkomen.

Trichlooretheen (tri), perchlooretheen (per) en afbijtmiddelen geven weliswaar onbrandbare, maar voor de gezondheid zeer schadelijke dampen af.

De dampen van benzine, terpentijn en alcohol zijn minder schadelijk, maar zeer brandbaar. Bovendien verdampen deze stoffen zeer snel. Gemengd met lucht geven ze een explosief mengsel. Een ingeschakeld elektrisch apparaat (een koffiezetter bijvoorbeeld) kan zo'n mengsel al laten ontploffen.

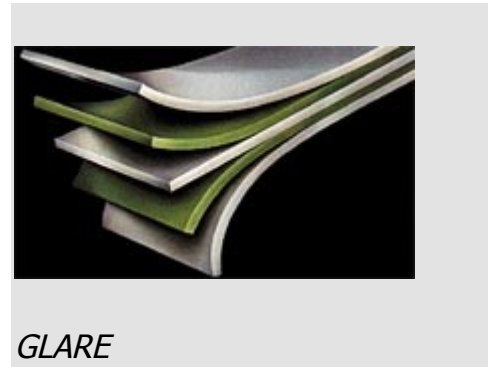
Bestrijdingsmiddelen tegen insecten en onkruid zijn altijd min of meer schadelijk voor de gezondheid, daarmee moet dus voorzichtig worden omgesprongen.

Afbijtmiddelen en gootsteenontstoppers zijn agressief: ze tasten onmiddellijk huid en ogen aan bij aanraking. Pas daarom op voor spatten. Komen ze toch in contact met huid of ogen, spoel dan zo snel mogelijk met heel veel water.

GLARE: een nieuw vliegtuigmateriaal

Materialen vormen een belangrijk onderdeel van de luchtvaart- en ruimtevaartindustrie. Tegenwoordig is, bij de bouw van vliegtuigen, aluminium het meest gebruikte materiaal. De meeste vliegtuigen worden gemaakt van aluminium platen met een dikte van ongeveer een millimeter. Helaas heeft aluminium, naast haar goede eigenschappen, ook enkele minder wenselijke eigenschappen. Daarom heeft de faculteit een nieuw materiaal ontworpen: GLARE.

GLARE ziet er hetzelfde uit als aluminium platen, maar het bestaat uit verschillende lagen. Eerst een dunne laag aluminium, dan een dunne laag van sterke glasvezels en dan weer een laag aluminium. Dit zou een soort 'metaaltriplex' genoemd kunnen worden: een sandwich van dunne, samengelijmde platen van elk ongeveer een derde millimeter dik. Enkele van de bijzondere voordelen van dit materiaal zijn dat het meer bescherming biedt in geval van brand, beter bestand is tegen schade, en minder gevoelig is voor vermoeiing. Een variant van GLARE wordt gebruikt voor het vrachtluk van de C-17, Amerika's nieuwste transporttoestel. Op het moment bekijkt de faculteit een voorontwerp van het nieuwste passagiersvoertuig, de A380 van Airbus. Airbus overweegt het gebruik van GLARE als het primaire materiaal voor het casco. Als alles gunstig verloopt wordt de A380 het eerste vliegtuig met een romp, die geheel van GLARE gemaakt is!



GLARE

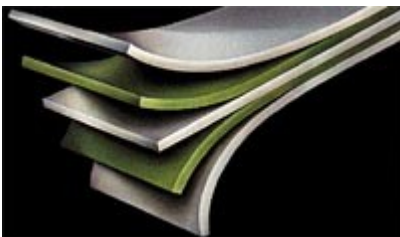
GLARE: Nederlands succesmateriaal

SAMENVATTING

GLARE, een soort 'verbeterd aluminium', bestaat uit verschillende lagen: eerst een dunne laag aluminium, dan een dunne laag van sterke glasvezels en dan weer een laag aluminium. Het materiaal is een succes in de vliegtuigindustrie. Airbus gaat het gebruiken voor de nieuwe 'superjumbo' A380. Op 24 november 2003 werd in Papendrecht een GLARE-fabriek geopend

Het aluminium-glasvezel laminaatmateriaal GLARE is een succes in de vliegtuigindustrie. Vliegtuigbouwer Airbus gaat het gebruiken voor de nieuwe 'superjumbo' A380 die in 2005 zijn eerste proefvlucht moet maken. Op 24 november van dit jaar werd in Papendrecht een gloednieuwe GLARE-fabriek geopend door minister Brinkhorst van Economische Zaken. GLARE werd ontwikkeld bij de faculteit Lucht- en Ruimtevaarttechniek van de Technische Universiteit Delft en wordt nu vervaardigd door Stork Aerospace, de 'opvolger' van het roemruchte Fokker.

Lichte en sterke materialen spelen een hoofdrol in de luchtvaart- en ruimtevaartindustrie. Bij de bouw van vliegtuigen worden vooral aluminium platen gebruikt met een dikte van ongeveer een millimeter. GLARE is een soort 'verbeterd aluminium'. Het ziet er hetzelfde uit als aluminium platen, maar het bestaat uit verschillende lagen. Eerst een dunne laag aluminium, dan een dunne laag van sterke glasvezels en dan weer een laag aluminium. Je zou het een soort 'metaaltriplex' kunnen noemen: een sandwich van dunne, samengelijmde platen van elk ongeveer een derde millimeter dik. Enkele van de bijzondere voordelen van dit materiaal zijn dat het meer bescherming biedt in geval van brand, beter bestand is tegen schade en minder gevoelig is voor vermoeiing.



GLARE bestaat uit verschillende lagen. Eerst een dunne laag aluminium, dan een dunne laag van sterke glasvezels en dan weer een laag aluminium. Beeld: TU Delft

De ontwikkelingsgeschiedenis van GLARE vergt bijna twintig jaar, maar de afgelopen jaren is het echt doorgebroken. De kwalificatie als geschikt rompmateriaal voor de Airbus A380 is daarvan het duidelijkste wapenfeit. De Airbus A380, het grootste passagiersvliegtuig ter wereld met twee dekken boven elkaar, wordt als een revolutionair vliegtuig beschouwd. De ontwikkeling is een mega-project waar wereldwijd meer dan 10.000 mensen bij zijn betrokken en waar meer dan 10 miljard euro in wordt geïnvesteerd. Het eerste toestel moet in 2005 vliegen en er zijn al meer dan 120 toestellen van besteld.

De Airbus A380, het toekomstig grootste passagiersvliegtuig ter wereld, heeft een romp met GLARE Beeld: Airbus



Glare (GLass REinforced laminate)

Glare is een lid van de familie van Vezel Metaal Laminaten. Vezel Metaal Laminaten zijn materialen die bestaan uit dunne lagen metaal en uni-directionele vezellagen. De vezels zijn ingebed in een structureel lijmsysteem. Glare is een geoptimaliseerde Vezel Metaal Laminaat voor vliegtuigtoepassingen en het bestaat uit afwisselende lagen aluminium and glass vezel prepregs.

Een laminaat wordt geproduceerd in een uithardingsproces in een autoclaaf. De verschillende lagen van het laminaat worden voor dit proces handmatig of automatisch gestapeld.

Door de gelaagde structuur van het materiaal is het mogelijk om het plaatmateriaal op maat te maken voor een bepaalde toepassing. Zowel het aantal metaal- en vezellagen, als de richting van de vezels kunnen worden gevarieerd afhankelijk van de toepassing van het onderdeel.

Vanaf het begin van de zeventiger jaren veel werk is gestoken in de ontwikkeling en de verbetering van Vezel Metaal Laminaten aan de Technische Universiteit Delft met het doel een materiaal te creëren met verbeterde vermoeiings- en damage tolerance- eigenschappen. Deze ontwikkeling is onder andere voortgegaan door het ongeval met een Boeing 737 waarin na jarenlang intensief gebruik veel vermoeiingsscheuren voorkwamen en een deel van de romp tijdens de vlucht van het vliegtuig afbrak.



Glare is de opvolger van het Vezel Metaal Laminaat genaamd Arall, wat bestond uit aluminium lagen en aramide prepreg lagen. Glare is verbeterd voor primaire en secondary vliegtuigconstructies.

Tot nu toe zijn er zes standaard Glare laminaten ontwikkeld. Het aantal prepreg lagen per vezellaag en de oriëntatie van de vezels bepaald de Glare type. Alle types zijn gebaseerd op uni-directionele glasvezels die zijn ingebed in Cytec FM 94 lijm. De dikte van de aluminium lagen in Glare varieert van 0.2 tot 0.5 mm.

In de tabel hieronder zijn de zes types weergegeven met hun belangrijkste mechanische eigenschappen.

Type	Versie	Metaaldikte [mm] en and legering	Prepreg orientatie* in elke vezellaag**	voornaamste eigenschappen
Glare 1		0.3 - 0.4 7475-T761	0/0	Vermoeiing, sterkte, vloeigrens
Glare 2	2A	0.2 - 0.5 2024-T3	0/0	Vermoeiing, sterkte
	2B	0.2 - 0.5 2024-T3	90/90	Vermoeiing, sterkte
Glare 3		0.2 - 0.5 2024-T3	0/90	Vermoeiing, impact
Glare 4	4A	0.2 - 0.5 2024-T3	0/90/0	Vermoeiing, sterkte in 90° richting
	4B	0.2 - 0.5 2024-T3	90/0/90	Vermoeiing, sterkte in 0° richting
Glare 5		0.2 - 0.5 2024-T3	0/90/90/0	Impact
Glare 6	6A	0.2 - 0.5 2024-T3	+45/-45	Schuif-, off-axis eigenschappen
	6B	0.2 - 0.5 2024-T3	-45/+45	Schuif-, off-axis eigenschappen

Rolrichting van de aluminium lagen in de standaard types is
* in dezelfde richting; deze richting is gedefinieerd als 0°, the
transverse richting is gedefinieerd als 90°.

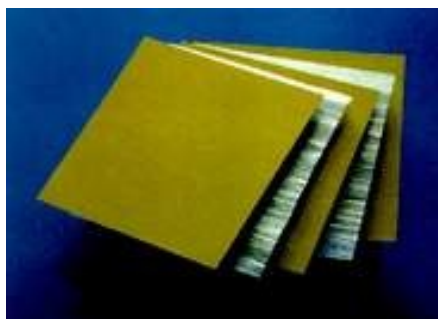
** Het aantal orientaties in deze kolom is gelijk aan het aantal
prepreg lagen (elk ongeveer 0.125 mm) per vezellaag.

Een notatiesysteem is in gebruik om eenduidig de verschillende laminaten te kunnen definiëren. Een voorbeeld is:

Glare 4B-4/3-0.4

Dit betekent:

- Een Glare laminaat met een vezeloriëntatie volgens de Glare 4B definitie in de tabel hierboven.
- 4 lagen aluminium en 3 vezellagen.
- Een dikte van de aluminiumlagen van 0.4 mm.



De belangrijkste Glare toepassingen op dit moment zijn: romphuid constructies van de Airbus A380, vliegtuig bagageruim vloeren en wanden, explosie bestendige vliegtuig bagage containers.

Hechtende biopolymeren maken comeback

Het instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek (Ato-dlo) in Wageningen zoekt naar hoge(re) toegevoegde waarde van landbouwproducten door alternatieve toepassingen te bedenken in zowel de food en non-food sector. "We kijken naar de grondstof en beoordelen de haalbaarheid van allerlei ideeën. Vervolgens praten we met de opdrachtgever over de ontwikkeling van een nieuw product, waarbij we voor een moleculaire aanpak kiezen", zo licht drs. Stephan Hulleman toe, hoofd van de sectie Koolhydraatfysica bij Ato-dlo.

Iwan Koenderman

Hulleman's groep doet onder meer onderzoek naar nieuwe, op biopolymeren gebaseerde lijmsystemen en hun toepasbaarheid. Helaas kan Hulleman hier, vanwege de vele industriële samenwerkingen en om octrooitechnische redenen niet in detail over uitwijden. Wel legt hij de achterliggende ideeën van het onderzoek en de plannen uit. "De biopolymeren zijn in feite van oudsher de grondstoffen voor lijmen. Pas later kwamen de synthetische lijmen, high performance lijmen, waarmee in principe hele vliegtuigen in elkaar gezet kunnen worden. Ofschoon de biopolymeren er eigenlijk altijd gebleven zijn, komen ze nu weer meer in de belangstelling omdat ze voordelen hebben ten opzichte van de synthetische lijmen. Biopolymeren zijn immers een goedkope grondstof, ze zijn herpulpbaar en biologisch afbreekbaar. De herpulpbaarheid is een voordeel bij recycling van bijvoorbeeld papier en karton. Doordat de lijm goed oplost in water vindt homogene menging plaats tussen lijm en papier. Een ander voordeel van lijmen op basis van biopolymeren is dat, in tegenstelling tot vele synthetische lijmen, water als oplosmiddel kan dienen.

Hernieuwbare grondstof. Afhankelijk van onder andere de prijs op de wereldmarkt kiest de industrie voor biopolymeren in de vorm van koolhydraten, zoals zetmeel en cellulose en derivaten daarvan, of eiwitten. Zetmeel is goedkoop en hydrofiel. Een voorbeeld van een zetmeelderivaat is postzegellijm. Deze lijm bevat dextrines. Eiwitten die geschikt zijn voor lijmen verschillen onderling nogal in prijs, maar bieden wel enkele technische voordelen. Ze zijn hydrofober en waterbestendiger dan cellulose en daarom worden ze vaak gebruikt voor bijvoorbeeld het etiketteren van glas.

Het lijmonderzoek bij Ato-dlo richt zich op het hele scala van biopolymeren (koolhydraten, eiwitten en (bio)polyesters). Al deze biopolymeren zijn hernieuwbaar, dat wil zeggen dat de grondstof binnen een beperkte tijdschaal weer via natuurlijke processen kan worden aangemaakt.

Hulleman: "Inuline is een mooi voorbeeld van zo'n hernieuwbaar biopolymeer. De stof die onder andere voorkomt in cichorei, een plant die verwant is aan witlof. Een bioafbreekbare smeltlijm op basis van inuline is een mogelijke toepassing. Smeltlijmen (of hotmelts) worden onder meer toegepast in verpakkingen bijvoorbeeld voor het verlijmen van dozen. Ook is deze lijm geschikt voor het binden (gelijmde rug) van boeken."

Voorwaarden voor hechting. Hulleman vertelt over de ontwikkeling van nieuwe lijmtechnologie: "We kijken naar eigenschappen van de grondstof. We proberen de moleculaire structuur in verband te brengen met de eigenschappen van de stof. Vragen, die we ons daarbij stellen hebben te maken met de stabiliteit, adhesie aan het substraat en het reologisch gedrag van het materiaal. Wat doet de lijm? Is de sterkte opbouw voldoende?"

Voor een goede hechting aan papier en glas en voor een hoge wateroplosbaarheid, moet een gebruikt biopolymeer hydrofiel zijn. Cellulose kan bijvoorbeeld wateroplosbaar gemaakt worden door te derivatiseren. Verder moet de initiële lijmsterkte, de kracht direct na aanbrengen, ofwel de '(wet) tack', voldoende hoog zijn; het te lijmen materiaal moet meteen zitten. De lijm moet goed hechten, dus een goede interactie hebben met het oppervlak (adhesie). Bovendien moet de stof een goede interne sterkte hebben om twee materialen bij elkaar te houden (cohesie). De setting-time, tijd waarin deze interne sterkte zich opbouwt, is afhankelijk van de toepassing. Een lijm met een korte setting-time vormt snel een verbinding en bouwt hierdoor snel kracht op.

Hulleman: "Voor industriële toepassing zijn vooral de *tack* en de *setting-time* van groot belang. Als we kijken naar het etiketteren van flessen is het helemaal niet van be-

LIJMEN OP BASIS VAN BIOPOLYMEREN

DE VOORDELEN

- hernieuwbaar
- goedkoop
- herpulpbaar
- biologisch afbreekbaar
- wateroplosbaar

TOEPASSINGEN



NATUURLIJKE KLEEFSTOFFEN

● collageen, glutine

Traditionele dierlijke lijmen (beender-, vlees-, vislijmen) dreigden het te verliezen van de synthetische lijmen (hotmelts), maar met het huidige milieubeleid krijgen ze nieuwe kansen. Chemische modificatie biedt perspectieven voor nieuwe (biomedische) toepassingen.

● caseïne (uit melk)

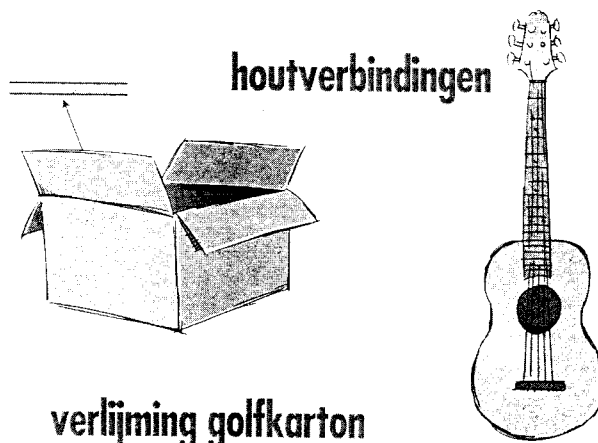
De lijm wordt toegepast voor etiketteren van glazen flessen. Onderzoek naar chemische modificaties en aangepaste formuleringen vindt plaats om deze lijm geschikt te maken voor het etiketteren van kunststof flessen en potten.

● cellulose- en zetmeel (derivaten)

Van oudsher (en nog steeds) veel gebruikt voor lijmen van hout, papier, karton en leer.

● eiwitten uit 'nieuwe' landbouwproducten

Inuline (uit bijvoorbeeld cichorei) is een goed voorbeeld. Onder andere Ato-dlo doet onderzoek naar nieuwe toepassingen van dit relatief goedkope eiwit als kleefstof in lijmen. Het lijken geschikte vervangers voor de synthetische hotmelts die onder meer gebruikt worden in verpakkingen.



lang of de etiketten meteen met de uiteindelijke lijmsterkte vastzitten aan het substraat. Men is tevreden als deze er tijdens het transporteren over de machines er niet afvallen. De opbouw van de lijmsterkte mag dus lang duren, als de tack maar goed is. De lijm moet ook goed bestand zijn tegen hoge productiesnelheden. Bij het verlijmen van bijvoorbeeld golfkarton is het weer van belang dat de lijm op het juiste moment, dat wil zeggen direct na het contact tussen de golf en de liner, plakt. Anders laten de lagen weer los tijdens de productie van het golfkarton. Bij postzegellijm moet de opgebrachte lijm indrogen en mag deze geen interacties aangaan. Anders gaat ze tijdens het bewaren al plakken (blocking)''

Toekomst perspectieven. Op het gebied van de lijmtechnologie voorziet Hulleman een

grotere markt voor de biologisch afbreekbare lijmen. Verder ziet hij een verschuiving van de hotmelts naar de zogenaamde warmmelts, lijmen, die bij lagere temperatuur smelten. Deze technologie is mogelijk door toevoegingen aan de lijm waardoor ze bij een lagere temperatuur een lage viscositeit krijgt. Ook zou men kunnen denken aan verdere derivatiseringen van de grondstoffen om interacties met specifieke, niet traditionele substraten, mogelijk te maken. ●

Hechtverbeteraars

S.J. van Driesten

Inhoudsopgave

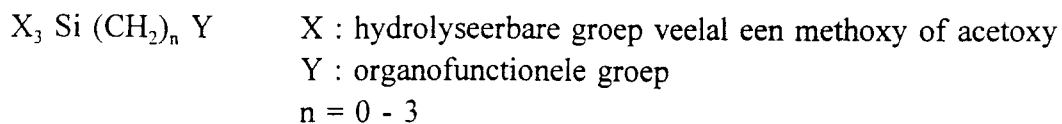
Hechtverbetersaars	3
Organofunctionele silanen	3
Titanaten	9
Organofunctionele zirconaten	10
Literatuur	12

Hechtverbetersaars.

In theorie draagt elke polaire groep bij aan de hechting met minerale substraten. Een voorbeeld waar hiervan gebruik is gemaakt, zijn de zuurgroepen die geënt zijn op een polypropyleen keten, daarmee wordt de hechting met mica, talc en glasvezels verbeterd (BP Performance Polymers inc. Hackettstown N.J.) Van de organofunctionele silanen voldoen slechts enkele als hechtverbeteraar. Als hechtverbeteraar worden silanen toegepast in urethanen, epoxy, plastisol, acrylaten en latex coatings. Naast de organofunctionele silanen kennen we nog de hechtverbetersaars op basis van zirconium en op basis van titanaten.

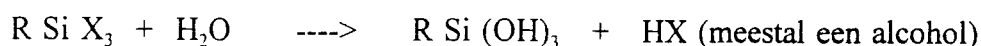
Organofunctionele silanen

Deze groep van materialen zijn een hybride van organische en anorganische materialen resp. de functionele groepen en het silaan zelf. Als zodanig vormt het een verbinding over het verbindingsvlak van het minerale substraat en de organische film (coating of lijm). Silaan coupling agents zijn opgebouwd uit:



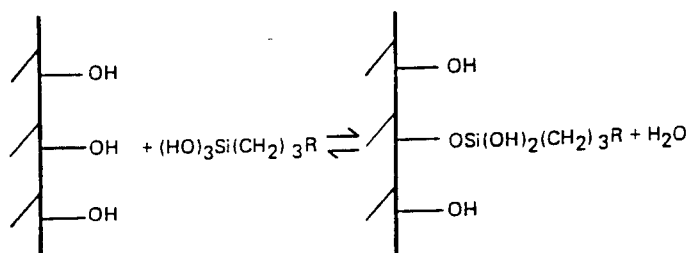
De X-groep zorgt voor de hechting met het minerale oppervlak. Hechting gebeurt goed op materialen die stabiele hydroxylgroepen bezitten zoals; silicium, aluminium, titaan en ijzer. Bij grafiet, boron, alkali en alkalische aardoxiden ontstaan er geen stabiele verbindingen tussen het hydroxyl en de coupling agent. Voordat de chemische verbinding met het oppervlak gemaakt kan worden moet het silaan eerst worden geconverteerd, d.m.v. hydrolyse, tot een reactieve silanol. Hydrolyse kan praktisch op drie manieren gebeuren:

1. Voorbehandeling van het substraat met een waterige oplossing van silaan.
2. Silaan toevoegen aan water gebaseerde lijmen/coatings.
3. Toevoegen van organosilanen aan niet water gebaseerde lijmen/coatings waarbij er voldoende vocht op het substraat oppervlak aanwezig is dat voor hydrolyse zorgt.



Figuur 1 Hydrolyse van silaan.

Na hydrolyse vormt het silanol een evenwichtsreactie met de hydroxylgroepen van het substraatoppervlak, figuur 2, een evenwicht tussen waterstofbruggen en oxaanverbindingen.



Figuur 2 Evenwichtsreactie tussen silanol en hydroxylgroepen.

Ter indicatie van de sterkte van de verkregen verbinding wordt in tabel 1 de bindingsenergiën weergegeven voor de diverse type verbindingen.

Type verbinding	energie kcal/mol
covalent	15 - 170
H-bruggen	< 12
dispersie	< 10
dipool - dipool	< 5
dipool - geïnduceerd dipool	< 0.5

Tabel 1 Overzicht verbindingseenergiën.

Na hydrolyse kan het silanol auto-condenseren waarbij er siloxanen ontstaan. Vooral dit fenomeen bepaalt de stabiliteit van een organofunctionele silaan in oplossing. Aminosilanen geven in water oplosbare siloxanen en daarmee blijven deze organofunctionele silanen effectief als hechtverbeteraar. Met name bij niet polaire silanen ontstaan niet oplosbare siloxaanverbindingen die uiteindelijk precipiteren waarmee het effect van de hechtverbeteraar verloren gaat. Auto-condensatie wordt onderdrukt door:

- gebruik van verse oplossingen,
- alcoholische oplosmiddelen (het evenwicht wordt naar links gedrukt Figuur 1),
- verdunde oplossingen,
- instellen met de zuurtegraad, bij pH 3 - 6 zijn silaantriolen stabiel maar deze condenseren snel bij pH 7 - 9.

Nadat het silanol een siloxaan verbinding met het oppervlak heeft gevormd wordt verondersteld dat op deze monomoleculaire laag nog enkele lagen van siloxanen wordt

gevormd. De condensatiegraad neemt af naarmate er meer siloxaanlagen worden gevormd. Vooral de variatie in de condensatiegraad bepaalt in sterke mate de compatibiliteit met de coating. De compatibiliteit met de organische film wordt verder bepaald door:

- de aanwezigheid van chemische reactieve groepen,
- de afstemming van de chemische reactieve groepen op het type bindmiddel van de organische laag bijvoorbeeld amine of epoxyfunctionele groepen voor epoxycoatings,
- de reactiviteit van het silaan moet van gelijke orde zijn aan die van de coating. Als de coating snel met zich zelf reageert kan het silaan niet of met minder reactieve groepen reageren,
- de mogelijkheid voor het silaan om naar het substraat oppervlak te migreren voordat de reactie in volle gang is.
- de vloeit van het silaan op het substraat oppervlak.

Feitelijk is de vloeit een geen fysische grootheid van het silaan. De vloeit wordt o.m. bepaalt door het verschil in oppervlakte spanning van het substraat oppervlak en het silaan. In een Duits promotie onderzoek is de contacthoek gemeten, als indicatie voor de vloeit, van enkele silanen op een polyesterweefsel, tabel 2.

Type organosilaan	randhoek met een polyesterweefsel
aminosilaan	18°
metharylsilaan	15°
propylsilaan	34°

Tabel 2 Randhoeken van silanen met een polyesterweefsel.

De zelfde polyesterweefsels zijn met deze silanen geïmpregneerd en op de foto's 1 t/m 3 is te zien dat voor de amino en methacrylsilanen geen duidelijke aanzet van silaanmateriaal aanwezig is dit in tegenstelling tot de propylsilaan die wel duidelijke ophopingen heeft.

In tabel 3 zijn enkele commerciële silanen en hun toepassing met diverse kunststoffen weergegeven.

<i>Chemical Name</i>	<i>Thermosetting^a</i>	<i>Thermoplastic^b</i>	<i>Elastomers^c</i>
γ -Chloropropyltrimethoxysilane	Epoxy	Nylon	
Vinyltrichlorosilane	Polyester		
Vinyltriethoxysilane	Polyester		
Vinyl-tris(β -methoxyethoxy) silane	Polyester		
γ -Methacryloxypropyltrimethoxysilane	Polyester, vinyl ester	Polystyrene, polyethylene ABS, polypropylene polystyrene, ABS, SAN, nylon, TP polyester	EPM, EPDM, BR XLPE
β -(3,4-Epoxychlorohexyl) ethyltrimethoxy-silane	Polyester, epoxy		
γ -Glycidoxypropyltrimethoxysilane	Polyester, epoxy Melamine, phenolic		
Vinyltriacetoxysilane	Polyester	Acetal	
γ -Mercaptopropyltrimethoxysilane	Epoxy, phenolic	Nylon, polycarbonate PVC, PP, PE, PMMA, TP polyester, PPO	NR, IR, BR, SBR, EPM, EPDM, CR, NBR
γ -Aminopropyltriethoxysilane	Epoxy, melamine Phenolic		
N- β (aminoethyl)- γ -aminopropyltrimethoxysilane			
γ -Ureidopropyltriethoxysilane	Epoxy, melamine Phenolic	Nylon, PVC	
bis(β -hydroxyethyl)- γ -aminopropyltriethoxysilane	Epoxy	Acetal, polycarbonate polysulfone, nylon	
Aqueous solution of γ -aminopropyl silane	Epoxy, melamine	Nylon	
Proprietary amino	Epoxy		
Vinylbenzylamine functional silane	Epoxy, polyester	Nylon, polyolefins	

Tabel 3 Silanen en hun toepassing op enkele kunststoffen.

In tabel 4 is voor een polyurethaancoating aangegeven het effect van silaandosering op de hechtsterkte gemeten als een afschuifproef met torsiebelasting. Het grote verschil, in het oppervlak van onthechting valt gelijk op, tussen het mercaptofunctionele silaan en het diaminofunctionele silaan resp. onthechting tot geen onthechting. Tevens blijkt dat meer toevoegen dan 0.4 % weinig effect heeft. In tabel 5 is voor een polyurethaancoating aangegeven hoe de hechtsterkte (gemeten als een afschuifproef met torsiebelasting) verandert voor verschillende silaantoevoeging na cyclische vochtbelasting en versnelde verwerking. Opvallend is dat bij vochtbelasting vrijwel alle silanen grotere hechtsterkte vertonen. Merk op dat deze resultaten substraat specifiek zijn en afhankelijk van het type voorbehandeling. In de tabel 5 is ook het effect van het stralen van het oppervlak meegenomen. Dit geeft zonder expositie een aanmerkelijke verbetering zowel in hechtsterkte als in breukpatroon. T.a.v. de versnelde verwerking kan deze voorbehandeling als "goed" worden beschouwd, alleen bij de cyclische vochtbelasting zijn er silanen die een betere "natte" hechting geven.

Promoter /paint	Addition (%)	Bond strength		
		MPa	psi	Area of detachment (%)
Mercaptofunctional silane /polyurethane	None	29.1	4230	100
	0.1	31.7	4600	80
	0.2	41.6	6040	20-90
	0.4	43.1	6250	10-60
	0.6	40.3	5850	80
	0.8	37.3	5410	20-100
	1.0	38.2	5550	30-80
Diaminofunctional silane /polyurethane	0.1	47.9	6960	0
	0.2	47.1	6840	0
	0.4	49.3	7150	0
	0.6	48.8	7090	0
	0.8	47.4	6880	0
	1.0	48.0	6970	0

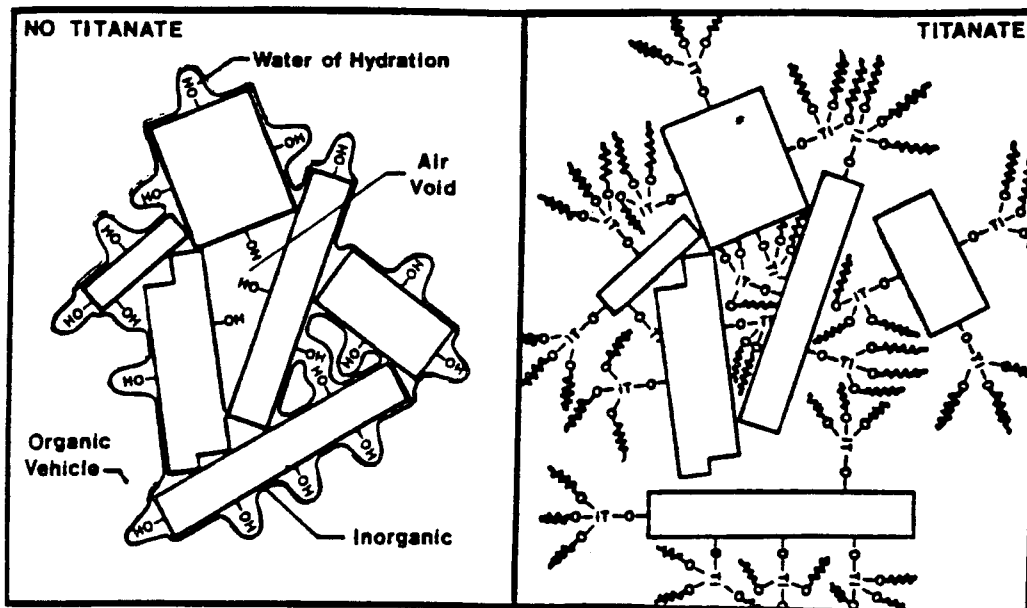
Tabel 4 Effect van silaantoevoeging op de hechtsterkte op aluminium (gemeten als een afschuifproef met torsiebelasting).

Silane functionality	Surface preparation	Controls			Cyclic humidity (500 h)			Accelerated weathering (1000 h)		
		MPa	psi	Area of detach- ment (%)	MPa	psi	Area of detach- ment (%)	MPa	psi	Area of detach- ment (%)
Polyurethane paint										
none	Degreased	15.8	2300	100	14.7	2130	100	21.7	3150	80
none	Grit blasted	45.8	6650	0-20	28.5	4100	30-50	38.4	5570	2-5
methacrylate	Degreased	41.5	6030	0	45.8	6650	0	40.0	5800	0
cycloaliphatic epoxide	Degreased	21.0	3050	100	34.6	5030	30-100	27.3	3960	20-90
epoxy	Degreased	24.4	3540	60-100	29.5	4280	70-100	29.3	4260	0-100
mercapto	Degreased	34.4	4990	0-80	38.4	5580	10-40	29.5	4280	0-60
deamino	Degreased	40.3	5850	0	40.6	5900	0-30	40.3	5850	0a

Tabel 5 Invloed van vochtbelasting en versnelde verwerking op de hechtsterkte van enkele silaantoevoegingen aan een polyurethaancoating op aluminium (gemeten als een afschuifproef met torsiebelasting).

Titanaten

Het specifieke mechanisme waarmee een titanaat werkt is sterk afhankelijk van het systeem waarin het gebruikt wordt. Vooral het verlagen van de viscositeit en daardoor het verbeteren van de vloeï wordt in het algemeen waargenomen. Indien de viscositeit lager is kan de vullingsgraad aan vulstoffen hoger zijn en daarmee de eigenschappen van het eindproduct sterk verbeteren, vooral bij vezelversterkte kunststoffen. Verondersteld wordt dat titanaten gehydrateerd water aan het substraat (vulstoffen, vezels op de aan te brengen ondergrond) vervangen. Daarmee worden waterstofverbinding onderbroken en oppervlakken beter bevochtigd en kan ingesloten lucht zich verplaatsen, figuur 3.



Figuur 3 Invloed van titanaten op gehydrateerd water.

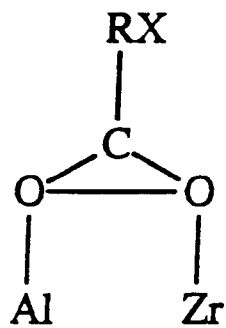
Verbeterde hechting is o.a. gekregen tussen glasvezel, kevlar en koolstof vezel met verschillende harsen zoals epoxy en onverzadigde polyesters door toevoeging van organotitanaat of organozirconaat als coupling agents. In tabel 6 zijn enkele coupling agents van Kenrich Petrochemicals Inc. weergegeven. Niet alleen de hechting tussen de polymere matrix en het substraatoppervlak wordt verbeterd maar juist ook tussen het polymeer en de vulstoffen daarin. Dupont heeft enkele organofunctionele titanaten waarmee oppervlakken van vulstoffen meer hydrofoob of meer hydrofiel gemaakt kunnen worden en daarmee de compatibiliteit met het polymeer bevordert.

Properties of Titanate/Zirconate Coupling Agents		
Titanate or Zirconate Type	Applications/Advantages	Chemical Structure
Monoalkoxy Titanate	Stearic Acid Functionality; Aids Dispersion of Mineral Fillers in Polyolefins	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{O} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{P}(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{O})(\text{OC}_6\text{H}_{17})_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$
Cheilate Titanate	Greater Stability in Wet Environments	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{C} - \text{O} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{P}(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{O})(\text{OC}_6\text{H}_{17})_2 \\ \quad \quad \quad \\ \text{CH}_2 - \text{O} \quad \quad \quad \text{OH} \end{array}$
Quat Titanate	Water Soluble	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{C} - \text{O} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{P}(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{O})(\text{OC}_6\text{H}_{17})_2 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{CH}_2 - \text{O} \quad \quad \quad \text{H} \quad \quad \quad \text{O}^{\ominus} \quad \quad \quad \text{R} \\ \\ \text{R} - \text{N}^{\oplus} - \text{R} \end{array}$
Coordinate Titanate	Phosphite Functionality; Reduces Epoxy Viscosity w/o Accelerating Cure	$(\text{RO})_2\text{Ti} \cdot (\text{HP}(\text{OC}_6\text{H}_{17})_2)_2$
Neoalkoxy Titanate	Eliminates Pretreatment Associated with High Temperature Thermoplastics and Polyurethanes	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{R}^* - \text{O} - \text{Ti}(\text{O}) - \text{P}(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{O})(\text{OC}_6\text{H}_{17})_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$
Neoalkoxy Zirconate	Accelerates Peroxide- and Air-based Cures; e.g., Polyester SMC/BMC	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{R}^* - \text{O} - \text{Zr}(\text{O}) - \text{P}(\text{O}) - \text{O} - \text{P}(\text{O})(\text{OC}_6\text{H}_{17})_2 \\ \\ \text{OH} \end{array}$
Cycloheteroatom Titanate	Ultra-high Thermal Properties for Specialty Applications	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{R} \quad \quad \quad \text{Ti} \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{R} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$

Tabel 6 Overzicht titanaten van Kenrich Petrochemicals Inc.

Organofunctionelezirconaten

Evenals organofunctionele silanen functioneren organofunctionele zirconaten door hun hybride karakter; anorganische ruggegraat voor interacties met minerale substraten en organische groepen voor de interacties met polymeren. In figuur 4 is de structuur van een zirconaat weergegeven. Als functionele groepen zijn commercieel verkrijgbaar; amino, carboxy, olefiel, methacryloxy en mercapto. Bekend is o.a. dat toevoeging van een carboxyfunctionele zirconaat aan een polyamide inkt de hechting op onbehandeld PE-folie de hechting vergelijkbaar is met corona behandeld PE-folie.



figuur 4 Structuur van een organozirconaat.

Foto 1 Polyesterweefsel niet geïmpregneerd

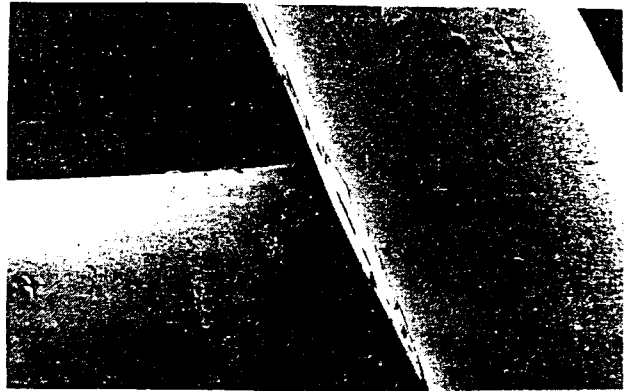


Foto 2 Polyesterweefsel geïmpregneerd met aminosilaan



Foto 3 Polyesterweefsel geïmpregneerd met methacrylsilaan



Foto 4 Polyesterweefsel geïmpregneerd met propylsilaan



Literatur

Handbook of Coatings Additives, Calbo Leonard J., Marcel Dekker, Inc., New York, 1987.

Handbook of Adhesives, 3th edition, Skeist Irving (ed.), Van Nostrand Reinhold, New York, 1990

Wirkungsweise von Silanhaftvermittlern in Polyester-binder-systemen, Bruder Axel, Institute für Textil- und Faserchemie der Universität Stuttgart, 1983

Materiaalkeuze bepaald door functionaliteit

Hybride materialen vragen **hybride verbindingen**

Paul Veltmans

TNO Industrie, ProductieOntwikkeling,

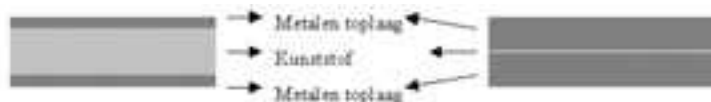
De keuze van materiaal voor constructies is tegenwoordig gebaseerd op functionaliteit. Er wordt niet meer gedacht in constructies bestaande uit één materiaal, maar in multimateriaal-constructies: zoek het materiaal dat het best past bij de functionaliteit van de constructie. Deze samengestelde materialen vereisen bijzondere verbindingstechnieken, bijvoorbeeld hybride verbindingen.

Licht en stijf

Bij de zoektocht naar steeds lichtere en toch stijve constructies kunnen lichte en dunne sandwichmaterialen ingezet worden. Deze sandwichmaterialen zijn ook geluid- en trillingdempend. Het materiaal is opgebouwd uit twee dunne metalen toplagen, eventueel van verschillende metalen, met daar tussen een relatief dikke kunststof laag. De sandwichmaterialen omschreven in dit artikel (dikte tot 2,5 mm) zijn relatief goed in een 3-D vorm verwerkbaar door middel van bijvoorbeeld dieptrekken. Door de aanwezigheid van slechts dunne metalen toplagen en door de dikke kunststof tussenlaag is de lasbaarheid slecht. Er moeten dus andere verbindingstechnieken worden aangewend zoals mechanisch verbinden, lijmen of een combinatie hiervan: de hybride verbindingen **figuur 1**.

Sandwichmaterialen

Bij dunne sandwichmaterialen kan onderscheid gemaakt worden tussen lichte en stijve (**zie tabel 1**), en trilling- en geluiddempende sandwichmaterialen (**zie tabel 2**). Dit wil niet zeggen dat de lichte en stijve sandwichmaterialen geen geluid- of trillingdempende eigenschappen hebben. Integendeel, vergeleken met de normale volle materialen zijn de lichte en stijve sandwichmaterialen superieur op dit gebied. De geluid- en trillingdempende sandwichmaterialen (**zie figuur 1 rechts**) hebben slechts een heel dun-



1

Figuur 1. Links licht en stijf sandwichmateriaal, rechts trilling- en geluiddempend sandwichmateriaal.

ne kunststof tussenlaag en zijn hierdoor niet meer lichtgewicht. Daarnaast zijn de dunne sandwich materialen ook warmte-isulerend. Toepassingen zijn te vinden in onder andere bagagecontainers voor de luchtvaart, binnen- en buitenpanelen voor auto's, maar ook kantoorartikelen zoals luxe ordners en attachékoffers.

Als de mechanische eigenschappen zoals stijfheid per gewicht worden beschouwd, dan leveren de sandwichmaterialen goede prestaties. Voor een lichtgewicht constructie betekent dit immers gewichtbesparingspotentieel. Wordt er voor een *Hylite* paneel van 1,2 mm gekozen, in plaats van een aluminiumpaneel uit 1,06 mm dan is de gewichtsbeparing per vierkante meter bijna 1 kilogram bij een gelijke stijfheid. Als het onderdeel dicht bij een geluidsbron wordt toegepast hoeft er geen geluiddempend materiaal meer worden aangebracht. Door de functionaliteit van sandwichmaterialen op een slimme manier toe te passen kunnen deze materialen kostenefficiënt worden ingezet.

Verbindingstechnologie

Het grote verschil tussen de lichte en dunne sandwichmaterialen (**tabel 1**) enerzijds en de geluid- en trillingdempende variant (**tabel 2**) anderzijds op gebied van verbindingstechnologie is de lasbaarheid. De laatstgenoemde materialen zijn in het algemeen goed lasbaar en hebben weinig hinder van de dunne kunststof tussenlaag. De eerstgenoemde categorie is niet lasbaar door de dunne metalen toplaag en relatief dikke kunststof tussenlaag. Voor deze categorie materialen moet andere verbindingstechnologie gebruikt worden.

Mechanisch verbinden

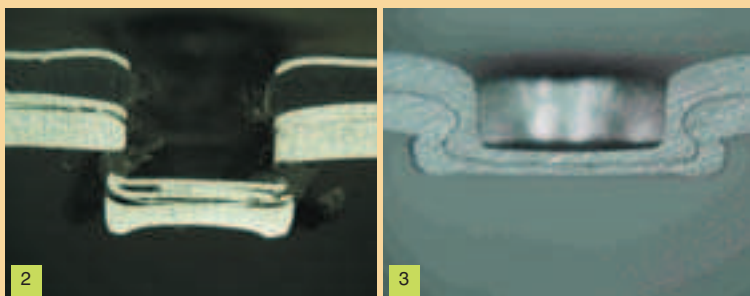
Mechanisch verbinden van dunne en lichte sandwichpanelen is voor diverse toepassingen onderzocht. Er is onder andere gekeken naar metalen snap-fit verbindingen (**figuur 5**), bouten en moeren, zelftappende schroeven, klinken (**figuur 2 en 3**), ponsnieten (**figuur 4**) en blindklinkmoeren.

Voor het toe te passen verbindingssysteem moet een afweging worden gemaakt tussen mechanische, productietechnische en logistieke eisen, ARBO en milieu en kostprijs. Vanuit het oogpunt van assemblage zijn de metalen snap fit verbindingen het meest efficiënt. De geometrie wordt tijdens de omvormende bewerking van het paneel gerealiseerd. Tijdens assemblage zijn er geen extra gereedschappen benodigd en is er geen speciale handling van de componenten vereist. **Tabel 3**

De sterkte van een mechanische verbinding komt tot stand door wrijving door de aangebrachte oppervlaktedruk tussen de twee materialen, de mechanische sterkte van de materialen zelf en mechanische verankering. De sterkte van een mechanische verbinding in sandwichmateriaal wordt beperkt door de dunne toplagen van metaal waaraan de sterkte lokaal moet worden ontleend. Een belasting van de verbinding kan al snel leiden tot lokale de-

Tabel 1: Dunne sandwich materialen ontwikkeld op lichtgewicht en stijfheid

Leverancier Merksnaam	Corus Hylite	Alusuisse Dibond	Krupp Thyssen Nirosta H400/H500	Aluminium 5754
Toplaagdikte (mm)	0,2, 0,24	0,3	0,6... 4,0	-
Toplaag materiaal (mm)	AA5182 (AlMg5Mn)	5005A (AlMg1)	H400 rvs	-
Tussenlaagdikte (mm)	0,8, 0,94, 1,6, 2,0	1,4, 2,4, 3,4, 5,4	0,15...0,3	-
Tussenlaag materiaal	Polypropeen (PP)	Polyetheen (LDPE)	Polypropeen	-
Totale dikte (mm)	1,2, 1,4, 2,0, 2,4	2,0, 3,0, 4,0, 6,0	0,9...2,1	1,06
Gewicht (kg/m ²)	1,8, 2,1, 2,54, 3,0	3,3, 4,1, 5,0, 12	3,2 (H400 1,4 mm)	2,9
Stijfheid ExI (Nmm)	7050... 38500	?	7600 (H400 1,4 mm)	7100
Stijfheid/gewicht Nmm m ² /kg	4000 (Hyl 1,2 mm)	?	2375	2450
Opmerking	Dieptrekbaar	Niet dieptrekbaar	Dieptrekbaar	Dieptrekbaar



Figuur 2. Rechthoekige Eckold klinkverbinding tussen Nirosta H400 1,4 mm sandwich (boven) en rvs 304 1 mm (onder).



Figuur 3. Ronde Eckold klinkverbinding tussen aluminium 5754 1 mm en aluminium 5754 1 mm.



Figuur 4. Ariel ponsnietverbinding 5 mm tussen Hylite 1,2 mm en aluminium 5754.

Figuur 5. Metalen snap-fit verbinding.

formatie van dunne toplagen. Dit gaat ten koste van de duurzaamheid van de verbinding. Daarnaast kan de voorspanning van de verbinding afnemen door kruip in de relatief dikke kunststof tussenlaag van de sandwich. Het is dus mogelijk dat de sterkte van de verbinding in de loop van de tijd afneemt. Voor een sterke duurzame verbinding moet dus gezocht worden naar een combinatie met andere verbindingstechnieken of uitsluitend andere.

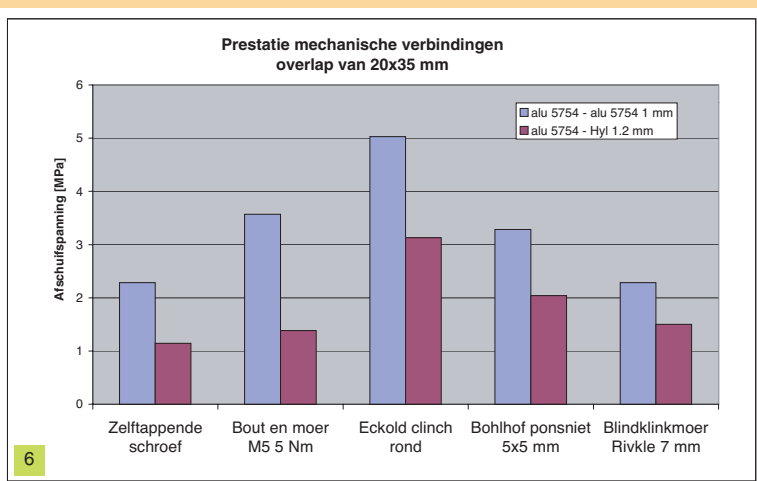
In **figuur 6** is te zien dat in alle gevallen de mechanische verbindingen in massief materiaal betere prestaties leveren dan dezelfde verbindingen in vol materiaal met sandwich materiaal.

Lijmen

Lijmen is een goed en bovendien kosteneffectief alternatief voor mechanisch verbinden. Het grote voordeel van lijmen voor het verbinden van een sandwichpaneel is de gelijkmatige verdeling van de kracht over een groot oppervlak. Dit is erg gunstig voor sandwichpanelen omdat de mechanische sterkte in grote mate wordt bepaald door de metalen toplagen. Lijmen biedt daarnaast de mogelijkheid om verschillende materialen met elkaar te verbinden.

Voor het lijmen van de sandwichmaterialen voor verschillende toepassingen is er onderscheid te maken tussen flexibele en structurele lijmen:

- flexibele lijm wordt gebruikt in situaties waarbij de lijm moet zorgen voor geluid- of trillingdemping, afdichting of het overbruggen van vervormingen als gevolg van bijvoorbeeld verschillen in uitzetting bij temperatuurverschillen. De mechanische sterkte van deze lijmen is van ondergeschikt belang.
- structurele lijm wordt gebruikt in situaties waarbij de lijm in hoofdzaak moet zorgen voor mechanische sterkte. Verschillende lijmen zijn getest op diverse sandwichmaterialen en gewone materialen (**figuur 7**). Het gebruik van structurele lijm voor het verbinden van normaal materiaal met sandwich materiaal levert een duidelijk lagere mechanische sterkte dan bij het toepassen van dezelfde lijm voor het onderling verbinden normaal materiaal. Dit is onder andere te wijten aan de geringe elasticiteit van de structurele lijmen. Onder belasting rekt sandwichmateri-



Figuur 6. Vergelijking van de prestatie van mechanische verbindingen

Tabel 2: Sandwichmaterialen voor geluid- en trillingdemping

Leverancier	Alusuisse	Trelleborg	Thyssen Krupp
Merknaam	Carbond, Silensal	Durulam, Viscolam	Bondal
Totaaldikte	0,6... 3	0,6... 2,5	0,64... 2,56
Materiaal	Aluminium 5181, 6182	DC04	DC04
Tussenlaag materiaal	Visco-elastisch	Rubber, visco-elastisch	Hars

verbinding (lijmen in combinatie met mechanisch verbinden) de volgende voordelen:

- positionering en fixatie door een mechanische verbinding tijdens het uitharden van de lijm; het product kan hierdoor worden getransporteerd of gehandeld
- verbeterde afpelsterkte
- gelijkmatige verdeling van de spanning in tegenstelling tot hoge lokale belasting bij mechanisch verbinden
- gas- en vloeistofdichte verbinding

Hybride verbindingen worden al veel in de auto-industrie toegepast. De bekendste is het combineren van lijmen met felsen bij deurpanelen, motorkappen etc. waar een flexibele lijm voor het felsen op het verbindingsvlak wordt aangebracht. De lijm zorgt voor een gas- en vloeistofdichte verbinding en heeft een aanzienlijk aandeel in de uiteindelijke stijfheid van het geassembleerde deel.

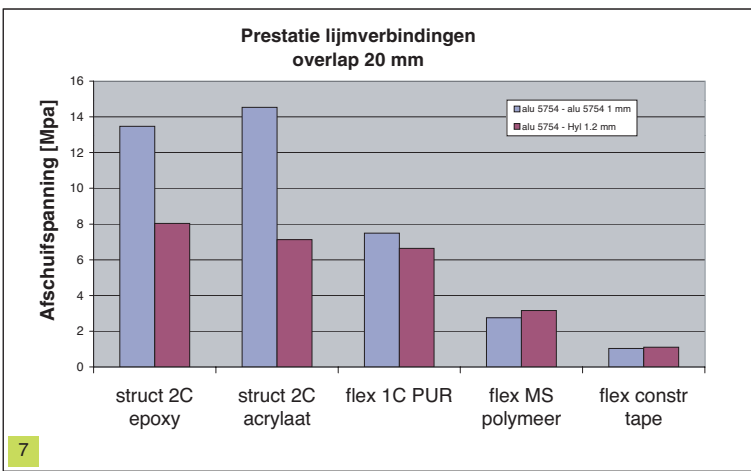
Bij een hybride verbinding wordt meestal gedacht aan het combineren van mechanisch verbinden of lassen met lijmen. Een andere interessante hybride verbinding voor sandwiches is het combineren van snel uithardende lijmen met langzaam uithardende lijmen. De snel uithardende lijm zorgt hierbij voor een tijdelijke fixatie van de componenten.

De combinatie van het klinken met viskeuze lijmen gaat enigszins ten koste van de sterkte van de mechanische verbinding. De viskeuze lijm laag is namelijk moeilijk samendrukbaar waardoor de mechanische verankering in het materiaal minder is. Dit kan worden gezien in de **figuren 8, 9, 10 en 11**. In deze figuren wordt links de dwarsdoorsnede van de klinkverbinding zonder en rechts met viskeuze polyurethaanlijm weergegeven. De kwaliteit van de mechanische verankering is weergegeven door de breedte; hoe breder de afstand, des te beter de mechanische verankering. De mechanische verankering van de klinkverbinding zorgt in geval van combinatie met lijmen voor voldoende fixatie tijdens handling van de componenten terwijl de lijm nog niet is uitgehard.

Voor erg vloeibare lijmen en lijmen die in een dunne laagdikte worden aangebracht is de mechanische verankering vergelijkbaar met de klinkverbinding zonder lijm.

Als de hybride verbinding op koptrek wordt belast, dat wil zeggen loodrecht op de plaatrichting, dan zal de lijm aanwezig in het verticale gedeelte van de klinkverbinding een positieve bijdrage aan de koptreksterkte geven; de lijm wordt hier dan lokaal op afschuiving belast.

De bekeken hybride verbindingen en lijmverbindingen, toegepast op metaal-sandwichcombinaties, geven een beter resultaat dan het zuiver mechanisch verbinden. Dit in tegenstelling tot de metaal op metaal verbindingen waar de klinkverbinding beter presteert op afschuiving



Figuur 7. Afschuifspanningen lijmverbindingen.

aal beduidend meer dan normaal materiaal. Deze rek moet door de lijmverbinding worden opgevangen. Voor de flexibele lijmen met lage sterkte is dit geen probleem, in tegenstelling tot de sterkere maar minder flexibele structurele lijmen.

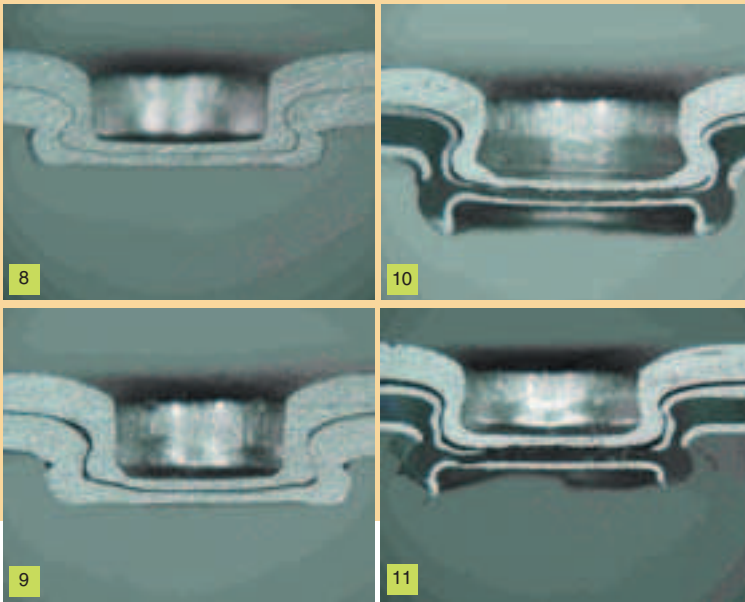
Op zich zijn de prestaties van de lijmverbindingen goed. Een nadeel blijft echter de uithardingstijd en de mindere weerstand tegen afpelbelasting.

Hybride verbinding

In een hybride verbinding worden twee verbindingsmethoden gecombineerd. Hierdoor kunnen de specifieke voordelen van twee verbindingstypen worden benut. Voor sandwichmaterialen heeft het toepassen van een hybride

Tabel 3: Eisen bij mechanisch verbinden

	Metalen snapfit verbinding	Zelftappende schroeven	Bouten en moeren	Klinken	Ponsnieten	Blindklinkmoer
Vorbewerking	Ja, gaten of doordrukkingen in beide delen	Nee	Gat in beide delen	Nee	Nee	Gat in beide delen
Vereiste bereikbaarheid	Enkelzijdig	Enkelzijdig	Tweezijdig	Tweezijdig	Tweezijdig	Enkelzijdig
Speciale gereedschappen	Nee onderdelen in elkaar te schuiven en te klikken	ja gereedschap is universeel	ja gereedschap is universeel	ja per materiaal-combinatie verschillende inzetstukken	ja per materiaal-combinatie-verschillende inzetstukken	ja gereedschap is universeel



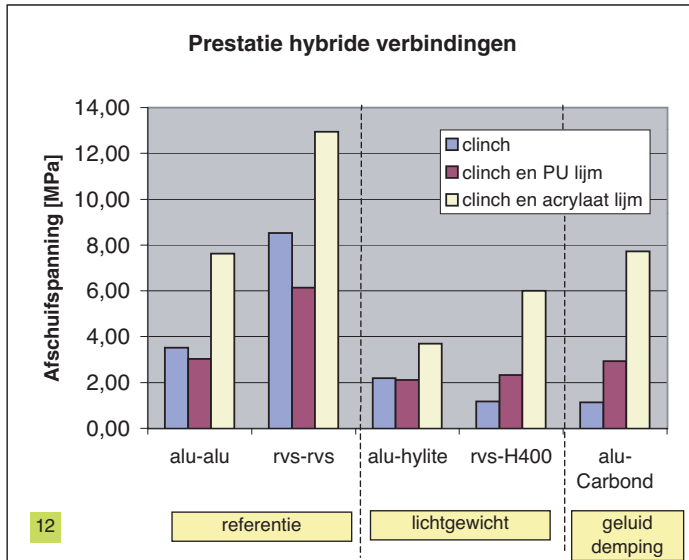
Figuur 8. Eckold ronde klink in alu 5754 1 mm met alu 5754 1 mm.

Figuur 9. Eckold ronde klink en PUR-lijm in alu 5754 1 mm met alu 5754 1 mm; dikte lijmlaag 0,2 mm.

Figuur 10. Eckold ronde klink in alu 5754 1 mm met Hylite 1,2 mm soft skin.

Figuur 11. Eckold ronde klink en PUR-lijm in alu 5754 1 mm met Hylite 1,2 mm soft skin; dikte lijmlaag 0,2 mm.

dan de hybride combinatie klinken met polyurethaanlijm. De betere prestatie van de hybride verbindingen bij sandwichmaterialen is net als bij zuiver lijmen toe te schrijven aan de gelijkmatige verdeling van de kracht over een relatief groot oppervlak. **Figuur 12**



Figuur 12: Vergelijk prestatie hybride verbindingen

Conclusies

Er kan een duidelijk onderscheid worden gemaakt in toepassingsgebied tussen dunne stijve sandwiches bedoeld voor lichtgewichtconstructies en de geluiddempende sandwiches. De dunne en stijve sandwichmaterialen bieden een groot gewichtsbesparingpotentieel in lichtgewicht constructies. Deze materialen kunnen ook slim worden ingezet daar waar, naast de hoofdfunctie lichtgewicht, geluid- en trillingdemping en of de warmte-isolerende eigenschappen benodigd zijn. In het algemeen zijn deze materialen niet lasbaar.

Lijmen en lijmen in combinatie met mechanisch verbinden (hybride verbindingen) zijn geschikte verbindingsmethoden voor de hiervoor beschreven sandwichmaterialen. De goede prestatie van de hybride verbindingen bij sandwichmaterialen is net als bij zuiver lijmen toe te schrijven aan de gelijkmatige verdeling van de kracht over een relatief groot oppervlak. De hybride verbindingen worden vooral daar ingezet waar afpelbelastingen of de uithardingstijd van de lijm als nadelig worden ervaren.

Dit artikel is tot stand gekomen vanuit de resultaten van het lopende Europese 5e kader project Apoliss 'Application of Light Sandwich Sheets'. Het doel van dit project is gewichtsvermindering van een auto door toepassing van sandwichmaterialen. TNO Industrie is een partner in dit project en is verantwoordelijk voor het onderzoek met betrekking tot het verbinden en omvormen van de sandwichmaterialen in relatie tot massaproductie. Contactpersoon: Paul Veltmans (040-2650476)

Kunststoffen en de auto-industrie

De auto-industrie is een belangrijke sector voor de kunststofindustrie. Bestonden auto's vroeger uit metaal en metaallegeringen, nu wordt steeds meer kunststof gebruikt. De auto-industrie fungeert als motor voor innovatie in de kunststofindustrie. Ontwikkelingen en noviteiten die door de grootschalige R&D programma's in de auto-industrie gegeneerd worden, vinden later veelal toepassing in andere industriële sectoren. Hiernaast leest u over trends en ontwikkelingen, hieronder over concrete toepassingen.

Enkele marktgegevens

Het *Automotive Plastics Report 2003*, samengesteld door **Market Search Inc.**, voorspelt dat de hoeveelheid kunststof die in Amerikaanse personen- en vrachtauto's wordt verwerkt de komende tien jaar zal toenemen van 1,93 miljoen ton (2003) tot 2,48 miljoen ton. De grootste groei wordt verwacht voor polycarbonaat, acrylaat (ruiten) en ionomeren (coatings). In het exterieur van auto's worden steeds meer kunststoffen toegepast. In de VS verwacht men een groei van 3% per jaar, tot een totaal van 0,64 miljoen ton in 2006,

Remonderdeel

TRW (Birmingham, VK) ontwerpt en produceert remonderdelen voor meer dan 40 autofabrikanten en in totaal ruim 180 verschillende automodelen. Een belangrijke component in remsystemen is de klep die de luchtstroom in de servo-eenheid regelt. De klep is een cilindrisch onderdeel



Remonderdeel. Prototype uit RenShape SL 7560 fotopolymeer.

met een ingewikkelde inwendige geometrie die de beweging van de klep en de luchtstroom regelt. Technici van TRW hebben nieuwe en beter werkende kleppen ontworpen en er functionele prototypen van gemaakt. Na analyse van de eisen werd besloten de prototypen met behulp van stereolithografie te maken van *RenShape SL 7560*, het op ABS lijkende stereolithografische fotopolymeer van **Vantico**. De modellen en prototypen hebben een hoogglanzend, glad oppervlak en zijn getest bij temperaturen tot 60°C. Het uiteindelijke product wordt gespuitsgiet uit 36% glasgevuuld polyester.

Koplampbehuizing

Polytec Gruppo (Mondovi, Italië) verlijmt de steunen voor de koplampbehuizing van de Fiat Multipla aan de carrosserie met *Araldite 4910 A/B* van **Huntsman**. De steun van de koplampbehuizing is 170 cm lang.



Koplampbehuizing van de Fiat Multipla, verlijmd met Araldite lijm.

Het gaat bij deze toepassing om het verlijmen van BMC/BMC. Het gebruikte Araldite is een snel hardende tweecomponenten PUR-lijm die bij kamertemperatuur uithardt. De lijm is thixotrop en kan worden aangebracht op de verticale wanden van de behuizing. De verlijmden onderdelen waren bestand tegen temperaturen van wel 90°C tijdens het persproces.

Kleppendecksels en luchtinlaat

Het inlaatspruitstuk en de kleppendecksels van de Porsche Cayenne (model 2003) zijn gemaakt van *Zytel* polyamide van **DuPont**. De onderdelen besparen ruimte en gewicht onder de motorkap van deze eerste



SUV van Porsche, die een compacte 8 cilinder V-8 motor heeft met een vermogen van 450 pk. Het inlaatspruitstuk is gemaakt van een met 30% glasvezels versterkt type *Zytel*, dat bestand is tegen hydrolyse en hete olie. Het onderdeel is in vier delen geproduceerd

die aan elkaar zijn gelast. Voor de kleppendecksels is een met 35% glasvezel versterkt *Zytel* gebruikt, dat stijf is en bestand tegen hoge temperaturen en agressieve vloeistoffen. Versterkingsribben aan de binnenkant zorgen voor langdurige vormvastheid en trillingdemping.

Inkleuren

Een door **CPS Color** ontwikkeld kleursysteem maakt het inkleuren van kunststoffen en kunstleer voor auto's efficiënter en goedkoper. Van oudsher is het inkleuren van kunststof en kunstleer arbeidsintensief en moeilijk te sturen. Bij elke batch moet de kleur worden aangepast en gecontroleerd tot de juiste tint is bereikt.

Twee systemen van **CPS Color**, *Auricolor* voor kunststoffen en *Maestro* voor leer, zijn gebaseerd op standaard kunststoffen en op apparatuur die verfwinkels gebruiken om verf precies de kleur te geven die

De kleppendecksels links en rechts van de luchtinlaat en de luchtinlaat zelf zijn vervaardigd van glasvezel-versterkt Nylon.

aldus **Business Communications Company (BCC)**. Hier van komt 0,326 miljoen ton voor rekening van de groep vezelversterkte materialen. Het gebruik van composieten zal met 2,5% per jaar stijgen tot 0,370 miljoen ton in 2007. De thermoharders als geheel waren verantwoordelijk voor 62% van het totale volume in 2002, en zullen waarschijnlijk gedurende de komende vijf jaar de meest gebruikte kunststoffen voor uitwendige auto-onderdelen blijven.

Frost & Sullivan meldt dat TPO's een duidelijke groei-markt zijn binnen de auto-industrie. Het gebruik van TPO's is de afgelopen tien jaar met 10% per jaar gestegen. In bumpers, strips, drempels en chassis worden RIM PUR, PVC en TPE steeds meer vervangen door TPO, een trend die voorlopig zal doorzetten. Het materiaal leent zich voor steeds meer toepassingen, waardoor verwacht mag worden dat het gebruik van dit materiaal zal blijven stijgen.

James Margolis van **Margolis Polymers** voorspelt een mondiale groei van 12% per jaar tot 2010 voor het totale gebruik van kunststoffen in de auto-industrie. Het gebruik van technische kunststoffen onder de motorkap zal toenemen, net als het toepassen van in-mould technieken voor decoratieve effecten. Hij verwacht de meeste groei te zien in Azië.

Te verwachten is in ieder geval een groei in het gebruik

van kunststofbrandstoftanks in Azië. Terwijl 90% van alle Europese auto's en 70% van de Amerikaanse auto's kunststof brandstoftanks hebben, hebben slechts 10-15% van de in Azië geproduceerde auto's dergelijke tanks. Kunststof brandstoftanks worden geproduceerd door co-extrusie van HDPE en EVOH, en leveren een duidelijke gewichtsbesparing op. Wellicht is deze factor bij de relatief lichte Aziatische auto's van minder groot belang, maar het streven naar lichtere auto's, lager brandstofgebruik en lagere milieubelasting kan in de toekomst betekenen dat een kunststof tank de voorkeur geniet boven een stalen tank. Wanneer de Aziatische autofabrikanten besluiten over te gaan op kunststof tanks zal dit een enorm impuls geven aan het gebruik van kunststof in de auto-industrie.

Voordelen van kunststof

Het toenemende gebruik van kunststof draagt ertoe bij dat auto's gemiddeld minder zwaar worden. Onderdelen zoals airbags, airco, turbo en elektronica zorgen ervoor dat het gemiddelde gewicht van auto's wel degelijk toeneemt.

Dat neemt niet weg dat een kunststof onderdeel gemiddeld de helft weegt van een stalen onderdeel. Lichtere auto's produceren minder schadelijke uitlaatgassen en



CPS Color: het Auricolor systeem omvat kleurstoffen, doseerapparatuur, kwaliteitscontrole en technische ondersteuning.

de klant wil. Het systeem van CPS Color is geschikt voor kleine hoeveelheden.

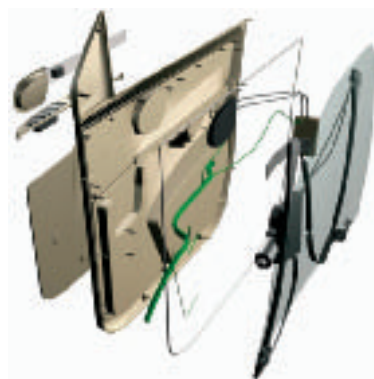
Maestro is een kleursysteem op waterbasis en bevat geen vluchtige organische stoffen, alkylfenoethoxy-laet of glycol. Auricolor werkt met standaard kleurstoffen op basis van een ftalaatweekmaker. Een ftalaatvrij alternatief is in ontwikkeling.

Composiet

Owens Corning Automotive ontwikkelde een geïntegreerd luidsprekerpaneel uit composietmateriaal dat het op den duur mogelijk moet maken om in auto's *Distributed Mode Loudspeakers* in te bouwen. Het luidsprekerpaneel biedt een aantal voor-

delen voor OEM's, zoals lagere systeemkosten, ruimte- en gewichtsbesparing en veel vormgevingsvrijheid. Sinds eind jaren negentig is DML voor auto's beschikbaar, maar tot nu toe was het commercieel nog niet aantrekkelijk. Dat kwam doordat het luidsprekerpaneel zowel goede akoestische als constructieve eigenschappen moest hebben. De luidsprekers zijn veel platter dan conventionele conische luidsprekers en kunnen geluid met hoge en middenfrequenties weergeven.

De Porsche Cayenne heeft een front-end module uit *StaMax P* composiet van **Owens Corning**. *Stamax P* is een met lange glasvezels versterkt PP. De front-end module van de Cayenne is een mijlpaal voor zowel de auto- als de composietindustrie, aldus Owens Corning. OEM's waren tot nu toe terughoudend bij het gebruik van composieten voor dragende onderdelen van zware voertuigen zoals



Geïntegreerd luidsprekerpaneel uit composietmateriaal.

SUV's. In de Cayenne vervangt de *StaMax P* module een groot aantal metalen onderdelen. Het onderdeel vormt de drager voor de bumper, claxon, koplampen, radiator, ventilator en condensator.

VersaMat 1000 van **Owens Corning** is een isolatiemateriaal dat wordt aangebracht in deuren, dashboards, dak en vloeren en onder de motor-kap. De samenstelling en het soortelijk gewicht van de uiteindelijke mat kunnen aangepast worden aan de eisen van de afnemer. Tijdens het vormgevingsproces vormt het thermische en akoestische isolatiemateriaal een semi-structureel systeem dat zijn eigen gewicht kan dragen, samen met elektronica en leidingen. *VersaMat* kan worden gevormd tot complexe vormen met dikke en dunne delen.

Ferrari

Het Risi Competizione Ferrari race-team in Houston moest na elke wedstrijd alle bussen in de ophanging van zijn drie Ferrari 360GT's vervan-



Deurmodule met VersaMat isolatiemateriaal.



StaMax P frontmodule.

► gebruiken minder brandstof, waardoor de belasting voor het milieu afneemt. Daarnaast worden door de toepassing van kunststof innovatieve concepten mogelijk die met metaal ondenkbaar zijn. Dit geldt zowel voor het ontwerp als voor de productie. Modulair bouwen tegen lagere productiekosten en meer aërodynamische lijnen zijn door het gebruik van kunststof binnen bereik gekomen.

Bumpersystemen

Kunststof bumpersystemen bieden het voordeel dat zij in één keer gespuitsgiet kunnen worden. Door tijdens de ontwerpfase dikkere wanden en versterkingsribben in te bouwen, kan in geval van een botsing dezelfde mate van veiligheid worden bereikt als met een bumpersysteem uit gelast staal. Hierdoor kunnen in sommige gevallen meer dan tien onderdelen geëlimineerd worden. Vergeleken met metalen onderdelen zijn gewichtsbesparingen, een kortere productietijd en lagere kosten te behalen doordat de assemblage eenvoudiger is. Schroeven, klinken en lassen zijn overbodig. Bumpersystemen zijn meestal vervaardigd uit PP, ABS, PC en TPO's.

Panelen

Kunststof carrosseriepanelen en deuren vertonen minder deuken bij kleine botsingen en zijn minder gevoelig voor

beschadiging dan metalen delen. Het meest gebruikte materiaal voor panelen is tot nu toe SMC (Sheet Molding Compound). SMC bestaat uit polyesterhars en glasvezels en wordt geleverd in de vorm van vrij dunne plaat. De plaat wordt in een verwarmde matrijs geplaatst, door de warmte wordt de compound zacht en vloeit in de vormholte. Na uitharding wordt het onderdeel uit de matrijs gelost. Ook hier is gewichtsbesparing haalbaar ten opzichte van staal en is de oppervlaktekwaliteit net zo goed. SMC wordt ook toegepast in bumpers.

Reaction Injection Moulding (RIM), waarbij polyurethaan in de matrijs gespoten wordt, is een andere productietechniek voor carrosseriedelen. Ook bij deze techniek worden glasvezels toegevoegd om extra sterkte en stijfheid van de thermoharder te waarborgen. RIM is vaak lichter dan SMC (afhankelijk van het percentage glasvezel), en is iets minder stijf.

Thermoplastische materialen (waaronder composieten) bieden dezelfde voordelen als SMC en RIM met betrekking tot gewicht en assemblage. Daarnaast kunnen panelen uit dit materiaal vaak meteen in de juiste kleur worden gespuitsgiet, waardoor verdere afwerking overbodig is. Vanzelfsprekend verlaagt dit de productiekosten.

gen. Dit werd zo vervelend, dat men op zoek ging naar vervanging. Tijdens een race staan de acht boven- en acht onderbussen in de ophanging van de auto's bloot aan zeer zware spanning. Als de bussen uitslijten kunnen onderdelen van de ophanging zijwaarts bewegen, wat leidt tot extra slijtage van de banden, verminderde stabiliteit in de bochten en bij het remmen en in een slechtere wegligging. Vooral bij 24-uursraces traden deze verschijnselen op. Voor de 24-uurs race van Daytona werden de metalen bussen vervangen door bussen uit *Torlon 4435*, een polyamide-imide van Solvay. Na de wedstrijd was er geen slijtage waarneembaar en konden ze blijven zitten voor de races in Sebring, Daytona en Le Mans. *Torlon PAI* is slijtvast en bestand tegen temperaturen tot 260°C. Het heeft een uitzettingscoëfficiënt die vergelijkbaar is met die van metaal.

Inlaat

Het **LSX** inlaatspruitstuk is een composiet inlaat voor de vervangingsmarkt. Het onderdeel is gemaakt van *Amodel A-6135 HSL PPA* (polyftalamide) van Solvay. Dit materiaal zou betere eigenschappen hebben dan polyamide en lichter zijn dan aluminium. De LSX kan de standaard luchtinlaat vervangen van de 8-cilinder LSI en LS6 motoren in de Chevrolet Corvette, Camaro en de Pontiac Firebird. Geschat wordt dat de LSX 20 PK toevoegt aan de 360 PK die de motoren al hebben. Nog meer PK's komen vrij

als de inlaatklep wordt geoptimaliseerd, turbo- of superchargers ingebouwd en speciale brandstof tankt. Uiteindelijk zou zelfs een vermogen van 600 PK haalbaar zijn. Het PPA heeft bij hoge temperaturen en luchtvochtigheid een treksterkte die 20% groter is dan die van PA 6 en PA 6/6. Normaal gesproken is de luchtdruk in de inlaat lager dan die van de atmosfeer, maar een turbo- of supercharger voeren de druk op tot 1,5 of 2 atmosfeer. In dat geval is de extra sterkte belangrijk. De buigsterkte is minstens 20% groter dan die van PA 6 of 6/6. Voordelen van de PPA inlaat vergeleken met aluminium zijn het gewicht (5 kg versus 13 kg) en de warmtegeleiding. Aluminium neemt warmte op van de motor en verwarmt de ingelaten lucht. Amodel werkt als een isolator en laat koudere lucht binnen, waardoor het vermogen toeneemt.



Vervanging van de standaard luchtinlaat kan het vermogen van sportieve auto's aanzienlijk opvoeren. Materiaal: *Amodel A-6135 HSL polyftalamide* van Solvay.

Sensor koelvloeistof

Een sensor van Entratech Systems (Sandusky, Ohio, VS) geeft aan wanneer zich te weinig koelvloeistof bevindt in de radiators van vrachtauto's en terreinwagens. De behuizing van de sensor is gepuuts giet uit *Amodel AS-1933 HS PPA* van Solvay. Meestal zit zo'n sensor in de expansietank van een koelsysteem, maar doordat het PPA bestand is tegen hoge temperaturen kan de sensor direct in



Sensor voor koelvloeistof. Materiaal: *Amodel AS-1933 HS polyftalamide* van Solvay.

de radiator worden geplaatst. Het PPA is bestand tegen koelvloeistof en tegen temperaturen tot 135°C. Het is vormvast na langdurige blootstelling aan conventioneel glycol of moderne koelvloeistoffen.

Lampen

Het zou best eens kunnen zijn dat gloeilampen hun langste tijd hebben gehad in auto's. Volgens Bayer

Verlichting

In koplampen en achterlichten is glas bijna geheel vervangen door polycarbonaat. PC is bestand tegen hoge temperaturen en versplintert minder snel dan glas. Ontwerpers maken graag gebruik van de grotere vormgevingsvrijheid die kunststof biedt met betrekking tot de vorm en plaats van de koplampen. Het gebruik van LED's in remlichten is standaard geworden, inmiddels zijn ook LED-koplampen ontwikkeld. Witte LED's als lichtbron in dagrijlichten kunnen een besparing van 50-70% in het stroomgebruik opleveren. Er wordt gewerkt aan front-, signaal- en binnenverlichting op basis van LED's. Het gebruik van optische vezels maakt het mogelijk om nog lichtere kunststoffen in verlichtingssystemen toe te passen. De meest voorkomende kunststoffen die in verlichtingssystemen van auto's voorkomen zijn PP, PC, ABS, PMMA en thermoplastisch polyester.

Afwerking

Ook de spiegelbehuizing, voorgril, portiergrepen, zijstrips, spoilers en wieldeksels zijn veelal van kunststof gemaakt. Het gebruik van kunststof in deze toepassingen betekent gewichtsbesparing en maakt afwerking in veel gevallen overbodig. Hierdoor kunnen aanzienlijke besparingen op de productiekosten worden gerealiseerd. ABS,

PA, PBT, ASA en PP zijn de meest gebruikte materialen voor dit soort toepassingen.

Interieur

Polyurethaanschuim wordt veel gebruikt in de interieur. Zittingen, armsteunen, hoofdsteunen en beklede dashboardpanelen worden veelal uit dit materiaal vervaardigd. Ook het tapijt heeft vaak een rug van PUR-schuim. Dit materiaal werkt geluiddempend en draagt daardoor bij aan het comfort. Het PUR-schuim is vaak bekleed met PVC. In opkomst is het gebruik van TPO's vanwege de iets luxere uitstraling van deze materialen. Geïntegreerde dashboards uit één deel met in-de-matrijs aangebrachte kleur hebben grotendeels de meer traditionele systemen vervangen, die bestonden uit verschillende componenten die aan een stalen balk waren gelast. ABS, PC, ABS/PC, PP, PPE en SMA zijn de meest voorkomende materialen in deze toepassingen. In duurdere automodellen hebben airbagsystemen een afdekkap van TPE-E. Ook worden kunststof componenten, bijvoorbeeld uit acetaal, verwerkt in stuurkolommen, omdat deze niet interfereren met de magnetische systemen die daarin toegepast worden.

...en nog veel meer

Dynamo's, draadspoelen, ontstekingscomponenten en

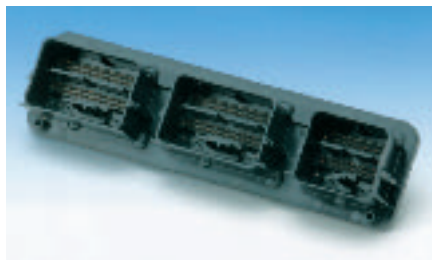
kan de lamp vervangen worden door elektroluminescente folie. Het basismateriaal van de EL-folie is *Bayfol* waarop twee lagen elektrisch geleidend *Baytron P* worden gedrukt. Als de twee elektroden onder stroom worden gezet, beginnen in een tussenlaag kristallen op te lichten.



Een lichtgevende kunststoffolie die elke gewenste vorm kan krijgen, zou op termijn wel eens gloeilampen in auto's kunnen vervangen.

Steker

Een steker met 190 pennen die zich onder de motorkap bevindt, is gespuïtgiet uit *Amodel AS-4133 HS* PPA van **Solvay**. Het is een temperatuurgestabiliseerd, glasvezelversterkt materiaal dat sterk en stijf is over een breed temperatuurgebied. De steker maakt deel uit van een regel-



Steker met 190 pennen uit PPA.

eenheid die zorgt voor een efficiënt brandstofgebruik.

Mercedes SLR McLaren

De Mercedes SLR McLaren werd in juli 2003 voor het eerst getoond op de IAA 2003 beurs. Na een 800 kilometer lange rit van Brescia naar Frankfurt reed Formule 1 coureur Kimi Räikkönen de sportwagen het beurscomplex op. Bij de start in Brescia werd Räikkönen begeleid door Stirling Moss in de legendari-

Mercedes SLR McLaren met koolstofcomposiet kreukelzone.



sche SLR sportwagen uit 1955. Met deze 'Silver Arrow' ging Moss op 1 mei 1955 in Brescia van start in de Mille Miglia, die hij won in de recordtijd van 10 uur, 7 minuten en 48 seconden. De SLR McLaren is een racewagen voor de openbare weg. Er zijn elementen van de SLR uit 1955, van moderne Mercedes modellen en van de Silver Arrow

in verwerkt.

Voor Mercedes-Benz is dit het eerste model met een koolstofcomposiet kreukelzone. Dit onderdeel bestaat uit twee 625 mm lange en 3,4 kg zware ovale taps toelopen buizen. Een vergelijkbaar stalen onderdeel zou 50% zwaarder zijn en een aluminium versie 30% bij gelijke sterkte. In geval van een botsing schuiven de composiet elementen van achter naar voren in elkaar, waarbij ze de botsenergie met constante vertraging absorberen.

Dodge Viper

In de Dodge Viper SRT-10 Carbon en de Dodge SRT-4 Extreme is op grote schaal composietmateriaal verwerkt. De Carbon is gebouwd met in het achterhoofd de gedachte 'meer van alles - behalve gewicht'. Hij weegt ongeveer 75 kg minder dan de productie Viper SRT-10, dankzij

► accu's hebben veelal een kunststof behuizing. Vaak is dit PP, polyester, PS of PA, al dan niet glasvezelversterkt. Magneten, geproduceerd uit een kunststof waaraan magnetische deeltjes zijn toegevoegd, kunnen tegenwoordig metalen magneten vervangen in elektrische motoren. Schakelaars, elektronische en andere, worden bijvoorbeeld in versnellingsbakken toegepast. Deze moeten bestand zijn tegen hoge temperaturen en motorolie. Polyamide, polyester en acetaal zijn hiervoor geschikt. Koppelstukken voor elektrische injectie worden van PBT of herverwerkte PET geproduceerd. Fluorelastomeren vinden toepassing in brandstofsysteemen (leidingen, afdichtingen). Transmissieonderdelen uit één stuk van glasvezelversterkte fenolhars, die diverse metalen onderdelen vervangen, zijn ontwikkeld die het assembleren vereenvoudigen. Polyetherimide is een ander veel gebruikte materiaal in de transmissie vanwege de bestandheid tegen hoge temperaturen en kruip. Lagers, kleppen, sensoren, kabels, slangen, allerlei behuizingen, schroefassen, vliegwielen en bedieningspedalen worden tegenwoordig uit diverse soorten kunststof geproduceerd. Deurpanelen worden gevuld met absorberend PS- of PUR-schuim, dat niet alleen helpt schokken te absorberen maar ook de stijfheid van de autoconstructie bevordert. Sinds kort worden composieten ingezet om sterke en lichte chassis te ont-

wikkelen die de strengste botsproeven doorstaan. De behuizingen van ABS remsystemen, de elektronische printplaatjes die de remmen regelen en de remschoenen worden van kunststof gemaakt; voor deze laatste wordt tegenwoordig aramidevezel gebruikt in plaats van het vroegere asbest.

De winst

Kunststoffen verlengen de levensduur van de auto en vergemakkelijken de productie. Ze zorgen ervoor dat er minder brandstof wordt gebruikt doordat kunststoffen minder wegen dan staal en veel andere metalen.

Op dit moment wordt gemiddeld 75% (naar gewicht) van een auto herverwerkt. Het gaat dan echter vooral om de metalen onderdelen.

Kunststof afval dat afkomstig is van auto's is niet eenvoudig te herverwerken. Het is divers van samenstelling en verontreinigd. Voor grote onderdelen uit één soort kunststof – zoals bumpers – is herverwerking wellicht mogelijk. De vele kleine onderdelen die verwerkt zijn onder de motorkap of deel uitmaken allerlei systemen geven meer problemen. **kg**



Dodge Viper met grote onderdelen uit composietmateriaal.

een koolstofvezelversterkte motorcap en kofferdekseel en lichtgewicht aluminium wielen. De Extreme is dankzij het groot-schalige gebruik van koolstofvezelcomposiet 250

kg lichter dan de productie SRT-4. De Dodge Viper SRT-10 Carbon weegt 1465 kg en heeft een 8,3 liter V10 motor.

Auto-onderdelen uit China

Yangzhou Automotive Plastics Parts is de grootste producent van brandstoftanks, vulleidingen en ventilatieleidingen in China. Het bedrijf heeft een marktaandeel van meer dan 50 procent. Vorig jaar nam YAPP twee nieuwe blaasmachines voor kunststof brandstoftanks en een 3D-systeem voor vulleidingen van SIG Kautex in bedrijf.

De KBS2-61 is een 3D blaasvormmachine voor de fabricage van zes-



Vulleiding brandstoftank, geblaasvormd op een SIG Kautex KBS2-61.

lagen coëxtrusie van gebogen buizen. De machine is voorzien van een zesassige robot voor het inleggen van de geëxtrudeerde slang in de vormholte. De capaciteit is 65 vulleidingen per uur voor de

Shanghai Volkswagen Polo. De twee KBS2-241 blaasvormmachines gaan 30 tot 40 brandstoftanks per uur voor verschillende autotypen blaasvormen.

YAPP produceerde van januari tot juni 2003 zo'n 391.000 kunststof brandstoftanks, dat is 58% meer dan in dezelfde periode van 2002. Doelstelling voor 2003 is 840.000 tanks en 1,5 miljoen vulleidingen en ventilatieleidingen. Let wel: China telt 8-9 auto's per 1000 inwoners, terwijl het gemiddelde over de hele wereld gerekend 90 is. YAPP verwacht dat de auto-industrie de komende vijfjaar met tientallen procenten zal groeien.

Deurhandels

Diverse BMW modellen zijn voorzien van deurhandels die zijn ontwikkeld en geproduceerd door **Wilden** (Duitsland), inclusief prototypebouw, ma-



trijsonwerp, assemblage, kwaliteitscontrole en logistiek. De handel bestaat uit diverse onderdelen, waarvan de hefboom bijzonder is: deze is namelijk gespuitsgiet uit mineraalgevuuld PA 6 en verchromd. Vanwege het verchromen werden aan de verwerking van het PA 6 hoge eisen gesteld: het moest voldoende voorgedroogd zijn, een spanningsvrij en homogeen oppervlak hebben en geen luchtbelletjes bevatten.

Lantaarnpalen

Botsingen met straatlantaarns kosten elk jaar honderden levens in Europa. De Europese commissie heeft onlangs richtlijn EN12767 geïntroduceerd, die stelt dat vanaf 2004 straatmeubilair zoals verlichting *passief* veilig moet zijn. Dit houdt in dat ze bij een botsing om moeten vallen om zo het gevaar van verwonding en dood te verminderen.

In het kader van een Europees onderzoeksproject is een composiet lantaarnpaal ontwikkeld die sterker is en langer meegaat dan een stalen

Kunststof deurhandel.
Linksboven: PA 6 hefboom voor en na galvaniseren, links de afzonderlijke componenten, rechts de complete assemblage.



paal, maar die in geval van een botsing alle energie opneemt. In dat geval scharmiert de paal op de plaats van het luikje dat ook voor onderhoudswerkzaamheden bestemd is.

Gordelsnijder

Bij een ongeluk kunnen mensen zo in paniek raken, dat ze de autogordel nauwelijks loskrijgen. Technisch ontwerp bureau Pezy Development en uitvinders Van der Meer ontwierpen



In geval van nood kan de gordelsnijder een autogordel in één beweging doorsnijden.

en construeerden een gordelsnijder die in één beweging de gordel kan doorsnijden, en die bedoeld is voor situaties waarin de reguliere gordelsluiting niet goed functioneert of niet meer bereikbaar is.

De gordelsnijder wordt met klittenband op een vaste plek in de auto bevestigd. Aanvankelijk was het idee om de gordelsnijder standaard op de gordel te bevestigen. Dit is echter niet toegestaan. De gordelsnijder moest ergens los van de gordel be-

vestigd worden, maar in geval van nood wel snel en gemakkelijk toegepast kunnen worden. Eén van de problemen die hierdoor ontstond, was dat de gordel niet strak zou blijven staan bij het doorsnijden. Hiervoor is een oplossing gevonden door de gordelsnijder een stukje over de gordel te laten schuiven, zodat een ronde snijbeweging wordt gemaakt. Univé Verzekeringen is betrokken in het project en heeft de gordelsnijder recent op de markt gebracht. **kk**

Informatie:

Bayer Mijdrecht; www.bayer.com
CPS Color, Sittard; www.cpscolor.com
Engineering Polymers Du Pont (U.K.) Limited; www.dupont.com
Huntsmans Advanced Materials, Engeland; colin_loader@huntsman.com
Owens-Corning, VS; www.owenscorning.com/automotive
Pezy Development; www.pezydevelopment.nl
SIG Kautex, Duitsland; www.sigkautex.de
Solvay Advanced Polymers, VS; www.solvayadvancedpolymers.com
Vantico, Engeland; renshape.europe@vantico.com
Wilden AG, Duitsland; www.wilden.de

geveke kunststoftechniek

Machines en randapparatuur

Netstal	- Spuitgietmachines
Motan	- Granulaatlogistiek
Pallmann	- Maalsystemen
Tool-Temp	- Temperereapparaten
Thermotec	- Koelmachines
S+S	- Metaaldetectoren
Wanner	- Maalmolens
American MSI	- Hotrunnerregelingen
Smartflow	- Koelwaterbatterijen

Postbus 820
1000 AV Amsterdam
Tel. 020 - 582 2540
Fax 020 - 582 2492
www.geveke-kunststoftechniek.nl
info@geveke-kunststoftechniek.nl



Mould Systems BV

Albert Einsteinweg 8
Postbus 93, 5150 AB Drunen (NL)
t +31 (0)416-560935
f +31 (0)416-560939

- Matrizen
- Rapid Tooling
- Proefspuiten



www.mouldsystems.com
info@mouldsystems.com

Lasprocessen voor dunne plaat en buis

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van de diverse lasprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast de algemene publicatie (TI.03.13) tevens drie andere verbindingstechnieken behandelen, zoals lijmen (TI.03.15), mechanisch verbinden (TI.03.16) en solderen (TI.03.17).

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Indeling en kenmerken van lasprocessen	1
3	Kiezen van het juiste lasproces	3
4	Lastechnisch construeren	3
5	Lasdetails	3
6	Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het lassen	4
7	Nabewerking en -behandeling bij het lassen	5
8	Apparatuur voor het lassen	5
9	Lasprocessen voor dunne materialen	5
10	Lastoevoegmaterialen	5
11	Beschermen van het smeltbad	6
12	Mechaniseren van het lassen	6
13	Economische aspecten met betrekking tot het lassen	7
14	ARBO-aspecten in relatie tot het lassen	8
15	Normen voor het lassen van dunne plaat	9

1 Inleiding

Het lassen is niet op een achternamiddag ontwikkeld, maar kent een lange geschiedenis. De belangrijkste ontwikkelingen op het gebied van het lassen vallen samen met de beschikbaarheid van voldoende elektriciteit (rond 1900). In de achterliggende ruim honderd jaar zijn er ongeveer 65 verschillende lasprocessen ontwikkeld, waarvan er ook weer vele zijn verdwenen. Het goede is overgebleven, wat wil zeggen dat die lasprocessen die een goede kwaliteit lasverbinding combineren met lage kosten, tegenwoordig het meest worden toegepast.

Veel industriële activiteiten zouden niet uitgevoerd kunnen worden zonder de mogelijkheid van het kunnen verbinden van onderdelen door middel van lassen. De dagelijkse beschikbaarheid van energie, voedsel, vele producten, brandstof, enz. wordt in belangrijke mate bepaald door constructies die door middel van lassen zijn vervaardigd. Het lassen is ingewikkeld en vraagt vaak om een multidisciplinaire aanpak van tenminste de proces-technologie gecombineerd met de materiaaltechnologie. Materiaalkundige kennis is noodzakelijk om lasbaarheidsproblemen in combinatie met een juiste keuze van het lastoevoegmateriaal het hoofd te kunnen bieden. Procestechische kennis is vooral belangrijk om de juiste procesparameters te kunnen bepalen, met name bij het lassen van dunne plaat. Samengebundeld stellen ze de gebruiker in staat verantwoorde keuzes te maken met als doel een optimale lasverbinding tegen de laagste kosten.

2 Indeling en kenmerken van lasprocessen

Lassen is één van de meest efficiënte manieren om metalen te verbinden en is als verbindingstechniek niet weg te denken in ons dagelijks bestaan. Efficiëntie laat zich voor de meeste bedrijven al snel vertalen in economie en ook in dit opzicht kan worden gesteld, dat lassen een zeer economische methode is om metalen delen blijvend te verbinden.

Lassen is de enige manier om twee of meer metalen delen zodanig te verbinden, dat ze zich gedragen als één geheel. Lassen wordt in absolute zin steeds meer toegepast, maar er komt meer concurrentie van andere verbindingstechnieken waaronder lijmen, mechanisch verbinden en solderen. Alternatieve verbindingstechnieken

(voor het lassen) kunnen vaak met succes worden ingezet bij het verbinden van ongelijksoortige metalen of metalen met dekragen maar ook voor tal van andere toepassingen. Als een verbinding gelast is kan deze niet meer worden losgenomen.

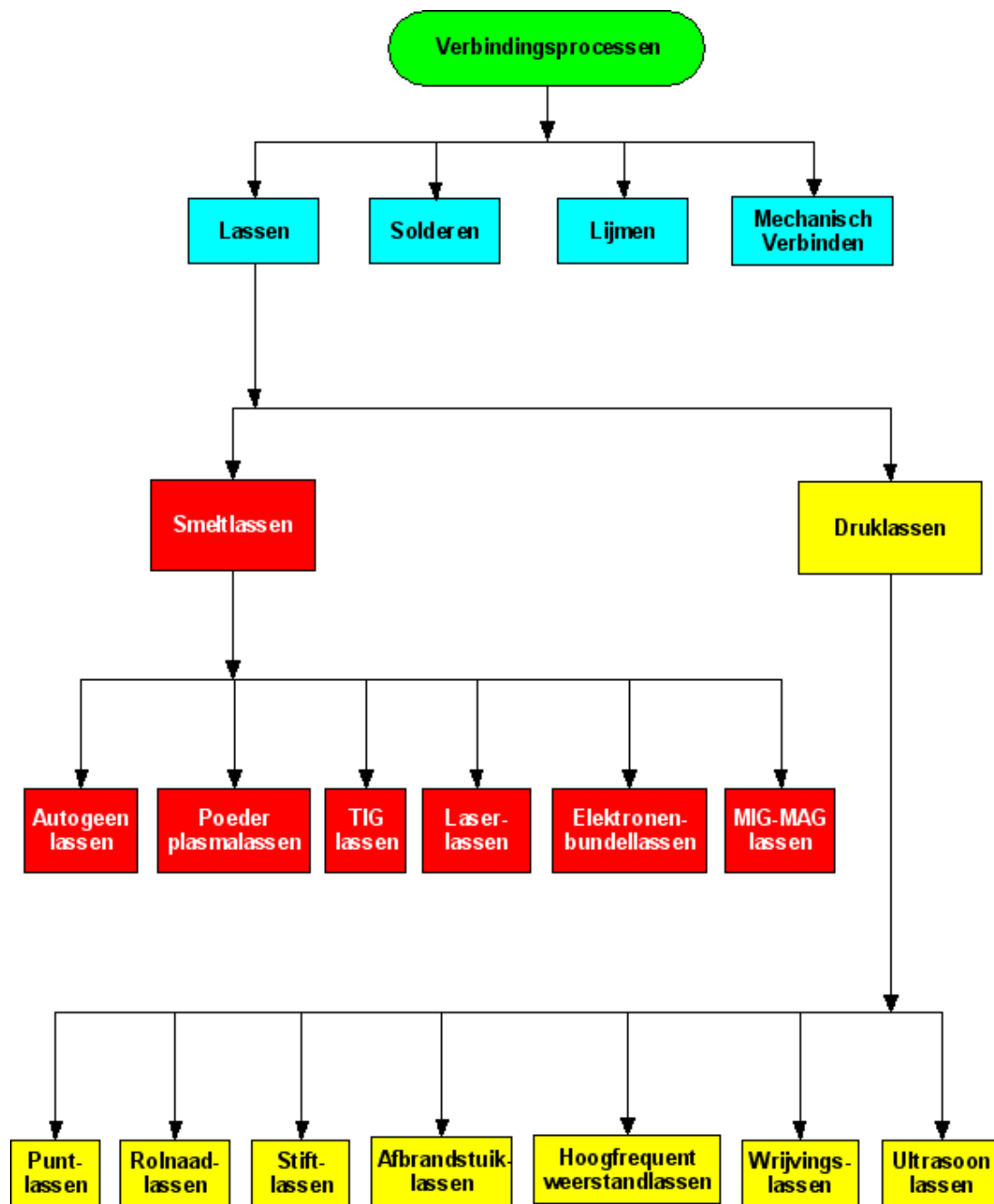
Naar het doel van het lassen onderscheidt men verbindinglassen en oplassen. Het *verbindinglassen* is het lassen van twee of meer werkstukdelen tot één onlosmakelijk geheel.

Het *oplassen* is het aanbrengen van een deklaag door middel van lassen op een gedeelte van of op het gehele onderdeel. Dit wordt gedaan om bijvoorbeeld het product tegen corrosie, slijtage of hoge temperaturen te beschermen. Corrosie en slijtage van metalen kosten jaarlijks miljarden euro's tengevolge van schade of noodzakelijk onderhoud. Zowel corrosie-, hitte- als slijtagebestendige lagen kunnen als zeer dunne of dikke lagen worden aangebracht, afhankelijk van het gekozen lasproces. In deze brochure wordt alleen aandacht geschonken aan het verbindinglassen.

Lassen is complex en er is een grote mate van vakmanschap vereist is om een goede lasverbinding te maken. Er zijn veel verschillende manieren om lasverbindingen te vervaardigen en er zijn talloze verschillende soorten lasverbindingen. In een aantal gevallen worden de te verbinden metalen tot smelten gebracht. Soms wordt uitwendige druk toegepast en bij sommige processen wordt elektriciteit als energiebron gebruikt, terwijl bij andere lasprocessen de benodigde warmte wordt ontwikkeld door de verbranding van gas, een bombardement van elektronen, of elektromagnetische straling (laser).

De kern van het lassen is te komen tot een metallische binding. Om een metallische binding te verkrijgen is het noodzakelijk om de atomen van de te verbinden metalen binnens elkaars invloedssfeer te brengen. Voor metalen geldt dat als de atomen op een onderlinge afstand van circa 10x hun atoomdiameter kunnen worden gebracht, er sprake is van een metallische (ver)binding. Om atomen op een dergelijke korte afstand van elkaar te brengen, kunnen twee wegen worden gevolgd. Er wordt een grote druk uitgeoefend, of de onderdelen worden tot smelten gebracht. Soms wordt een combinatie van beiden gebruikt. Deze twee mogelijkheden hebben geleid tot de indeling van lasprocessen in twee groepen te weten: *druklasprocessen* en *smeltlasprocessen*. Deze indeling is dus gebaseerd op de manier waarop de verbinding tot stand wordt gebracht. Bij *druklasprocessen* wordt altijd uitwendige druk gebruikt om de verbinding tot stand te brengen, terwijl bij het *smeltlassen* de materialen tot smelten worden gebracht. Er zijn ook processen die beide combineren de zogenaamde *warmdruklasprocessen*. Deze indeling van lasprocessen is voor een aantal veel gebruikte lasprocessen voor dunne plaat en buis weer gegeven in figuur 1.

Meestal worden de lasprocessen in de praktijk nog verder onderverdeeld. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het smeltlassen, waarbij de zogenaamde booglasprocessen (processen die gebruikmaken van een elektrische boog) en gasbooglasprocessen (processen die gebruikmaken van een elektrische boog én een extra beschermgas) worden onderscheiden.



figuur 1 Lasprocessen voor dunne plaat, uitgesplitst naar de twee belangrijkste hoofdgroepen: smeltlassen en druklassen

Lassen kent, zoals elke verbindingstechniek, zowel voordelen als beperkingen. Zo zijn de belangrijke voordelen van het lassen:

- ▶ Lassen is in veel gevallen de verbindingmethode met de laagste kosten per meter;
- ▶ Door middel van lassen kunnen alle metalen worden verbonden (let op niet met alle lasprocessen!);
- ▶ Lassen kan overal worden toegepast (zelfs onder water; dit geldt echter uiteraard niet voor alle lasprocessen);
- ▶ Lassen geeft een grote vrijheid in het ontwerp;
- ▶ Lassen kan zeer sterke verbindingen geven, zowel statisch als dynamisch;
- ▶ Lassen geeft metallische verbindingen, d.w.z. verbindingen met een goede elektrische- en warmtegeleidbaarheid;
- ▶ Veel lasprocessen kunnen eenvoudig gemechaniseerd worden;
- ▶ Lassen kan vloeistof- en gasdichte verbindingen geven.

Als beperkingen van het lassen kunnen worden genoemd:

- ▶ Lassen geeft geen losneembare verbindingen;
- ▶ De kwaliteit van handmatig gemaakte lassen is sterk afhankelijk van het vakmanschap van de lasser;
- ▶ Lassen gaat bijna altijd gepaard met warmte-inbreng in het materiaal en dus met degradatie van de materiaaleigenschappen;
- ▶ Niet alle metalen kunnen met alle lasprocessen worden gelast;
- ▶ Het vervaardigen van ongelijksoortige verbindingen vereist veel kennis en vaardigheid en is soms (metaalkundig) onmogelijk;
- ▶ Lassen geeft *altijd* metallische bindingen, d.w.z. bindingen die elektrisch- en warmtegeleidend zijn, Daarnaast kunnen ook intermetallische bindingen worden gevormd.

3. Kiezen van het juiste lasproces

Geen enkel lasproces is geschikt voor alle toepassingen, daarvoor lopen de toepassingen eenvoudigweg veel te ver uiteen. Er moet dus altijd een keuze worden gemaakt voor een specifiek lasproces, gebaseerd op de te verbinden onderdelen en kwaliteitseisen. Technische aspecten als te verbinden materialen, materiaalfmetingen, toelaatbare toleranties zijn belangrijke criteria voor de selectie van het juiste lasproces. Ook de kosten van de investeringen en uitvoering bepalen in belangrijke mate de processelectie.

Als hulpmiddel bij de selectie van het juiste lasproces kan het selectieprogramma dienen dat in het kader van een project van de FME-CWM in samenwerking met onder meer Federatie Dunne Plaat, NIL, TNO Industrie is ontwikkeld en dat op verschillende websites te vinden is (www.Dunneplaat-online, www.nil.nl, www.fdp.nl).

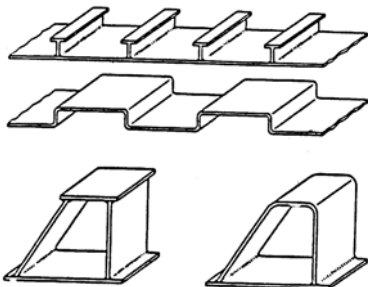
4. Lastechnisch construeren

Voor het samenstellen van een product door middel van lassen kan uit zeer veel verschillende processen worden gekozen. De keuze wordt bepaald door zowel technische als economische aspecten. Hierna volgen een aantal aandachtspunten, waarop moet worden gelet bij het ontwerpen van dunne plaatconstructies vanuit het oogpunt van lassen. Het is belangrijk hierbij te beseffen dat het rendement van de productie bij dunne plaatproducten vaak niet wordt bepaald door de lastijd, maar door de combinatie van de totale cyclustijd van een product en de reproduceerbaarheid van de verbinding.

Productopbouw

Het product dat uit dunne plaat is opgebouwd, stelt vaak specifieke eisen aan het samenstellen. Belangrijk hierbij zijn de volgende overwegingen:

- ▶ maak het product uit zo min mogelijk onderdelen (hierdoor kan er ook minder worden gelast) of bouw het product op uit een of meerdere subsamenstellingen (zie figuur 2);
- ▶ het hechten, samenstellen en lassen bij voorkeur uitvoeren in één arbeidsgang of lasmal (dit is gunstig met betrekking tot de toelaatbare toleranties);
- ▶ het verdient aanbeveling reproduceerbare referentiematen of een assenstelsel op te nemen in het product of de lasmal (dit verhoogt de nauwkeurigheid, maakt het programmeren van bijvoorbeeld een lasrobot eenvoudiger en zorgt ervoor dat de geometriegegevens makkelijker in een off-line pakket kunnen worden ingevoerd);
- ▶ de eisen die worden gesteld aan het eindproduct, moeten worden vertaald naar de eisen die aan de lasprocessen moeten worden gesteld; de eigenschappen van de gebruikte materialen en de eisen die moeten worden gesteld aan eventuele lasmallen.



figuur 2 Producten vervaardigen uit zo min mogelijk onderdelen. Het zetten van productdelen kan hierbij goede diensten bewijzen

Vanuit de functionele eisen die aan het product worden gesteld en die de basis vormen voor het ontwerp, wor-

den altijd afgeleide eisen gedefinieerd die verder moeten worden ingevuld. Dit kunnen onder andere eisen zijn ten aanzien van het materiaal, de geometrie van de materialen (toleranties), de productvoorbewerking, de plaats van de lassen en eisen aan bijvoorbeeld lasmallen. Hieronder wordt een aantal van deze aspecten kort toegelicht.

Eisen te stellen aan de materiaaleigenschappen:

Eisen die vanuit de 'functionele eisen' van het product aan de materialen worden gesteld, hebben over het algemeen betrekking op:

- ▶ de chemische samenstelling van de materialen;
- ▶ de fysische en mechanische eigenschappen van de materialen;
- ▶ de oppervlakteconditie van de materialen.

Eisen te stellen aan de geometrische eigenschappen van het basismateriaal:

Naast de hierboven genoemde materiaaleigenschappen is het ook belangrijk dat de geleverde materialen aan vooraf gestelde vormtoleranties voldoen. Vaak zijn dergelijke toleranties opgenomen in de verschillende normen die door de leveranciers worden gehanteerd.

Vormtoleranties hebben onder andere betrekking op:

- ▶ variaties in de dikte;
- ▶ variaties in de vlakheid (profielzuiverheid);
- ▶ eventuele lokale vervormingen van bijvoorbeeld profielen.

Eisen te stellen aan de productvoorbewerking:

Nadat de afzonderlijke productdelen zijn voorbereid, is het wenselijk ze te controleren op bijvoorbeeld:

- ▶ de juiste vorm van de contour van de onderdelen;
- ▶ de rechtheid van de onderdelen;
- ▶ eventuele afrondingen en braamvorming;
- ▶ vorm en locatie van gaten en uitsparingen;
- ▶ overige maatvoering.

Eisen te stellen aan vorm en plaats van de lasverbindingen:

De constructeur kan veel invloed uitoefenen op de lasbaarheid van de producten (de lasbaarheid kan in dit geval worden gezien als de grootte van de inspanning die moet worden gepleegd om het laswerk uit te kunnen voeren), door te letten op:

- ▶ voor de lasser goed bereikbare lasplaatsen;
- ▶ het vermijden van scherpe buitenhoekverbindingen;
- ▶ het vermijden van stompe lassen en dus bij voorkeur overlap- en hoeklassen;
- ▶ zo klein mogelijk lasvolume.

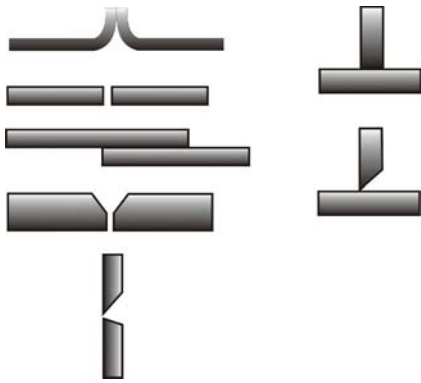
Eisen te stellen aan de constructie van lasmallen:

1. op de juiste plaats aanbrengen van fixeerpunten:
 - ▶ niet aanslaan op contour(en);
 - ▶ voorkeur voor aparte opneemgaten voor het fixeren van het product in de mal;
 - ▶ minimaal één op de drie aanslagen in een vlak moet instelbaar zijn.
2. voor bewegende delen in een lasmal geldt:
 - ▶ de invloed op maatvoering zo klein mogelijk houden;
 - ▶ dat deze zo soepel mogelijk te bedienen moeten zijn;
 - ▶ dat het onderhoud zo eenvoudig mogelijk moet zijn.

5. Lasdetails

Om tot een goede keuze van het lasdetail te kunnen komen, is een verregaande kennis van de lasprocestechnologie noodzakelijk. Een verkeerd gekozen lasdetail kan ertoe leiden dat het product niet, niet goed of slechts tegen hoge kosten kan worden gemaakt. De volgende groepen lasdetails (zie ook figuur 3) worden wel onderscheiden:

- ▶ A- delen onder een hoek (bij voorkeur 90°) t.o.v. elkaar, bijvoorbeeld hoeklassen;
- ▶ B- delen in hetzelfde vlak zoals stompe lasverbindingen en overlapverbindingen.



figuur 3 Enige voorbeelden van lasdetails onder een hoek en in elkaars verlengde

Bij de keuze van het lasdetail zijn de volgende aandachtspunten belangrijk:

- ▶ de technische eisen die aan de las worden gesteld:
 - sterkte en kwaliteit (= minimaal aantal lasfouten), incl. eventueel toepassing bij verhoogde of verlaagde omgevingstemperaturen;
 - dichtheid: vloeistof- of gasdicht, met onder- of overdruk;
 - levensduur: corrosie, slijtage en erosie-aspecten;
 - afwerking: coatings of andere nabehandelingen, visuele of esthetische aspecten.
- ▶ de kosten van voorbereiden en samenstellen;
- ▶ de keuze van het lasproces ook in relatie tot eventuele nabewerkingen;
- ▶ de bereikbaarheid van de lasnaad;
- ▶ de mogelijkheid om het proces te mechaniseren of te automatiseren.

De volgende lasnaadvormen zijn specifiek geschikt voor dunne plaat:

1. de hoeknaad (binnen en buiten), intermitterend (kettingglas) of doorlopend gelast;
2. de overlapnaad, tweezijdig afgelast, intermitterend (kettingglas) of doorlopend gelast;
3. de T-naad en I-naad gesloten, één of tweezijdig intermitterend (kettinglas) of doorlopend afgelast;
4. gat-, sleuf- of propllas.

Ten aanzien van al deze lasnaadvormen kan een tweetal groepen worden onderscheiden:

- ▶ stompe lasnaden (geen spleet tussen de verbonden onderdelen na het lassen);
- ▶ niet-stompe lasnaden.

Beide groepen hebben hun specifieke kenmerken en dus toepassingsgebieden.

Stompe lasnaden verdienen de voorkeur als de constructie wisselend wordt belast. Ze geven over het algemeen een betere krachtdoorleiding en zijn meer geschikt voor toepassingen waarbij corrosie een belangrijke rol speelt. Nadeel is dat bij grotere plaatdikten de kosten voor het aanbrengen van de juiste lasnaadvorm groter zijn. Bij dunne plaat en buis is dit echter niet het geval.

Niet-stompe lasnaden verdienen de voorkeur als de constructie statisch wordt belast, omdat deze over het algemeen met lage kosten te maken zijn en gemakkelijk gemechaniseerd kunnen worden gelast. Een ander nadeel van niet-stompe lasnaden is dat soms (spleet)corrosie een probleem kan vormen.

In de praktijk wordt bij het lassen van dunne plaat veel gebruik gemaakt van zogenaamde kettinglassen. Hierbij wordt het product dus niet over de volle lengte gelast, maar telkens met onderbroken lassen. Bij dubbele (hoek)lassen kan dit ook nog versprongen worden uitgevoerd. De belangrijkste voor- en nadelen van kettinglassen worden hierna kort weergegeven.

Voordelen kettinglassen

Bij een kettinglas wordt minder warmte in het materiaal gebracht, terwijl er uiteraard ook een kleinere laslengte gelegd hoeft te worden, hetgeen resulteert in lagere laskosten. Een ander voordeel (vooral interessant bij nauwkeurige dunne plaatproducten) zijn de korte stops (periode dat er niet gelast wordt), waardoor een snellere afkoeling wordt verkregen. Vooral als kettinglassen geautomatiseerd of gemechaniseerd worden uitgevoerd, kunnen ze goed en goedkoop worden gemaakt.

Kettinglassen zijn zeer geschikt voor het lassen van dun plaatwerk, uitgevoerd in lasmatten. Kettinglassen geven een lage warmte-inbreng en een beheersbare en reproduceerbare vervorming en dus maatvoering van het gelaste product, mits men de lasvolgorde en lasparameters zeer consequent aanhoudt. Een interessante toepassing is de zogenaamde pen-gat verbinding. Hierbij wordt vaak gebruikgemaakt van lasergesneden gaten en pennen die in elkaar passen. Op deze manier zijn producten te realiseren met een zeer hoge maatvastheid.

Nadelen kettinglassen

Een van de nadelen van kettinglassen is dat er veel starts en stops moeten worden gemaakt. Kettinglassen zijn minder eenvoudig netjes te maken, tenzij dit geautomatiseerd gebeurt. Kettinglassen kosten meer tijd in de voorbereiding (aftekenen, wat moet wel en wat moet niet worden gelast?). De lengte van kettinglassen is voor een handlasser moeilijk aan te houden, de lasser schat in waar hij moet starten en stoppen. Dit wordt al gauw een rommelig geheel door de ongelijke laslengtes. Bij gelijkwaardige sterkte ten opzichte van doorlopend lassen is een zwaardere las nodig, met als gevolg een hogere, plaatselijke warmte-inbreng. Dit kan bij dunne plaat tot lokale vervormingen en sterke aftekeningen aan de achterkant leiden. Er is een groter risico op lasfouten en randinkarteling of kraters door de lasstops. Kettinglassen zijn relatief bewerkelijk voor de lasser en resulteren dus in een verlaagde inschakelduur. Er kunnen geen dichte verbindingen worden gemaakt met deze techniek. Bij kettinglassen is er altijd een risico van spleetcorrosie in de lasnaad na het lassen.

6. Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het lassen

Voorbehandeling

Afhankelijk van de te lassen metalen kan de voorbereiding en -behandeling verschillen. Uitgangspunt bij het lassen is altijd, dat de te verbinden materialen metallisch blank en schoon moeten zijn. Dit houdt in dat er geen vet, vuil en verf ter plaatse van de te verbinden delen aanwezig mogen zijn. Voor het reinigen van te verbinden delen zijn uitstekende middelen in de handel. Als er zich op de te verbinden delen een (dikke) oxidelaag bevindt (walshuid, roest, aluminiumoxide, enz), moet deze voor het lassen altijd worden verwijderd, bij voorkeur door mechanische middelen als borstelen of slijpen. Bij het borstelen is het gebruikelijk hiervoor een stalen borstel te gebruiken. Voor roestvast staal en non-ferro metalen moet echter altijd een roestvaststaal borstel worden gebruikt.

Het is aan te raden roestvaststaalborstels alleen maar voor één specifiek materiaal te gebruiken en niet onderling te wisselen voor de verschillende materialen in verband met contaminatie.

Bij het gebruik van elektrisch gereedschap (roterende borstels en schuur- of slijpschijven), moet de druk niet te hoog worden opgevoerd, omdat er anders aanloopkleuren kunnen ontstaan. Deze aanloopkleuren geven aan dat er een verbrande oxidehuid gevormd is op het metaal. Met name bij roestvast staal is, ter plaatse van de aanloopkleuren, de corrosievastheid van het materiaal verminderd.

Afhankelijk van de toepassing kan het soms noodzakelijk zijn de gereinigde oppervlakken niet meer met blote handen of vuile handschoenen aan te raken, daar er dan weer vet op het oppervlak terecht kan komen.

Vorbewerking

Afhankelijk van de materiaalsoort, de materiaaldikte, de laspositie, de kwaliteitseisen, de belasting, enz. in combinatie met het lasproces, kan het noodzakelijk zijn (als een volledige doorlassing gewenst is), de te verbinden delen van een afschuining te voorzien. De ervaring leert dat dit zelden het geval is bij dunne plaat (≤ 3 mm). Meestal worden deze materiaaldikten zonder afschuining van de plaat of buis gelast. Dit wil echter niet zeggen dat er geen sprake is van een lasnaadvoorbewerking. Bij sommige lasprocessen is het van essentieel belang dat de lasnaadkanten nauwkeurig voorbereid zijn voor het lassen. Het aanbrengen van rechte lasnaadkanten kan op veel verschillende manieren plaatsvinden. Er moet hierbij vaak een compromis worden gevonden tussen gewenste kwaliteit en de kosten voor het aanbrengen.

Meestal wordt een onderscheid gemaakt tussen thermisch (autogeen snijden, plasmasnijden, lasersnijden) en niet-thermisch voorbereiden (draaien, frezen, schaven, ponsen, knippen, zagen en waterstraalsnijden). Voor een verdere detaillering van een aantal van deze technieken wordt verwezen naar de algemene publicatie (TI-03-13).

7. Nabewerking en -behandeling na het lassen

De nabewerking en -behandeling moeten worden afgestemd op de te lassen metalen. Nabehandelen bestaat soms uit het verwijderen van de verkleuring tengevolge van het lassen (chemisch: beitsen; mechanisch: schuren, borstelen) of het verwijderen van overdikte van de las (slijpen). Nabehandeling kan echter ook bestaan uit het uitvoeren van een warmtebehandeling, om de spanningen te verminderen, dan wel de structuur en/of mechanische eigenschappen te verbeteren. Als de vormafwijkingen ontoelaatbaar groot zijn geworden tengevolge van het lassen, is het soms noodzakelijk producten of productonderdelen te strekken of te richten. Hiervoor zijn tal van technieken beschikbaar, lopend van het mechanisch strekken en richten tot het thermisch richten.

8. Apparatuur voor het lassen

De apparatuur die gebruikt wordt voor het lassen, is zeer divers en hangt voornamelijk af van het lasproces waarmee wordt gewerkt. Bij elektrische lasprocessen wordt altijd gebruikgemaakt van stroombronnen.

Afhankelijk van het type lasproces kunnen deze stroombronnen simpel van opzet zijn tot zeer geavanceerd. Met name ten aanzien van de ontwikkeling van stroombronnen en de aansturing hiervan is de afgelopen jaren grote vooruitgang geboekt. Vooral rond 1980 heeft er een snelle ontwikkeling plaatsgevonden ten aanzien van de stroombronnen die we nu 'moderne stroombronnen' noemen. Deze snelle ontwikkeling is vooral mogelijk gemaakt door de komst van de groot-vermogen halfgeleiders tegen een redelijke prijs.

De elektronica heeft het mogelijk gemaakt dat er compacte, lichte stroombronnen (inverters) kunnen worden gebruikt voor vrijwel alle elektrische lasprocessen. De sturing van dergelijke stroombronnen is nog steeds volop in ontwikkeling. De nieuwe generatie stroombronnen zal zich, naast een optimale gebruikersvriendelijkheid en misschien zelfs wel gebruikersonafhankelijkheid, vooral richten op het beheersen van het lasproces (warmte-inbreng) om de las kwaliteit van de lasverbinding te kunnen waarborgen.

9. Lasprocessen voor dunne materialen

Voor het lassen van dunne materialen kunnen zeer veel lasprocessen worden ingezet (zie tabel 1).

Het is niet eenvoudig een gerichte keuze te maken ten aanzien van het meest geschikte lasproces. De gebruiker/constructeur/werkvoorbereider kent als enige de belangrijkste criteria waaraan het lasproces moet voldoen. Als het goed is, komt hij op basis hiervan tot een gefundeerde keuze van het lasproces.

De onderkenning dat het voor een gebruiker/constructeur/werkvoorbereider zeer moeilijk is inzicht te hebben in alle varianten die bij de proceskeuze een rol spelen, is de aanleiding geweest tot het ontwikkelen van een verbindingsmatrix en selectiemethodiek.

tabel 1 Lasprocessen geschikt voor het lassen van plaatdikten ≤ 3 mm met hun ISO procesnummers

Lasproces	nummer lasproces (ISO 4063)
Afbrandstuijclassen zonder voorwarmen	242
Booglassen met beklede elektrode, Rutiel AC	111
Boog soldeerlassen (MIG/MAG)	972
Boog soldeerlassen (TIG)	972
Boog soldeerlassen (plasma)	972
Electronenbundel lassen	51
Hoogfrequent weerstandlassen	291
Laserlassen (Diode)	-
Laserlassen (Gas: CO ₂)	522
Laserlassen (Vaste stof: Nd:YAG)	521
MAG-lassen met massieve draad	135
MAG-lassen met metaalgevulde draad	136
MAG-lassen, gepulseerd met massieve draad	135
MAG-lassen, gepulseerd met metaalgevulde draad	136
MIG-lassen met massieve draad	131
MIG-lassen met wisselstroom (MIG-AC)	131
Onderpoeder lassen, eendraads (DC)	121
Plasmalassen	15
Plasmalassen (micro en keyhole)	15
Poeder plasmalassen	152
Puntlassen, direct	212
Puntlassen, indirect	211
Projectielassen, direct	232
Projectielassen, indirect	231
Rolnaadlassen met contactstrip	226
Rolnaadlassen van overlappenden	221
Stiftlassen	78
TIG-lassen met gelijkstroom (DC); elektrode negatief	141
TIG-lassen met gelijkstroom (DC); elektrode positief	141
TIG-lassen met pulserende gelijkstroom (DC)	141
TIG-lassen met wisselstroom (AC)	141
Ultrasoonlassen	41
Wrijvingslassen	42
Wrijvingsroerlassen	-

10 Lastoevoegmaterialen

De lasdraad vormt al afsmeltend een deel van het smeltbad. Onder invloed van de boogwarmte en invloeden uit de omgeving van het smeltbad kan de samenstelling van het smeltbad ongewenste veranderingen ondergaan.

Door een lasdraad van de juiste samenstelling te kiezen, kan een las van de gewenste kwaliteit worden verkregen.

Als principe voor toevoegmaterialen geldt dat de samenstelling gelijk is aan die van het te lassen materiaal. Er zijn redenen om af te wijken van dit principe. Een aantal redenen zijn:

- ▶ het basismateriaal is erg scheurgevoelig; het lastoevoegmateriaal moet dan een hoger gehalte aan legeringselementen bevatten om scheurvrij te kunnen lassen.
- ▶ bepaalde elementen in het lastoevoegmateriaal verdampen sterk in de boog. Het toevoegmateriaal moet dan een verhoogd gehalte aan deze elementen bevatten om een las met de vereiste samenstelling te krijgen.
- ▶ het basismateriaal heeft een bepaalde warmtebehandeling ondergaan, waardoor de sterkte is opgevoerd. Het lastoevoegmateriaal moet nu door zijn samenstelling aan de sterkte-eisen van het basismateriaal kunnen voldoen.
- ▶ desoxidanten toevoegen om ongewenste invloeden van het beschermgas te elimineren.

Bij het lassen van materiaalcombinaties wordt meestal gekozen voor een lastoevoegmateriaal dat aangepast is aan de laagst gelegeerde van de twee. Een uitzondering op deze regel is het lassen van een ongelegeerde staal-soort aan een roestvaste staalsoort. Voor deze combinatie gebruikt men een zogenaamde bufferlaag. Dit is toevoegmateriaal met een verhoogd gehalte aan legeringselementen, dat er voor zorgt dat ongewenste hardingsverschijnselen worden voorkomen.

Normen en procedures

Voor classificering van het type toevoegmateriaal kan worden verwezen naar relevante Europese normen.

Indien geen Europese norm voorhanden is, kan hier bijvoorbeeld de ISO-, DIN- of AWS-codering worden ingevuld. Teneinde misverstanden te voorkomen, moet bij voorkeur goedgekeurd lastoevoegmateriaal worden gebruikt. Onder dit begrip wordt verstaan: een lastoevoegmateriaal of combinatie van lastoevoegmaterialen, dat door een onafhankelijke beoordelaar of keuringsinstantie is beproefd en gecertificeerd.

Procedures waarin de beheersing van de lastoevoegmaterialen wordt gespecificeerd, moeten door de fabrikant worden gemaakt, gebruikt en onderhouden. Uitgebreide testen op charges lastoevoegmateriaal is slechts dan noodzakelijk, wanneer het contract dit vereist. Voorbeelden van beheersing van toevoegmaterialen zijn die voor opslag, uitgifte en inname van het materiaal, waarbij veel aandacht dient te worden geschonken aan het voorkomen van vervuiling.

Opslag van lasdraden

De eigenschappen van massieve lasdraden worden niet beïnvloed door langdurige opslag, mits deze opslag geschiedt in de originele verpakkingen en bij een relatieve vochtigheid van maximaal 60 % en een temperatuur van 5 °C. Na opslag onder afwijkende condities is een periodieke inspectie noodzakelijk. Soms is het noodzakelijk aangepaste maatregelen te treffen.

11. Beschermen van het smeltbad

Het smeltbad moet beschermd worden tegen invloed van de omgevingslucht. Met name zuurstof, stikstof en waterstof uit de omgevingslucht kunnen elk voor ongewenste problemen zorgen, indien ze toe kunnen treden tot het lasbad.

Vanuit de lastechniek zijn, afhankelijk van het lasproces, verschillende mogelijkheden om ervoor te zorgen, dat de omgevingslucht niet tot het smeltbad toe kan treden:

- ▶ toepassen van beschermgassen;
- ▶ toepassen van een beschermend poeder;
- ▶ combinaties van bovenstaande methoden;
- ▶ toepassen van een vacuüm.

Met name het beschermen van het lasbad door middel van een beschermgas is erg belangrijk. Binnen de Nederlandse industrie maken de twee meest toegepaste booglasprocessen het TIG- en MIG/MAG-lassen hiervan gebruik. Naast het beschermen van het lasmetaal tegen de omgevingslucht heeft het beschermgas invloed op de processen in de boog, de druppelovergang, de reacties in het smeltbad, de vorm van de inbranding in het werkstuk of moedermateriaal en de mechanische eigenschappen van het lasmetaal.

Er wordt gebruikgemaakt van inerte beschermgassen (reageren nergens mee) en actieve beschermgassen; afhankelijk van het gekozen lasproces en de te lassen materialen.

Veel gebruikte inerte beschermgassen zijn argon (Ar), helium (He) of mengsels van argon en helium (Ar + He). Ten aanzien van de actieve beschermgassen is er een heel scala aan gassen met als basis argon of helium en toevoegingen van verschillende percentages CO₂, O₂, H₂ of combinaties hiervan.

Het verdient aanbeveling de gassamenstelling en draadkeuze volgens aanwijzingen van de fabrikant(en) op elkaar of te stemmen. Ook in verband met bepaalde goedkeuringen door keurings- en kwalificatieinstanties is het gewenst om de voorschriften op te volgen, in verband met acceptatie en geldigheidsgebieden.

Vele beschermgassen zijn reukloos en/of smaakloos en niet giftig. Ze kunnen echter de ademlucht verdringen of door reactie(s) giftige verbindingen veroorzaken. Dus voldoende ventileren bij het lassen is noodzakelijk.

Backinggassen

Naast het gebruik van beschermgassen om de buitenlucht uit de omgeving van het smeltbad weg te houden, is het voor sommige materialen ook noodzakelijk de onderkant (doorlassing) van het smeltbad te beschermen, waarvoor zogenaamde backinggassen worden gebruikt. Hiervoor kunnen zowel inerte als actieve gassen worden gebruikt, afhankelijk van de te lassen materialen. Een veel toegepast backinggas voor met name roestvast staal is een mengsel van stikstof met waterstof het zogenaamde 'formeergas'. Het gebruik van dit type backinggas en alle andere waterstofhoudende backinggassen is af te raden voor staal, aluminium en koper.

12. Mechaniseren van het lassen

Het is aan te bevelen nooit direct van het handmatig lassen naar het gemechaniseerd lassen over te stappen, maar eerst kritisch te kijken naar de uitvoering van het lassen, zoals dit nu plaatsvindt. Dit houdt in dat er eerst *geoptimaliseerd* moet worden. Dit wil zeggen dat er kritisch moet worden gekeken naar aspecten ten aanzien van de voorbereiding van de productonderdelen, de bereikbaarheid van de lassen, de positie waarin de lassen moeten worden gelegd, de kwaliteit van de lasmallen en de logistiek rond het lassen.

Hierna is het noodzakelijk eerst naar eenvoudige mechanisatie van het lassen te kijken. Dit kan in de vorm van het gebruik van manipulatoren, lasbomen, laswagentjes, enz.

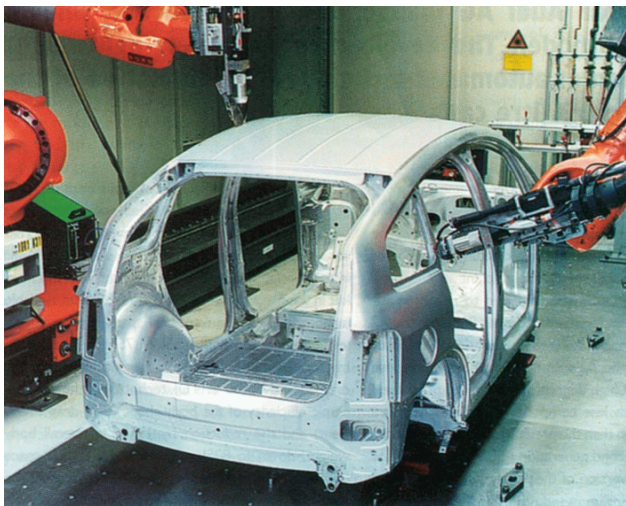
Als dit onvoldoende rendement oplevert, dan kan, afhankelijk van onder andere de seriegrootte, worden nagegaan of er specifieke productie-automaten moeten worden ontwikkeld (grote series), of dat er met lasrobots kan worden gewerkt (middelgrootte en kleine series). Met name het lassen met robots is in de achterliggende jaren zeer sterk in omvang toegenomen.

Een ding is duidelijk: *een robot kan niet lassen*, ondanks dat er met robots wordt gelast! Een robot is immers niets meer dan een bewegingsmanipulator, die geprogrammeerd kan worden.

Een robot kan een lastoorts hanteren en een bewegingspatroon volgen.

Als er hiernaast ook nog gebruik wordt gemaakt van een geavanceerde besturing, dan kunnen hierin de lasparameters worden ingebracht en kan de robot zelfs een lasnaad opzoeken en volgen. Het is verder mogelijk om gebruik te maken van zogenaamde lastabellen die hele serie voorgeprogrammeerde lasgegevens kunnen bevatten. Ondanks al deze zaken bezitten de huidige robotsystemen geen enkele lastechnische kennis. De lastechnische kennis moet van de robotbediener/lasser komen die de robot op de juiste plaatsen van goede lasparameters moet voorzien. Zonder deze 'kennis' is de robot niet in staat om een goede lasverbinding te maken. Er kan wel controle op het lasproces worden uitgeoefend, maar ook hier krijgt de robot zijn informatie niet direct van het gedrag van het lasbad, maar van bepaalde ingangssignalen. Het robotprogramma kan alleen nagaan of aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan of niet.

Lasrobots werden in het begin voornamelijk gebruikt voor het weerstandlassen (auto-industrie), zie figuur 4; al snel echter gevolgd door een reeks van de meest uiteenlopende toepassingen.



figuur 4 Lassen van de Audi A2 met robots

De laatste jaren zijn het vooral de MIG/MAG-lasrobots die op grote schaal binnen de industrie worden ingezet. Dit is op zich niet verwonderlijk omdat het MIG/MAG-lassen van huis uit al een semi-automatisch lasproces is, waarbij het toevoegmateriaal gemechaniseerd wordt aangevoerd. Hiernaast speelt het feit dat het gebruik van het MIG/MAG-lassen nog steeds stijgende is binnen de Nederlandse industrie. Dit is eveneens een belangrijk aspect, waarom juist dit proces voor robotfabrikanten en gebruikers zo interessant is. Met de huidige trends bij het MIG/MAG-lassen, waaronder het gevulde draad lassen (meer rookontwikkeling) en het lassen met hoge neersmeltsnelheden (hoge fysieke belastbaarheid voor de lasser), is de verwachting dat het gebruik van robots voor het MIG/MAG-lassen alleen nog maar zal toenemen.

Naast het MIG/MAG lassen met robots komen er ook meer robots op de markt voor het TIG- en zelfs plasma-lassen. Bij het TIG- of plasma-lassen en in nog belangrijker mate het laserlassen worden veel hogere eisen gesteld aan de nauwkeurigheid van de robot. Toch worden ook deze processen gerobotiseerd toegepast; zij het voorlopig nog op een veel bescheidener schaal dan het MIG/MAG-lassen. Het lassen met robots kan in principe worden uitgevoerd voor de volgende lasprocessen:

- ▶ puntlassen;
- ▶ MIG/MAG-lassen;
- ▶ TIG-lassen;
- ▶ plasma-lassen;

- ▶ laserlassen (CO₂ en Nd:YAG, hoogvermogen diode-laser - HDL).

In de auto-industrie is vooral belangstelling voor het laserlassen (Nd:YAG en diodelaser) gekoppeld aan robots. Het voordeel van de genoemde lasers is, dat de laserbundel via een fiber van de laser naar de robot en uiteindelijk naar het werkstuk kan worden getransporteerd. Dit geeft de gebruiker een aanzienlijke vrijheid in het programmeren van de robot. Nog een stap verder is het gebruik van hybride systemen (combinatie van een gasbooglasproces en een laser).

Deze systemen staan echter nog in de kinderschoenen; de verwachting is echter dat dit soort systemen de komende jaren verder zal worden ontwikkeld.

Robots zijn tegenwoordig uiterst betrouwbare productie-machines en kunnen uitstekend bij seriematige productie worden ingezet. De steeds stringenter milieu-eisen, eisen vanuit de Arbo-wet, gewenste hogere productiesnelheden en (het liefst) een lagere kostprijs zijn enkele overwegingen, waarom bedrijven meer en meer overgaan op de robotisering van het lassen. Bij een goede voorbereiding en begeleiding zal dit meestal het verwachte rendement opleveren. Risico's zijn er natuurlijk ook, maar deze kunnen voor een groot deel worden beperkt door het opstellen van een goed Plan van Aanpak en een adequate uitvoering hiervan.

13. Economische aspecten met betrekking tot het lassen

Vele factoren beïnvloeden de laskosten. Een groot aantal hiervan zijn soms moeilijk te benoemen. Hierna volgt een overzicht van kwantificeerbare kosten. Hierbij onderscheiden wij BLK - bruto laskosten en NLK - netto laskosten. Naar de laatste kosten wordt in de praktijk wel goed gekeken, naar de eerste veel minder!

De bruto laskosten (BLK) zijn opgebouwd uit:

$$BLK = V + A + LNK + N + O + R + W$$

- V = Voorbewerkingskosten, inclusief markering, productgerichte uitsortering en de logistieke opslag, aanvoer naar de productielocatie (op tijd, juiste aantal, specifieke kwaliteit: vorm, toleranties, oppervlaktecondities, markering, enz).
- A = Aanbouwkosten, stellen, hechten, kraanhulp, voorverwarmen, kleine hulpmiddelen, (geen lasmatten, deze zijn projectgebonden en worden apart afgeschreven), afscherming: tocht, UV en Infrarood, lasdampafzuiging, verlichting, enz.
- LNK = Lassen en uitvoeringskosten van het proces, visuele inspectie, opstellen procedures;
- N = Nabewerken; als slijpen, schuren, borstelen.
- O = Onderzoekskosten: formele in- of externe inspecteurs, röntgen-, US-, penetrantonderzoek, magnetisch onderzoek, enz., incl. vastlegging, foto's, rapportage, afstemming, overleg, enz.
- R = Reparatiekosten (% van het totaal), incl. herinspectie en administratieve afhandeling.
- W = Warmtebehandelingen, gloeien, narichten, kalibreren maatvoering, enz.

Binnen deze formule is de post NLK: de netto laskosten; deze kunnen als volgt worden berekend:

$$NLK = \frac{L \times F \times \text{tarief} / \text{uur}}{I \times D \times ID}$$

Hierbij is:

- L = laslengte in cm;
- F = oppervlak van de lasdoorsnede in cm²;
- tarief/uur = lasser, apparatuur, toevoegmateriaal;
- I = stroomsterkte in A (ampère);
- D = neersmelt in cm³/amp/uur;
- ID = aantal % inschakelduur.

De inschakelduur is hierbij van essentieel belang, voorbeelden hiervan zijn gegeven in tabel 3.

tabel 3 Inschakelduur van enkele lasprocessen

proces	theorie	praktijk
Elektrode lassen	30%	gemiddeld 20% is goed
MIG/MAG handlassen	40%	gemiddeld 25% is goed
MIG/MAG gemechaniseerd	60%	gemiddeld 35% is haalbaar
TIG handlassen	20%	gemiddeld 10-15% is haalbaar

De stroomsterkte wordt bepaald door materiaalsoort en -dikte, het lasproces en de laspositie.

De neersmelt wordt bepaald door de keuze van de lasparameters bij het gekozen proces en de gegeven las-toevoegmaterialen (diameter, type), de beschermgas- of poederkeuze en de laspositie.

De inschakelduur wordt sterk bepaald door het organiseren van het proces rond het lassen en het zoveel mogelijk alles voor de lasser te regelen en klaar te zetten. Een lasser moet lassen en niet zoeken, regelen en minder effectief steeds maar allerlei noodgedwongen nevenactiviteiten uitvoeren.

In dit verband is het noodzakelijk ook aandacht te schenken aan de beschikbaarheid en inzetbaarheid van de apparatuur, zoals het lasapparaat, slangenpakket, de afzuiging, licht, stroom, enz. en de vereiste hulpmaterialen als gas, draad, poeder. Verder moet de lasser exact weten wat er van hem wordt verlangd, qua vakmanschap en doorlooptijd.

Hierbij is het goed te beschikken over lasprocedures, werkplanning en technische (up to date) tekeningen. Met name aan het laatste ontbreekt het nogal eens, waardoor onduidelijk is waar welke las moet komen, in welke posities gelast moet worden, eventueel van wie en wanneer er hulp verwacht kan worden. Het gebruik van een goed en gemakkelijk te gebruiken kostprijsberekeningsprogramma zoals COSTCOMP®, uitgegeven door het NIL, is bij de prognose en evaluatie van laskosten een belangrijk hulpmiddel. Ten aanzien van het doorrekenen van de laskosten van dunne plaatproducten waarbij andere aspecten dan neersmeltsnelheden een belangrijke rol spelen, is er (nog) geen universeel bruikbaar kostprijsberekeningsprogramma beschikbaar.

Bovenstaande kosten zijn de operationele kosten van het lassen. Hiernaast zijn er de vaste kosten die groten-deels zijn gebaseerd op de investeringen en afschrijvingen, die gedaan moeten worden om het laswerk uit te kunnen voeren.

De operationele koste en de vaste kosten bepalen samen de uiteindelijke (product)kosten. De ervaring leert dat elk bedrijf zijn eigen methoden heeft van het berekenen van deze kosten.

14. ARBO-aspecten in relatie tot het lassen

Bij het lassen kan de lasser en zijn omgeving bloot worden gesteld aan onder meer de volgende factoren:

- ▶ de warmtestraling, afkomstig van de warmtebron, nodig om het metaal tot smelten te brengen;
- ▶ de zichtbare lichtstralen, afkomstig van de elektrische boog bij de booglasprocessen;
- ▶ onzichtbare ultraviolette en infrarode stralen vanuit de elektrische boog;
- ▶ geluid afkomstig van de elektrische boog;
- ▶ spatten vanuit de boog en het smeltbad;
- ▶ lasrook, ontstaan door het tot smelten brengen van het te lassen materiaal en met name lastoevoegmateriaal.

Voor de blootstelling aan gevaarlijke stoffen tijdens het werk hanteert de Arbeidsinspectie grenswaarden (MAC-waarden). Deze grenswaarden geven de maximale concentratie aan, waaraan men zonder risico

voor de gezondheid gedurende een arbeidsleven mag worden blootgesteld.

Per 1 januari 2003 is de grenswaarde voor lasrook van ongelegeerd staal 3,5 mg per m³ lucht. Dit is een wettelijke grenswaarde, d.w.z. overschrijding van deze waarde is een overtreding van de wet. Dit is de MAC-waarde voor lasrook bij het lassen van ongelegeerd staal; verwerkt men een gelegeerd materiaal of toevoegmateriaal (bijvoorbeeld roestvast staal), dan moet men de MAC-waarde voor de stof/stoffen die hierbij kunnen vrijkomen (Cr, Ni, e.d.) hanteren. Afhankelijk van de schadelijkheid van de stoffen die vrijkomen bij het lassen, kunnen ze een lagere MAC-waarde hebben. Voor chroom(VI)-verbindingen geldt bijvoorbeeld een grenswaarde van 0,025 mg/m³ lucht.

De Arbeidsinspectie hanteert anno 2003 de PRAKTIJK-RICHTLIJN (versie 13 maart 2002) "Beschrijving doel-treffende maatregelen bij blootstelling aan rook en/of gassen afkomstig van lassen en/of verwante processen", zoals genoemd en naar verwezen in Arbo beleidsregel 4.9-2.

Maatregelen die moeten worden getroffen om blootstelling aan gezondheidsgevaarlijke stoffen terug te brengen tot een niveau dat geen risico oplevert, moeten worden uitgevoerd volgens de zogenaamde Arbeids Hygiënische Strategie (AHS).

De AHS is in de wet vastgelegd en onderscheidt de volgende maatregelen die men achtereenvolgend moet nemen:

1. Vervanging van schadelijke stof of proces door een minder schadelijk stof of proces.
2. Afzuiging aan de bron en ventilatie van de ruimte.
3. Scheiding van mens en bron.
4. Persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM).

Het is duidelijk dat investeringen in lasrookbeheersings-systemen de totale laskosten verhogen. Men moet zich echter realiseren dat bij het gasbooglassen van ongelegeerd staal, zonder gebruikmaking van lasrookafzuig-systemen, de laskosten als volgt zijn verdeeld:

- ▶ ca. 10 % kosten lasmetaal;
- ▶ ca. 2 % investeringskosten;
- ▶ ca. 88 % loonkosten.

Investering in afzuig- en overige hulpapparatuur zal de kosten doen toenemen. Echter door investering in afzuigapparatuur en goede ventilatie zal de lasser zich 'comfortabel' voelen bij zijn werkzaamheden en zal zijn inschakelduur toenemen. Tevens is de kans groot dat zijn foutpercentage zal afnemen. Hierdoor neemt zijn productie per dag toe en zullen de extra investeringen in de vorm van ventilatie of afzuigapparatuur eerder terugverdiend kunnen worden dan gedacht.

Wat kunnen we in de (nabije) toekomst verwachten?

Allereerst zal men blijven streven naar het verlagen van de MAC-waarde voor lasrook, waarbij het streven is uit te komen op 1 mg/m³. Momenteel kan een groot deel van de Nederlandse industrie zonder meer niet voldoen aan de met ingang van 1 januari 2003 geldende MAC-waarde van 3,5 mg/m³, laat staan aan de waarde van 1 mg/m³. Het bedrijfsleven zal moeten investeren in goede afzuig- en ventilatie apparatuur. Alleen, daarmee zijn we er echter niet. Intensief onderzoek op het gebied van lasprocessen, lastoevoegmaterialen, beschermgassen, enz. zal nodig zijn om op termijn een verlaging van de lasrookconcentratie die lager is dan 3,5 mg/m³ te realiseren.

Voor verder informatie wordt verwezen naar de uitstekende Internet site www.lasrookonline.nl, een site die tot stand is gekomen door de gezamenlijke inspanning van het CNV, de FME-CWM, het FNV, de Metaalunie, het Ministerie van Sociale Zaken, het NIL, Syntens, de Unie en de VHP Metalektro.

15. Normen voor het lassen van dunne plaat

Hierna wordt een kleine selectie aan normen gegeven voor het lassen (van dunne plaat).

- ▶ NEN-ISO 10042:1994 NL
Booglasverbindingen in aluminium en lasbare aluminiumlegeringen; Richtlijn voor het vaststellen van kwaliteitsniveaus voor onvolkomenheden.
- ▶ NEN-EN 1011-1:1998 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 1: Algemene leidraad voor booglassen.
- ▶ NEN-EN 1011-1:1998/A1:2002 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 1: Algemene richtlijnen voor booglassen.
- ▶ NEN-EN 1011-2:2001 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 2: Booglassen van ferritische staalsoorten.
- ▶ NEN-EN 1011-3:2000 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 3: Booglassen van corrosievaste staalsoorten.
- ▶ NEN-EN 1011-4:2000 EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 4: Booglassen van aluminium en aluminiumlegeringen.
- ▶ NEN-EN 1011-5:2001 Ontw. EN
Lassen; Aanbevelingen voor lassen van metalen;
Deel 5: Lassen van geplateerd staal.
- ▶ NEN-EN 1011-7:2002 Ontw. EN
Lassen; Aanbevelingen voor het lassen van metalen;
Deel 7: Electronenbundellassen.

Veel meer normen kunnen worden gevonden op de website van het NNI (Nederlands Normalisatie Instituut). Deze website kan worden gevonden op het volgende Internet adres: www.nen.nl, via de index en de keuze Normenshop, evenals het invoeren van de gewenste keuze criteria, kan men een overzicht van alle beschikbare normen verkrijgen.

Auteur

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

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

Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur A. Gales (tel.: 040-2650247, e-mail: a.gales@ind.tno.nl)

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

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

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

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

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

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

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 Technische Bedrijfskunde
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: pbo@fme.nl
internet: <http://www.fme-cwm.nl>



Netherlands Institute
for Metals Research



Trends in de verbindingstechnologie van trucks

Meer lijm in vrachtautocabines

Drs. Suzan de Haas, DAF Trucks

Verbinden van onderdelen is een activiteit die in alle fabrieken van DAF een belangrijke rol speelt. Over het totaal van de directe medewerkers is circa 65% betrokken bij het verbinden. Feitelijk kan gesteld worden dat verbinden een kern fabricageactiviteit van DAF is. Dit artikel geeft een overzicht van de diverse verbindingstechnieken voor de body van de cabine. De huidige lijmverbindingen van kunststoffen en rubbers bij DAF worden belicht en vervolgens wordt ingegaan op de toekomstige rol van lijmen als verbindingstechnologie. Welke middelen zijn nodig, om dit in het bedrijf te kunnen realiseren?

Verbinden nu

Traditioneel worden vrachtwagencabines samengesteld uit staalplaten, die door middel van puntlassen aan elkaar verbonden worden. Deze productietechniek wordt veelvuldig toegepast in de vrachtwagenindustrie. Daarnaast is een andere methode ontstaan om cabines te bouwen, namelijk een metalen frame waaraan kunststof plaatdelen worden gelijmd. Inmiddels wordt deze methode al weer een hele tijd toegepast. Het metalen frame kan van staal of van aluminium zijn. Door toepassing van deze methode is het mogelijk gebleken 20% kostenbe-

Figuur 1. DAF XF met Super Space Cab.



sparing te realiseren in het productieproces. Dan is er nog een derde methode, waarbij gepuntlast plaatstaal met kunststof onderdelen wordt gecombineerd. De kunststof onderdelen zijn hierbij al dan niet gelijmd. Voorbeelden hiervan zijn de DAF XF en CF met hoog dak. **Figuur 1.**

Lijmen bij DAF

In tegenstelling tot wat veel mensen verwachten, wordt er tamelijk veel gelijmd bij DAF. Naast veel metaalverbindingen, waarbij lijm als structurele lijm, als borgmiddel of voornamelijk als afdichtmiddel fungeert, worden ook kunststoffen en rubbers gelijmd. **Tabel 1** geeft een overzicht van een aantal lijmverbindingen met kunststoffen en rubbers.

Met SuperSpaceCab worden de versies met het extra hoge dak van DAF's nieuwe XF aangeduid, de truck voor het zware internationale wegtransport. Dit dak bestaat uit een stalen frame en een glasvezelversterkte polyester hoed, met een PMMA ruit en een PMMA zonnekap. Deze samenstelling wordt in zijn geheel gelijmd met een één-componenten polyurethaanlijm. **Figuur 2 en 3.**

Ook het dak wordt gelijmd op de cabine, hoewel er ook een boutenverbinding tussen frame en cabine bestaat. De lijm zorgt voor een structurele lijmverbinding, en heeft ook een afdichtende werking. Plaatselijk tussen hoed en frame is de functie ook enkel het tegengaan van trillingen. Hiervoor wordt een flexibelere en minder sterke polyurethaanlijm gebruikt, die dan de naam kit krijgt. Een andere lijmsort, die in de vrachtwagen zit, is de 2-componenten polyurethaanlijm. Deze wordt toegepast voor de samenstelling van het hoogdak van de CF en van de side-skirts op de nieuwe XF truck. In beide gevallen gaat het om de structurele verbinding van verstijvingsribben aan de hoed, c.q. aan de buitenzijde van de skirt. Deze samenstellingen worden gelijmd bij de leveranciers van dak en side-skirt, maar het ontwerp vond plaats bij DAF. **Figuur 4, 5 en 6.**

Bij DAF wordt het hoogdak van de CF op de kataforesege-lakte cabine gelijmd met één-componenten polyurethaanlijm [1]. De functie van de lijm is hier nog meer die van een structurele verbinding dan bij de XF cabine, daar de bouten, waarmee het dak aan de cabine wordt gemonteerd enkel zorgen voor fixatie van het dak totdat de lijm is uitgehard. Daarnaast fungeert de lijm hier als afdichting en als geluidsdemping.

Toekomstige Productietechnologie

Trends die in de truck industrie waargenomen worden zijn:

1. Grotere aantallen produceren: leidt tot lagere kosten
 - meer identieke delen voor verschillende modellen
 - minder verschillende modellen

Tabel 1. Lijmverbindingen bij DAF.

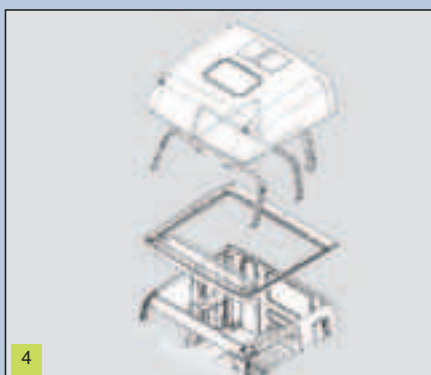
Type lijm	Toepassing
2 componenten epoxy	Topsleeper
	CF hoogdak
	Oliepeilstokhouder
Contactlijm	Tankrubbers
	Kachelrubbers
Secondelijm	Zijruitrubber aan cabine
Methacrylaatlijm	Kunststof kommetje van deurklink CF
	Deur gereedschapskistje CF
Pressure Sensitive Adhesives	Anti-fluïtrubber
	Engine badge
	Typeplaatjes
PUR oplosmiddellijm	Kabelbomen
1 K PolyUrethaan	SuperSpaceCab
	GVV-Polyester dak op stalen frame
	PMMA zonnekap aan GVV-polyester dak
	PMMA ruit aan polyester dak
	SuperSpaceCab samenstelling op cabine
	Vezelversterkt polyester CF hoogdak op cabine
	Voorruit CF
Zijruit en achterrauit CF en XF	
2 K PolyUrethaan	CF hoogdak samenstelling
	Side-skirt (zijspoiler) samenstelling



Figuur 2. Voorbehandelde hoed Super Space Cab.



Figuur 3. Lijm aanbrengen op frame Super Space Cab.



Figuur 4. Samenstelling hoogdakcabine DAF CF.

- modellen worden door verschillende merken op de markt gebracht
2. Modulair produceren
 3. Meer kunststoffen
 4. Meer lijm

Daarnaast zijn er ook een aantal trends in de auto-industrie op te merken, die vaak toekomstige trends in de truck industrie aankondigen:

1. Lichtgewicht
 - Meer hoge sterkte staal
 - Meer kunststoffen (SMART)
 - Meer aluminium (Audi A2)
2. Meer lijm

Modulair produceren

Modulair produceren betekent: meer en grotere componenten (modules) naast de hoofdlijn produceren. Er zijn enkele duidelijke redenen om modulair te produceren:

1. (Dure) componenten in grote aantallen kunnen maken betekend goedkoper produceren
2. Productietijdverkorting voor grotere productieaantallen
3. De vrachtwagen wordt steeds complexer. Als men de productietijd per voertuig niet wil verlengen, of de productielijn niet langer wil maken, dan moet dat naast de lijn. In de auto-industrie is de grote trend om zoveel mogelijk in grote modules te produceren, en deze dan in te bouwen in verschillende modellen auto's.

Neem bij DAF bijvoorbeeld de cabines. Er zijn drie soorten cabines. Als een module voor twee verschillende cabines identiek gemaakt kan worden, kan een productie aantal bereikt worden dat varieert tussen de 20.000 en 35.000 stuks. Voor drie cabines wordt het productie aantal in dat geval tussen 30.000 en 45.000 stuks. Boven de 20.000 stuks wordt bijvoorbeeld investeren in robots interessant; naarmate de productie verder boven de 20.000 komt zal de fabricage goedkoper worden. Daarom is het heel interessant om zoveel mogelijk met identieke modules te werken, waarbij toch elke cabine duidelijk een individueel karakter heeft. Dan kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een systeendrager, geïntegreerd in het dashboard, een bestuurdersstoel, een achterwand.

Een tweede reden om modulair te produceren is de tijd die op de hoofdlijn nodig is om een vrachtwagen te bouwen. Een stijgend marktaandeel zal waarschijnlijk leiden tot grotere productieaantallen. Daarvoor is een kortere doorlooptijd op de hoofdlijn gunstig. Een manier om de doorlooptijd te verkorten, is het plaatsen van een aantal activiteiten naast de hoofdlijn.

Als voorbeeld kan men nemen de achterassen op het chassis. Het kost meer tijd om twee achterassen te monteren dan één. Dat kan dus maar een beperkt aantal keren gedaan worden op een dag, om tegelijkertijd de productieaantallen te kunnen halen. Als deze activiteit naast de hoofdlijn geplaatst wordt, dan kan een onbeperkt aantal keren gemonteerd worden, zonder dat de hoofdlijn vertraging oploopt. Zo kunnen flexibeler en goedkoper voertuigen met een dubbele achteras geproduceerd worden. Modulair produceren heeft natuurlijk ook zijn beperkingen. Men moet extra aandacht besteden aan demonteerbaarheid. Het is niet de bedoeling dat wanneer het zeke-ringenkastje kapot gaat, het hele dashboard vervangen moet worden. Ook moet rekening worden gehouden met de risico van het verlies van serie-identiteit.

Als de eindlijn van de truckfabriek in Eindhoven als hoofdlijn beschouwd wordt, dan hebben we bij DAF natuurlijk al modules: de assen, de cabine en de motor. In de cabinefabriek in Westerlo zijn de deuren, de kachel en de he-



Figuur 5. Lijmen hoogdak op cabine DAF CF.



Figuur 6. Plaatsen hoogdak op cabine DAF CF.

melkast modules. Deze worden naast de hoofdlijn samengesteld, of als geheel ingekocht en dan in de cabine geplaatst. In de toekomst zou een verdere modularisering in de cabinefabriek overwogen kunnen worden. Naast de genoemde voordelen is er ook een ergonomische verbetering en kunnen fouten bijtijds worden onderkend, in plaats van aan het eind van de hoofdlijn, wat weer leidt tot betere productiekwaliteit.

Lijmen

Als bevestigingstechniek is lijmen van grote modules een goede optie, die reeds in de industrie wordt toegepast. De belangrijkste redenen hiervoor zijn dat de modules reeds ingericht en gelakt zijn wanneer ze verbonden worden, waardoor lassen of klinken geen optie is. Van de twee alternatieve structurele verbindingen, lijmen of boutverbindingen, is lijmen het goedkoopst. **Tabel 2** noemt de voor- en nadelen van lijmen.

Tot slot

Concluderend kan men stellen, dat de trend om meer modulair te produceren de toepassing van lijmen in de toekomst verder zal versterken. Om daarop voorbereid te zijn, is opbouw van kennis en ervaring nodig van het duurzaam doorleiden van grote krachten via lijm, en liefst via een oppervlak met top-coating erop. Om dit te bereiken,

Tabel 2. Voordelen en beperkingen van lijmen. Voordelen:

- Ongelijksoortige materialen verbinden
- Onzichtbaar
- Meer ontwerprijheid
- Afdichtfunctie
- Damping van trilling en geluid
- Gelijmatige spanningsverdeling
- grote krachten
- minder vermoeiing
- Dunner materiaal
- Lichtgewicht
- Milieu
- Goedkoper dan lassen en boutverbindingen

Beperkingen

- Alleen flexibele lijmen zijn demontabel
- Tijdelijk extra fixatie nodig
- Lijmen is een vak
- ontwerpen
- werkvloer

moet men hoger belaste verbindingen gaan lijmen en lijmen op aflat onderzoeken. Opleiding van medewerkers in productie en product-ontwikkeling tot gecertificeerd lijmer of tot lijm-ingenieur is belangrijk. En natuurlijk moeten we op de hoogte blijven van nieuwe lijmtechnologie, zoals lijmen van PP en PE zonder primer, en structureel lijmen met tape.

Referenties

1. S.G.O. de Haas (2001) Proces- en controlevoorschrift van de verlijming van het kunststof hoogdak van 10500 op de cabine, intern rapport DAF Trucks N.V.

Drs. Suzan de Haas

**Specialist Materialen & Processen - lijmen en kitten-
Centraal Laboratorium DAF Trucks, Eindhoven**

Tel 040 – 214 91 11

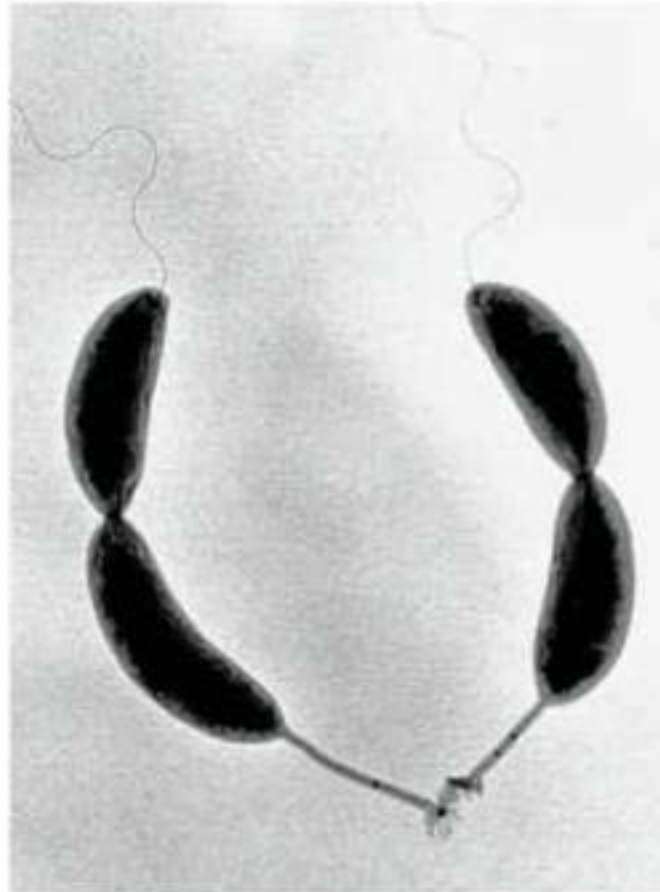
Fax 040 – 214 43 25

www.daftrucks.com

Bacterie maakt de sterkste lijm

Door onze redactie wetenschap

ROTTERDAM, 11 APRIL. Onderzoekers hebben een bacterie gevonden die zich hecht aan een ondergrond met een zelfgemaakte lijm die veel krachtiger is dan de beste lijm die in winkels verkrijgbaar is. Het is de sterkste lijm die ooit in de natuur is gevonden, zo schrijven de onderzoekers onder leiding van de fysicus Jay Tang van Brown University in Providence (Rhode Island) vandaag in het wetenschappelijke tijdschrift *Proceedings of the National Academy of Sciences*. De bacterie, *Caulobacter crescentus*, leeft in rivieren, kanalen en pijpleidingen. Om hem los te krijgen van de buitenkant van een glazen pipet moesten de onderzoekers eraan trekken met een kracht van gemiddeld een duizendste newton. Gezien het kleine oppervlak waarmee de bacterie zich hecht, bedraagt die trekkracht per vierkante millimeter 70 newton. Een kleine koe (gewicht 550 kilo) die aan een één centimeter dik touw bungelt veroor-



De bacterie *Caulobacter crescentus*

zaakt in dat touw een vergelijkbare spanning.

De ongevaarlijke bacterie *C. crescentus* hecht zich met een langgerekt uitsteeksel aan stenen of de binnenkant van waterleidingen. Het uiteinde van het uitsteeksel is bekleed met plakkerige koolhy-

draten (ketens van suikermoleculen). Dit plakkerige goedje is interessant, omdat het sterk is en werkt op een nat oppervlak. Het aanmaken van grote hoeveelheden zal een probleem zijn, omdat het vastplakt aan alles wat je gebruikt om het te produceren. De onderzoekers kweekten speciale mutanten van de bacterie die hun lijm op glas achter lieten, maar kregen de lijm daarna niet los.

Om de plakkracht te bepalen vingen de onderzoekers *C. crescentus* in de punt van een pipet. Vervolgens kreeg de bacterie de kans om zich met zijn lange uitsteeksel te hechten aan een oppervlak van glas. In 14 proeven kwam de bacterie los bij een kracht van tussen 0,11 duizendste en 2,26 duizendste newton. Nadere studie toonde aan dat het puntje van het uitsteeksel van de bacterie vaak brak terwijl het uiteinde aan het glas bleef vastzitten. Jay Tang bevestigt desgevraagd dat dit kan betekenen dat de lijm nog sterker is dan in de publicatie is gemeld.

Lijmen

M. L. de Jager
Perfecta International
Postbus 160, 4460 AD Goes

Dit artikel is een herziening van Chemische Feitelijkheid nr. 059 (augustus 1988); de oorspronkelijke feitelijkheid werd geschreven door C. Rijk/M. L. de Jager, Perfecte Research, Goes.

1.	Inleiding	134- 3
2.	Waarom lijmen?	134- 3
3.	De theorie van het lijmen	134- 4
4.	De samenstelling van lijmen	134- 5
5.	Lijmsorten	134- 6
6.	Productie en verbruik	134- 8
7.	Lijnkeuze	134- 8
8.	Nieuwe ontwikkelingen	134- 9
9.	Veiligheids- en milieuaspecten	134- 9
10.	Literatuur	134-10

Chemische Feitelijkheden is een uitgave van Samsom H.D. Tjeenk Willink bv in samenwerking met de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging.

1. Inleiding

Lijmen is een verbindingstechniek, net als bijvoorbeeld solderen en schroeven. Men spreekt van lijmen wanneer twee materialen aan elkaar worden bevestigd met behulp van een niet-metallische tussenstof die zich aan beide oppervlakken hecht en die zelf ook voldoende sterkte bezit. Deze tussenstof wordt lijm genoemd. Kenmerkend is ook nog dat de lijm meestal in een relatief dunne laag wordt aangebracht en vanuit een vloeibare fase overgaat in een vaste of rubberachtige fase.

Lijmen is zeker geen recent ontwikkelde techniek. Reeds in de oudheid werd veelvuldig lijm gebruikt, die gebaseerd was op natuurlijke of in de natuur gevonden producten zoals Arabische gom, eiwit, hars en bitumen. In de moderne samenleving heeft met de introductie van rubbers en kunststoffen de lijmtchniek een enorme opgang gemaakt. Men kan zich nu nog nauwelijks een industrietak of huishoudens voorstellen waarin geen lijm wordt gebruikt.

Omdat lijm het de hobbyist en de doe-het-zelver steeds gemakkelijker en aantrekkelijker maakt zelf allerlei klussen op te knappen en wensen te realiseren zal in deze Chemische Feitelijkeid lijm voor particulier gebruik centraal staan.

2. Waarom lijmen?

In vergelijking met andere verbindingstechnieken heeft lijmen een aantal duidelijke voor- en nadelen.

Voordelen zijn onder andere:

- met lijm kan men niet-gelijksoortige en zeer dunne materialen met elkaar verbinden;
- de verbindingskrachten worden gelijkmatig verdeeld;
- de te lijmen materialen worden niet vervormd of verzwakt zoals bij bijvoorbeeld klinken en nieten het geval is;
- een lijmverbinding is in staat verschillen in uitzetting en krimp tussen de verlijmde materialen op te vangen. Ook flexibele verbindingen zijn mogelijk;
- een lijmverbinding is vaak onzichtbaar;
- verbindingen kunnen vloeistof- en luchtdicht gemaakt worden;

134-4 Lijmen

- verbindingen kunnen elektrisch isolerend of geleidend gemaakt worden;
- lijmen veroorzaakt geen lawaai zoals bij klinken, spijkeren en dergelijke het geval is;
- het lijmproces is vaak gemakkelijk te automatiseren.

Nadelen zijn onder andere:

- de te lijmen materialen moeten soms zorgvuldig worden voorbehandeld zoals opschuren en reinigen;
- de verkregen hechting is moeilijk te controleren;
- er dient een drogings- of verhardingstijd in acht genomen te worden;
- lijmen kunnen gevoelig zijn voor omgevingsinvloeden zoals vocht en temperatuur;
- lijmen kunnen stoffen bevatten waaraan gezondheidstechnische bezwaren kleven;
- de verwerking stelt eisen aan de werkomgeving zoals de gebruikstemperatuur en stofvrijheid;
- lijmverbindingen zijn vaak niet meer op eenvoudige wijze los te nemen.

3. De theorie van het lijmen

Het lijmen is een samenspel tussen cohesie- en adhesiekrachten. De cohesiekrachten zijn de krachten tussen de lijmmoleculen onderling die zorgen voor een goede samenhang en sterkte van de lijm zelf. De adhesiekrachten zijn de krachten tussen de lijm en het te lijmen materiaal. Deze adhesiekrachten bestaan uit een drietal factoren die al dan niet gelijktijdig werkzaam zijn: adsorptie, diffusie en mechanische verankering.

Adsorptie is de aantrekkingskracht tussen de moleculen van de lijm en die van het te lijmen oppervlak.

Diffusie treedt op als de lijmmoleculen in het oppervlak van het te lijmen materiaal dringen en zich ermee vermengen. Mechanische verankering wordt ook wel het drukknop-effect genoemd, omdat de lijm in bijvoorbeeld poriën overgaat van de vloeibare naar de vaste fase en zich op die manier verankert.

Het bovenstaande laat zien dat het voor een goede adhesie noodzakelijk is dat de lijm de te verbinden oppervlakken goed bevochtigt, de lijm voldoende vloeibaar is en het oppervlak voldoende groot.

4. De samenstelling van lijmen

De meeste lijmen bestaan uit een aantal grondstoffen die vereenvoudigd in de volgende groepen kunnen worden ingedeeld:

- bindmiddel;
- vloeistof;
- toeslagstoffen.

Bindmiddel

Het bindmiddel is de basisgrondstof en zorgt voor de hechting. Het gaat daarbij vaak om hoogmoleculaire verbindingen. Omdat er heel veel te lijmen materialen zijn, zijn ook veel verschillende bindmiddelen nodig. Meestal zijn het synthetische grondstoffen, maar soms worden ook wel natuurlijke grondstoffen gebruikt, zoals zetmeel, caseïne en natuurrubber. Het bindmiddel bepaalt voor een belangrijk deel de lijmeigenschappen.

Vloeistof

Omdat bindmiddelen vaak vaste stoffen zijn, moeten deze voor gebruik vloeibaar worden gemaakt. Het bindmiddel wordt opgelost of gedispergeerd in de vloeistof. Deze vloeistof kan een organisch oplosmiddel of een mengsel hiervan zijn, maar ook water. De vloeistof verdwijnt door verdamping en/of opzuiging in de ondergrond, waarna de vaste lijm achterblijft.

Toeslagstoffen

Dit is een grote, heel diverse groep van grondstoffen. Voorbeelden zijn conserveermiddelen, bevochtigers, hechtungsversterkers en verdikkingsmiddelen, die vaak maar in kleine hoeveelheden worden toegevoegd.

Een ander soort toeslagstof is de vulstof, die bijvoorbeeld gebruikt kan worden om een lijm vullend vermogen te geven.

Er zijn ook lijmen waarbij geen vloeistof nodig is. Dit zijn lijmen waarbij het bindmiddel zelf vloeibaar is en door een chemische reactie met een andere component, zoals een verharder of water uit de omgeving, overgaat in de vaste fase. Ook smeltlijmen bevatten geen vloeistof, omdat hier door verwarming de lijm vloeibaar wordt en na afkoeling weer vast.

5. Lijmsorten

Lijmen kunnen op vele manieren worden ingedeeld. Het zijn vaak complexe mengsels van grondstoffen.

Belangrijke verschillende in de kenmerken van een lijm zijn veranderd in de chemische samenstelling, verschijningsvorm en toepassing.

Een praktische en overzichtelijke indeling is hieruit af te leiden:

- lijmen waarbij het bindmiddel is opgelost;
- lijmen waarbij het bindmiddel is gedispergeerd;
- reactieve lijmen;
- smeltlijmen;
- zelfklevende lijmen.

Lijmen waarbij het bindmiddel is opgelost

Het oplosmiddel kan een of meer organische oplosmiddelen zijn of water. Deze groep kan men verder weer onderverdelen naar de aard van de basisgrondstof in lijmen op basis van rubbers en lijmen op basis van thermoplastische polymeren en harsen.

Veel gebruikte rubbers zijn polychloropreenrubber (neopreen), polyurethaanrubber, thermoplastisch rubber, styreenbutadieenrubber en natuurrubber.

Een heel bekend voorbeeld van een rubberlijm is de polychloropreen-contactlijm die zeer veelzijdig toepasbaar is. Het oplosmiddelenmengsel bestaat vaak uit oplosmiddelen als aceton, methylethylketon, ethylacetaat, cyclohexaan en alifatische koolwaterstoffen.

Veel gebruikte harsen en thermoplastische polymeren zijn polyvinylacetaat, polyvinylchloride en copolymeren, polystyreen, gomhars, polyvinylalcohol en polyvinylpyrrolidon. Een bekend voorbeeld van

zo'n lijm is de kleurloze knutsellijm op basis van polyvinylacetaat in oplosmiddelen als aceton, methylacetaat en alcohol.

Een ander bekend voorbeeld is de plakstift, die bestaat uit polyvinylpyrrolidon opgelost in water waaraan met behulp van een zeep structuur is gegeven.

Een bijzondere groep vormen de harsen die voor gebruik in water opgelost moeten worden. Het meest sprekende voorbeeld hiervan zijn behangplaksels op basis van cellulose- en zetmeelderivaten.

Lijmen waarbij het bindmiddel is gedispergeerd

Het bindmiddel is hierbij in vrijwel alle gevallen gedispergeerd in water. Deze lijmen nemen een steeds belangrijker plaats in. Ook hier wordt weer de verdeling in lijmen op basis van rubbers en op basis van thermoplastische polymeren en harsen gemaakt. In deze groep zijn echter lijmen op basis van gedispergeerde harsen veruit het belangrijkste.

Veel gebruikte thermoplastische polymeren zijn vinylacetaat- en vinylacetaatcopolymeren, acrylaten en styreenacrylaten. Gebruikte rubbers zijn natuurrubber, polychloropreenrubber en styreenbutadienrubber. Bekende voorbeelden van dispersielijmen zijn polyvinylacetaatlijmen voor hout en parket, styreenacrylaat voor tegellijmen en acrylaten voor vloerlijmen.

Reactieve lijmen

Deze zijn weer te verdelen in 1-component- en 2-componentenlijmen. Voorbeelden van 1-componentlijmen zijn cyanoacrylaten (superlijmen, secundelijmen), UV-uithardende en anaeroob-uithardende acrylaten, polyurethanen met vrije isocyanaatgroepen en siliconen.

De uitharding kan verlopen door polymerisatie van laagmoleculaire verbinding door initiatie met bijvoorbeeld OH-ionen voor cyanoacrylaten en UV-licht of metaalionen voor speciale acrylaten, of door een reactie met een tweede component uit de omgeving. Deze tweede component is vrijwel altijd water dat direct met het bindmiddel reageert – zoals bij de polyurethanen met vrije isocyanaatgroepen – of waarbij het water een reactieve component vrijmaakt, zoals bij siliconenkitten.

Voorbeelden van 2-componentenlijmen zijn polyurethaanlijmen en

epoxylijmen. Hierbij reageren een hars en een verharder met elkaar tot een vast product. De mengverhouding kan afhankelijk van de gebruikte grondstoffen zeer verschillend zijn.

Smeltlijmen

Deze lijmen zijn vaak gebaseerd op vinylacetaat-ethyleencopolymeren. Voor het gebruik moeten ze gesmolten worden. Hiervoor worden in de consumentenmarkt zogenaamde lijmpistolen met smeltpatronen geleverd.

Zelfklevende lijmen

Deze worden meestal geleverd op een drager. Deze drager kan een- of tweezijdig van lijm voorzien zijn naar gelang de toepassing. Veel gebruikte basisgrondstoffen voor zelfklevende lijmen zijn natuurrubber, thermoplastisch rubber en acrylaten.

6. Productie en verbruik

Het Nederlandse lijmgebruik wordt op ca. 80.000 ton per jaar geschat waarvan ca. 4 ton consumentelijmen zijn. Verder exporteert Nederland nog ca. 20.000 ton per jaar.

7. Lijmkeuze

Door de enorme verscheidenheid aan materialen, de aard en uitvoering van de verbinding, de aan de verbinding te stellen eisen en dergelijke is een juiste lijmkeuze op het eerste gezicht niet eenvoudig. Lijmfabrikanten onderkennen dit probleem en zijn de consument behulpzaam bij de keuze door gerichte informatie op de verpakking, overzichtelijke lijmwijzers en lijmadviescomputers bij het schap en informatiebrochures waardoor de juiste keuze een stuk eenvoudiger wordt.

8. Nieuwe ontwikkelingen

Ontwikkelingen voor de consumentenmarkt richten zich momenteel vooral op het gebruiksvriendelijker maken van lijmen. Voorbeelden hiervan zijn een nieuwe generatie, vrijwel geurloze, vloerlijmen en een nieuwe generatie cyanoacrylaten, die geen prikkelende geur meer bezitten en universeler toepasbaar zijn.

Ook door het aanbieden van speciale klusgerichte lijmen wordt de toepassing van lijmtechnieken voor de doe-het-zelver en hobbyist eenvoudiger.

9. Veiligheids- en milieuaspecten

Lijmen kunnen stoffen bevatten die invloed hebben op de gezondheid van de verwerker en op het milieu. De lijmfabrikanten besteden veel onderzoek aan het zoveel mogelijk beperken van deze stoffen, maar soms zijn ze nog onmisbaar. Om de consument te helpen met een bewuste keuze een hem opmerkzaam te maken op de juiste omgang met het product, zijn er twee verplichte wettelijke aanduidingen op de verpakking, namelijk de gevaren-etikettering (Wet milieugevaarlijke stoffen) en het Kca-logo (Besluit aanwijzing gevaarlijke afvalstoffen).

De gevaren-etikettering waarschuwt voor fysisch-chemische gevaren (ontvlambaar, oxiderend) en voor gezondheidsgevaren (irriterend, gezondheidsschadelijk, bijtend, giftig) met behulp van symbolen, waarschuwingen voor bijzondere gevaren en veiligheidsaanbevelingen.

Het Kca-logo geeft aan of restanten van het product als klein chemisch afval moeten worden afgevoerd.

Daarnaast zijn er nog andere niet zichtbare voorschriften van toepassing, zoals eliminatie van ozonaantastende oplosmiddelen als 1,1,1-trichloorethaan en het convenant KWS 2000. De laatste regeling beoogt een reductie van 50% in de emissie van vluchtige organische oplosmiddelen naar de atmosfeer, in het jaar 2000. Deze laatste regeling vraagt een reductie van 50% t.o.v. het jaar 1981. Dit in verband met de schadelijkheid van deze stoffen voor de ozonlaag. Voor het werken met lijmen geldt, net als bij het werken met verf, huishoudchemicaliën e.d., dat een goede arbeidshygiëne belangrijk is.

134-10 Lijmen

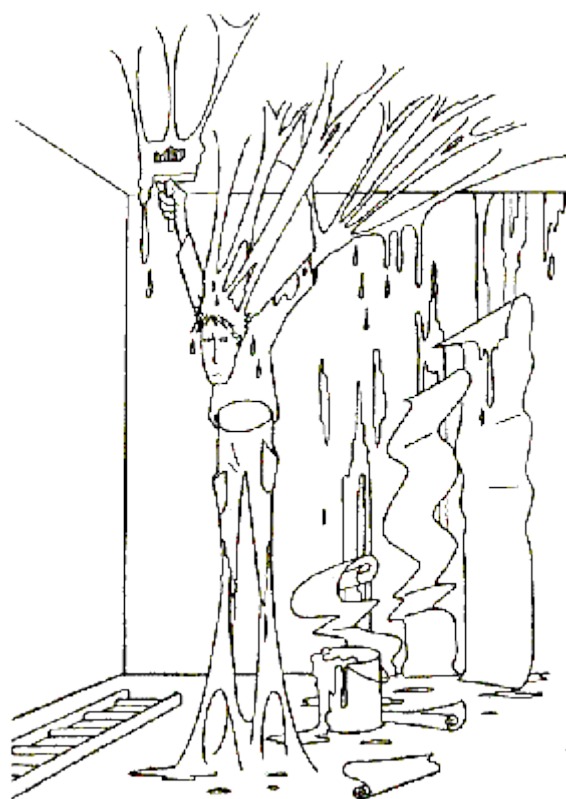
10. Literatuur

- *LIJMEN wat, waarmee en hoe*; Uitgeverij M&P bv, Weert; ISBN 90 5112 057 5.
- **LIJMSOORTEN VOOR DE DOE-HET-ZELF-MARKT**; uitgave branchevereniging Vereniging Nederlandse Lijmindustrie (VNL), Leidschendam.

LIJMEN



ER KLEeft EEN GEURTJE AAN



INHOUDSTAFEL

INLEIDING

SAMENSTELLING VAN LIJMEN

Bindmiddelen
Water is de beste oplossing !
Bewaarmiddelen
Andere hulpstoffen

SOORTEN LIJM

Allesklevers of universeellijmen
Contactlijmen
Seconden- of superlijm
Natuurlijmen
Twee-componentenlijm
Houtlijmen
Behanglijm
Speciale rubber-, leer-, textiel- en
plasticlijmen
Stopverf, voegkitten en lijm voor tegels
Lijmen voor vloerbedekking

MILIEU EN GEZONDHEID

Gezondheidsrisico's
Verpakking
Tips

KEUZE VAN EEN LIJM

COLOFON

•••INLEIDING•••

Iedereen heeft vroeg of laat wel eens lijm nodig. De vaas die je van Tante Lea geërfd hebt is bij het afstoffen uit je handen geglipt, de zolen van je sportschoenen komen los of je jongste moet voor school een collage maken. Je schoenzolen lap je echter niet op met behanglijm en je gebruikt evenmin secondenlijm voor die collage.

Ook voor het milieu en de gezondheid zijn niet alle lijmen gelijk. De ene lijm kan heel wat meer gezondheidsrisico's en milieubezwaren opleveren dan de andere, zowel tijdens de productie, bij het gebruik, als in de afvalfase. Bij industrieel gebruik dienen daarom soms

strengere veiligheidsmaatregelen in acht te worden genomen. Veel doe-het-zelvers zijn zich niet bewust van de gevaren die aan lijmen verbonden zijn. Ook omdat fabrikanten karig zijn met informatie lijken voorzorgsmaatregelen bij het klussen nogal eens overdreven.

Deze brochure geeft je meer inzicht. Hoewel de nadruk ligt op de mens- en milieuvriendelijkheid van de producten, komen er in dit boekje een heleboel praktische werktips en -adviezen voor. Daardoor spaar je niet alleen het milieu en je gezondheid, maar ook je portefeuille.

●●●SAMENSTELLING VAN LIJMEN●●●

Lijmen hebben, alnaargelang het type, een verschillende samenstelling. Meestal bestaat een lijm uit één of ander bindmiddel, een oplosmiddel en nog een reeks hulpstoffen.

BINDMIDDELEN

Het bindmiddel is het centrale bestanddeel van een lijm. Meestal gaat het om polymeren. Dat zijn lange chemische ketens die een soort 'bruggen' tussen de aan elkaar te kleven stukken vormen.

Er bestaan zowel lijmen op basis van natuurlijke grondstoffen, als op basis van kunstpolymeren. Zowel de productie van kunststoffen als de bewerking van natuurlijke grondstoffen zijn in de regel niet erg milieuvriendelijk. Vooral gechloreerde bestanddelen van montage-, contact-, rubber- en plasticlijmen, worden beter vermeden.

WATER IS DE BESTE OPLOSSING

Het oplosmiddel zorgt ervoor dat de lijm niet kleeft tijdens de bewaring en dat hij smeerbaar is. Door de uitdamping van het oplosmiddel droogt de lijm maar komt het oplosmiddel in de werkplaats en het milieu terecht. Lijmen op basis van water of zonder organische oplosmiddelen zijn daarom te verkiezen.

Als je toch met een lijm met oplosmiddel werkt, wees dan zuinig en zorg voor een goede verluchting tijdens het lijmen en het drogen. Heel wat organische oplosmiddelen verstoren immers het zenuwstelsel en sommige vertonen kankerverwekkende eigenschappen. Bij huidcontact kunnen irritatie en ontvetting van de huid optreden waardoor andere giftige stoffen gemakkelijker het lichaam binnendringen. Bovendien dragen veel van de vluchtige oplosmiddelen bij tot smogvorming of tot de vernietiging van de ozonlaag en is ook hun productie milieubelastend.

BEWAARMIDDELEN

Aan natuurlijke of gemakkelijk afbreekbare lijmen worden veelal bewaarmiddelen tegen bacteriën en schimmels toegevoegd. Veel van de gebruikte stoffen zijn echter schadelijk. Ze



kunnen huidaanandoeningen en misselijkheid veroorzaken. Sommige worden ervan verdacht kankerverwekkend te zijn en het erfelijk materiaal aan te tasten.

Zelf te bereiden lijmen in poedervorm die geen bewaarmiddelen vereisen, of lijmen met weinig of onschadelijke bewaarmiddelen, toegelaten in de voedingsindustrie, verdienen de voorkeur.

ANDERE HULPSTOFFEN

Om de werking of het gebruik te verbeteren worden aan lijmen extra stoffen toegevoegd. Buiten de vulstoffen komen de meeste hulpstoffen slechts in kleine hoeveelheden voor.

Vullers zijn veelal inactieve stoffen die enkel dienen om het volume te vergroten, zodat spleten tussen te hechten stukken worden opgevuld. De meeste zijn vrij onschadelijk, maar bij gebruik van zelf te bereiden poederlijm moet men toch voorzichtig te werk gaan. Opstuivende stofdeeltjes kunnen ingeademd worden en in de longen terechtkomen.

Behalve deze hulpstoffen wordt nog een breed spectrum andere stoffen toegevoegd, zoals harders, weekmakers, stabilisatoren, anti-oxidanten, katalysators, kleurstoffen, enz... Een aantal daarvan is erg giftig. Ze kunnen de slijmvliezen aantasten en eczeem of huidirritaties veroorzaken, zeker in combinatie met oplosmiddelen die de huid ontvetten.

•••SOORTEN LIJM•••

ALLES- OF UNIVERSEELLIJM

Een samenstelling is niet zo maar te geven, maar veel van deze lijmen hebben harsen of vinylpolymeren als bindmiddel. Het betreft een vrij brede waaier van producten, geschikt

voor verschillende, maar zeker niet alle toepassingen. Het gebruik is zeer eenvoudig, maar de droogtijd lang.

De reeds ruim verspreide varianten op waterbasis vertonen vrijwel dezelfde plakprestaties als die met meer schadelijke organische oplosmiddelen.

CONTACTLIJMEN

Praktisch alle contactlijmen worden gemaakt op basis van kunstrubber in een oplosmiddel. Er zijn er tegenwoordig echter ook een aantal te verkrijgen op basis van water. Door zijn soepelheid na droging is deze lijm zeer geschikt voor leer, rubber en kunststof, maar ook voor hout en ceramiek.

De beide vlakken moeten met de lijm worden ingesmeerd, daarna enkele minuten drogen en onmiddellijk op de juiste plaats stevig tegen elkaar gedrukt worden.

SECONDEN- OF SUPERLIJM

Dergelijke cyanoacrylaatlijm is te koop in zeer kleine tubes. Eén enkel druppeltje ervan volstaat om glas, ceramiek, metaal, rubber of kunststof in enkele seconden onwrikbaar aan elkaar te hechten.

Het snel uitharden van deze lijm levert ook het grootste gevaar op. Hou de tube buiten het bereik van kinderen en contacteer in ieder geval een arts als vingers of oogleden aan elkaar kleven.

NATUURLIJMEN

Lijmen met natuurlijke ingrediënten worden gemaakt op basis van plantaardige bestanddelen (gommen, latex, rubber, zetmeel of hars) of dierlijke producten (beender- of visextracten, gelatine).

Ze zijn geschikt voor licht lijmwerk (papier, hout, karton, textiel, ...) en zijn te verkrijgen in de vorm van een poeder dat men zelf in water moet oplossen, of kant-en-klaar in plastic potjes (al dan niet met een kwastje). De voorbereide lijm bevat echter meestal bewaarmiddelen van bedenkelijk allooi.

TWEE-COMPONENTENLIJM

Het bindend polymeer wordt hier gevormd door een epoxyhars te mengen met een uitharder.

De lijm heeft een zeer breed toepassingsveld (metalen, kunststoffen, steen, aardewerk, glas, hout, ...) en is waterbestendig. Meestal bevat de lijm geen of weinig oplosmiddel, maar epoxyhars en diverse hulpstoffen kunnen huidirritaties veroorzaken.

HOUTLIJMEN

Voor licht houtwerk volstaat gewone, niet giftige, witte of gele houtlijm in waterige oplossing. Om eventuele schadelijke bewaarmiddelen te vermijden, kunnen poedervormige lijmen gebruikt worden.

Voor het zware werk of voor buitenshuis zijn vanuit gezondheids- en milieu-oogpunt oplosmiddelvrije smeltlijmen (met pistool) te verkiezen boven de meer schadelijke polyurethaanlijmen of twee-componentenlijmen op basis van formaldehydharzen.

BEHANGLIJM

Het hoofdbestanddeel van behanglijmen is meestal stijfsel, cellulose of hars. We kennen ze als poeder dat in water dient te worden opgelost. Let erop dat het poeder niet teveel opstuift bij de bereiding.

Er bestaat ook kant-en-klare behanglijm, maar die vergt overdadig veel verpakking en kan enkel bewaard worden met behulp van veelal schadelijke conserveringsstoffen.

SPECIALE RUBBER-, LEER-, TEXTIEL- EN PLASTICLIJMEN

De samenstelling van deze lijmen is zeer divers, maar meestal bevatten ze organische oplosmiddelen. Een alles- of contactlijm, liefst op waterbasis, vormt voor de meeste toepassingen een goed alternatief.

STOPVERF, VOEGKITTEN EN LIJM VOOR TEGELS

Tegellijm bestaat in verschillende uitvoeringen, meestal in de vorm van poeder op basis van kleefmortel of -gips. Er bestaan echter ook voorbereide kittens. Beide bevatten ze vrij veel vulstoffen en zijn ze weinig schadelijk.

Kittens op basis van siliconen, polyurethaan of polysulfide belasten de gezondheid en het milieu meer.

LIJMEN VOOR VLOERBEDEKKING

Veel lijmen of fixeerdere voor de bevestiging van tapijten, parkettegels en andere vloerbedekkingen bevatten oplosmiddelen en andere schadelijke stoffen. Fixeerdere op

water- of alcoholbasis zijn aan te bevelen, zeker omdat het om het gebruik van grote hoeveelheden binnenshuis gaat.

Tapijten kunnen echter ook gewoon los op de grond liggen als ze niet te groot zijn. Voor grotere oppervlakken kan men vast tapijt door een vakman laten spannen.



•••MILIEU EN GEZONDHEID•••

GEZONDHEIDSRISICO'S

De risico's beperken zich niet enkel tot de doe-het-zelver, maar ook huisgenoten en omgeving kunnen nadelige gevolgen ondervinden van de gebruikte chemicaliën.

Een aantal gevaarlijke stoffen in lijmen brengen problemen mee als ze in contact komen met de huid of de slijmvliezen. Andere zijn pas gevaarlijk als ze het lichaam binnendringen. Dat kan gebeuren via de huid (spatten of morsen), de longen (door inademing van vluchtige stoffen of poeder) of de mond (bij inslikking, eventueel met voedsel of drank, tijdens of na het werk).

Sommige gevolgen doen zich snel gelden, maar andere schade komt soms pas jaren later aan het licht. De huid en de slijmvliezen kunnen geïrriteerd worden of er kunnen overgevoelheidsreacties als eczeem of allergie optreden. Het ademhalingsstelsel kan aangetast worden (van eenvoudige keelpijn tot astmatische toestanden of longkanker). Het zenuwstelsel is zeer gevoelig voor bijvoorbeeld oplosmiddelen. Dat kan leiden tot misselijkheid en hoofdpijn. Ook lever, nieren, urineblaas, beenmerg en het weerstandsstelsel kunnen door allerlei giftige stoffen in lijmen worden aangetast. Chemicaliën die het erfelijk materiaal kunnen veranderen of kanker kunnen veroorzaken zijn reeds in zeer kleine hoeveelheden gevaarlijk.

Andere mogelijke risico's zijn brand- en ontploffingsgevaar doordat lijmen niet zelden brandbare producten bevatten. Alle bronnen van vuur, onder meer ook roken, zijn dus uit den boze.

Tenslotte moet men met sommige sneldrogende of superkrachtige lijmen extra voorzichtig zijn. Vingers en oogleden kunnen onwrikbaar aan elkaar geplakt worden. Laat kinderen nooit met seconden- of superlijm in contact komen.

Bij vergiftiging of een ongeval met lijm, zo snel mogelijk je huisarts of het anti-gifcentrum contacteren.

VERPAKKING

Lijmen worden alnaargelang van hun type meestal verkocht in flesjes (soms met borsteltje), tubes, potjes (eventueel met spatel), stiften of spuitbussen.

Omdat de meeste verpakkingen na gebruik in de afvalstroom terechtkomen is praktisch elke vermindering ervan een verbetering voor het milieu. Veel fabrikanten doen dan ook een inspanning om bijvoorbeeld overbodige PVC-blisters achterwege te laten.

Wateroplosbare poederlijmen voor papier, hout en behang hoeven geen plastic, maar kunnen gewoon in een papieren zak of een kartonnen doosje.

Lijmen in spuitbussen bevatten misschien geen CFK's meer die de ozonlaag aantasten, maar wel meer schadelijke oplosmiddelen dan de niet-sprays. Door de verstuiving tijdens het gebruik worden ze daarenboven door de gebruiker meer ingeademd .

Bij secondenlijm hebben sommige fabrikanten doseerknoppen voorzien om het gebruiksgemak te verhogen en de meeste mini-tubes hebben kinderveilige dopjes om ongevallen te voorkomen. Dit neemt niet weg dat deze, en andere lijmen, buiten het bereik van kinderen worden gehouden, zowel tijdens het klussen als daarbuiten.

TIPS



- Om brandgevaar te voorkomen en de inademing van oplosmiddelen te beperken zorg je best voor een goede ventilatie.
- Eet, drink of rook nooit tijdens het werken met lijm en was daarna steeds je handen.
- Draag handschoenen of 'barrier creams' en verwijder lijmvlakken zo snel mogelijk van je huid.
- Let goed op welke producten je koopt. Kies lijmen die naar verhouding minder milieubelastend zijn (bijvoorbeeld op waterbasis) en vermijd producten die oplosmiddelen en andere schadelijke stoffen bevatten. Lijmen met oplosmiddelen dragen meestal een 'brandgevaar'-symbool en irriterende stoffen herken je aan het 'Sint Andreaskruis'.



- Koop nooit teveel lijm. Over het algemeen is de houdbaarheid, zelfs als die niet op de verpakking staat, beperkt tot 1 of 2 jaar. De resten zal je dus toch moeten weggooien.
- Let bij je aankopen ook op de verpakking. Hoe minder plastic blisters en andere extra verpakkingen, hoe minder afval je produceert.
- Klein gevaarlijk afval, zoals lijmresten en oplosmiddelen horen niet thuis bij het gewone afval, maar dienen bij de daartoe georganiseerde inzamelpunten terecht te komen (milieubox of groene plekje).

•••KEUZE VAN EEN LIJM•••

Bij de keuze van een lijm spelen zowel de plakprestaties als de invloed op milieu en gezondheid, een belangrijke rol.

Voor veel toepassingen bestaan speciale lijmen, maar huishoudelijke lijmen die minder schadelijk zijn voor milieu en gezondheid volstaan meestal. Bovendien hoeft je dan geen dure lijm extra aan te kopen.

De onderstaande lijmwijzer geeft aan voor welke toepassingen men welke lijm kan gebruiken. De lijst is opgesteld in min of meer aan te bevelen volgorde, in functie van milieu, gezondheid en plakprestaties.

TOEPASSING	GESCHIKTE LIJMEN	COMMENTAAR
· Papier (bureau,school, ...)	· natuurlijmen · oplosmiddelvrije lijmen	· liefst in poedervorm · zonder schadelijke bewaarmiddelen
· Knutselen (papier, hout, karton, stof,..)	· natuurlijmen, behanglijm, houtlijm, lijmen zonder oplosmiddel	· liefst zelfbereidbare poederlijm
· Behangen	· behanglijm in poedervorm	· opletten voor opstuivend poeder
· Hout	· witte of gele houtlijm · smeltlijm	· voor binnenwerk · voor waterbestendig buitenwerk
· Leer, textiel, rubber en soepele plastic	· contactlijm in waterige oplossing · speciale lijmen	· blijft soepel na droging · meestal meermilieubelastend
· Porselein, ceramiek,...	· epoxy 2-componentenlijm	· vaatwasmachinebestendig
· Tegels, steen, gipsplaten,...	· kleefmortel of kleefgips in poedervorm	· vermijd isolatie- en opvulschuimen en -kitten (polyurethaan, siliconen,...)
· Vloerbedekking	· speciale lijm op water- of eventueel op alcoholbasis	· tapijt kan men ook los laten liggen, spannen of met speciale kleefband bevestigen
· Metaal	· epoxy 2-componentenlijm · seconden- of superlijm	· kan irriterend werken
· Kunststof, plastic	· contact-, universele of alleslijm in wateroplossing · eventueel secondenlijm · speciale lijmen	· bevatten milieubelastend oplosmiddel
· Glas	· seconden- of superlijm of epoxylijm · speciale lijm	· indien toch voorhanden

Om te besluiten nog het volgende : vergelijkende testen tonen aan dat lijmen op waterbasis minstens even goede plakprestaties leveren als die met organische oplosmiddelen. Kijk er dus naar uit of vraag ernaar in de winkel. Voor veel toepassingen bestaan er reeds oplosmiddelvrije alternatieven.

•••**COLOFON**•••

Deze brochure is gerealiseerd met de steun van de Europese Commissie, DG XXIV, Consumentenbeleid, van het Vlaamse Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Waalse Gewest.

Auteur: Onderzoeks- en Informatiecentrum van de Verbruikersorganisaties

Illustraties: Etienne Shröder

Verantwoordelijke Uitgever: Jean-Marie Beguin, OIVO, Ridderstraat 18, 1050 Brussel
Wettelijk Depot: C-1994-2492-32



Lijmen goedgekeurd door de vereniging van veganisten

Bison

Bison international gaf een garantieverklaring voor de volgende soorten lijm:

Oplosmiddelhoudende lijmen:

- Bison Kit, Bison Kit Transparant
- Bison Tix
- Montage Kit
- Montage Kit Houtdecoratie
- Zachtplasticlijm
- Alleslijm
- Parketlijm Universeel
- Model Balsa
- Kneedbaar Hout
- Hard PVC Lijm KIWA+KOMO
- Hard PVC lijm Gel KIWA+KOMO, - Hard plastic lijm
- PVC vullijm
- Model plastic
- Ontvetter/verdunner voor Bison Kit
- Electro, Lijmspray

Chemisch hardende lijmen:

- Secondelijmen
- PU-konstruatielijmen
- Montagekit Topspeed
- Montagekit Heavy Duty
- Boukit
- Vloeibare zool
- Pur+ superschuim
- siliconenkitten
- beglazingskitten
- Spiegellijm
- Lockbond (muurvast)
- Glass
- Car mirror
- One for all
- Kombi Snel
- Kombi Snel Metaal
- Kombi Power
- Steel, Epoxystick
- Polyurethaanlijm
- Constructielijm Super
- Glue sticks

Behangplaksel:

- Bison behangplaksel Formule 5 Metyl voor normaal en zwaar behang
- Bison Behangplaksel Formule 5 Speciaal voor extra zwaar en speciaal behang
- Bison Profi Behangplaksel Formule 5 voor alle behang-soorten + wandbekleding.

Helaas ontbreken op de lijst de zogenaamde watergedragen lijmen, dit komt omdat daar (hoewel sporadisch) iets dierlijks in zou kunnen zitten.

Het was voor Bison zelf moeilijk te achterhalen omdat de productie niet in Nederland plaatsvindt.

Lijm van een geheel andere orde, maar daarom voor veel mensen zeker niet minder belangrijk, is lijm voor gebitsprothese. De volgende gebitslijmen zijn vrij van dierlijke ingrediënten:

- Kukident Super kleefpasta en Kukident Kleefpoeder (Procter&Gamble)
- Corega Free
- Corega Ultra kleefpoeder (extra sterk) en Corega Poli-Grip (Stafford Miller). Andere merken bevatten vaak gelatine.

Goed lijmen betekent knokken tegen entropie

Hoe lijm je iets vast aan iets anders? Deze veel gestelde vraag kan tot allerlei uitdagende problemen leiden op het gebied van de grensvlakscheikunde.

"Het oplossen daarvan vind ik gewoon spannend," zegt prof.dr. Gert Frens (Fysische Chemie) van de Technische Universiteit Delft.

Iwan Koenderman

Frens is een van de initiatiefnemers van het Hechtingsinstituut TUD, waaraan drie faculteiten van de TU Delft deelnemen: Scheikundige Technologie, Civiele Techniek en Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek. Het instituut heeft drie hoofdtaken. De eerste is het verrichten van fundamenteel onderzoek op het gebied van lijmen, hechten en adhesie. Dat werk wordt door AIO's uitgevoerd, die promoveren in één van de drie deelnemende faculteiten. De tweede taak is het overdragen van technische verworvenheden op het gebied van high-tech bevestigingstechnologie naar andere branches. Een derde taak van het Hechtingsinstituut TUD is, het adviseren en ondersteunen van industriële bedrijven bij lijmen- en hechtingsproblemen.

"De lijm als zodanig is meestal niet zo'n groot probleem" zegt Frens. "Lijmfabrikanten kunnen de geschikte kleefstof leveren als bekend is welke materialen aan elkaar bevestigd moeten worden. Maar lijmverbindingen moeten ook veilig en goed geconstrueerd worden. Als je bijvoorbeeld twee vlakke platen op elkaar gelijmd hebt dan zullen die, als er aan getrokken wordt, gaan doorbuigen in de buurt van de lijmmaad. En als dat frequent gebeurt, treedt vermoeiing op en gaat de zaak kapot. De juiste manier om zo'n soort verbinding te construeren is het in elkaars verlengde leggen van de hartlijnen bijvoorbeeld door de lijmmaad schuin uit te voeren. Dan treedt door de trekkracht geen buiging op. Dat soort trucs moeten ervaren

constructeurs uit de vliegtuigbouw ons eerst leren, voordat wij over goede lijmtechnologie kunnen gaan praten!"

Onderzoek op grensvlakken. Hoe sluit de lijm- en hechtingstechnologie aan bij Frens' onderzoekgroep 'Fysische Chemie' in de vakgroep Chemische Procestechologie van de TUD? Het fysisch chemisch onderzoek spitst zich toe het bestuderen van alle soorten grensvlakken met verstoorde evenwichten aan het oppervlak. Dus bijvoorbeeld katalytische grensvlakken waar chemische reacties plaatsvinden of oppervlakken die stroom voeren. Ook is er fundamenteel onderzoek naar de invloed van geconcentreerde surfactant-oplossingen op stofoverdrachtsprocessen en naar het opbrengen en breken van dunne vloeistoffilms. Verder vinden studies plaats naar de wijze waarop polymeren in lijmen en verflagen zich hechten aan een grensvlak. Al deze onderzoeksgebieden zijn onder te brengen in één gemeenschappelijke thema: 'Hoe gedragen grensvlakken zich onder dynamische omstandigheden, als het evenwicht met de aangrenzende bulk-fasen verbroken is?'

Vanuit de lijmtechnologie bezien is dit grensvlakonderzoek een grensverleggend researchthema, dat naadloos aansluit bij het chemisch technologisch onderzoek binnen het Hechtingsinstituut. Op analoge wijze sluit het onderzoek binnen het Hechtingsinstituut aan op het onderzoek van de twee andere deelnemende partijen, de 'construerende' faculteiten.

Hechtende polymeren. Lijmverbindingen berusten vrijwel altijd op polymeren. Fundamenteel begrip van het fysisch-chemische werkingsmechanisme vereist inzicht in de entropie van polymeerkluwens. Met hun kluwenstructuur zijn polymeermoleculen in staat om mechanische spanningen van het grensvlak weg te leiden en te verdelen over het volume van de laag. Maar dat lukt alleen als de ketens stevig verankerd zijn aan het grensvlak. Aan de andere kant komen polymeerkluwens niet graag in de buurt van een grensvlak, dat gaat in tegen hun natuur. Opgeloste polymeerketens hebben een intrinsieke neiging tot 'depletie'. Om in de buurt van een grensvlak te komen en zich daar zo dicht mogelijk tegen aan te vlijen, moet een polymeerkluwen zich vervormen, en dat kost entropie. Daardoor neigt een polymeer ertoe om terug te veren van ieder ondoordringbaar oppervlak, als ware het een rubberen bal.

Ook als de polymeren zijn opgelost in een 'gunstig' oplosmiddel treedt het depletiever-schijnsel op. Langs het hele grensvlak ontstaat een laag met verminderde polymeerconcentratie. Alleen als er tegelijk met de

vervorming van de keten voldoende energie vrijkomt, door de van der Waals interactie van het molecuul met het grensvlak, kan het entropieverlies worden gecompenseerd en is aanhechting van de kluwen mogelijk. De interactie van de groepen in het polymeer met het grensvlak moet daarvoor in ieder geval groter zijn dan de interactie met het oplosmiddel. In dat geval zijn adsorptie en hechting mogelijk. Is de adsorptie van groepen uit het polymeer aan het oppervlak te zwak, dan wint de entropie en is er depletie.

Een sterke lijmverbinding vereist permanente polymeeradsorptie. Dus niet alleen terwijl het polymeer in oplossing als een lijm over het oppervlak wordt gesmeerd, maar ook daarna. De verankering moet overeind blijven zo lang de verbinding in stand moet blijven. Ook als het oplosmiddel is verdamppt, de lijm is opgedroogd en de lijmverbinding wordt blootgesteld aan nieuwe omgevingen zoals aan water of vochtige lucht. Vochtige lucht bijvoorbeeld bevat watermoleculen. Die lossen op in de lijmlaag en concurreren met het polymeer om interactie aan te gaan met het substraatoppervlak. Als de kleine watermoleculen, die het nadeel van de kluwentropie missen, deze concurrentiestrijd winnen dan treedt alsnog deple-

tie op. De lijmlaag springt los van de ondergrond en de gelijkde constructie bezwijkt. Goed lijmen betekent dus een permanente strijd voeren tegen de entropie van de polymeerkluwen die nodig zijn in de lijm.

Een technologische uitdaging. Ontwikkelaars van industriële lijmtechnologie hebben behalve met dit entropie-probleem te maken met verstoorde grensvlak-evenwichten. Filmvorming en bevochtiging met een lijmlaag zijn industriële processen die plaatsvinden met karakteristieke snelheden in de orde van tientallen meters per seconde. Als een oplossing die polymeren en bevochtigers bevat met zo'n snelheid wordt vervormd, nemen oppervlaktebezetting, oppervlaktespanning en visco-elasticiteit heel andere waarden aan dan in rust. Dat kan een optimaal procesverloop drastisch beïnvloeden. Tijdens het maken van de lijmlaag ontstaat een toestand die door relaxatieprocessen achteraf nog moet gaan rijpen om op een stabiel resultaat uit te komen.

Er is nog heel veel fundamenteel onderzoek nodig om inzicht te krijgen in karakteristieke snelheden en tijdschalen waarbij lijm- en hechtingsprocessen plaatsvinden. Het kunnen beschrijving van deze processen

VISCO-ELASTISCH GEDRAG IN DUNNE FILMS

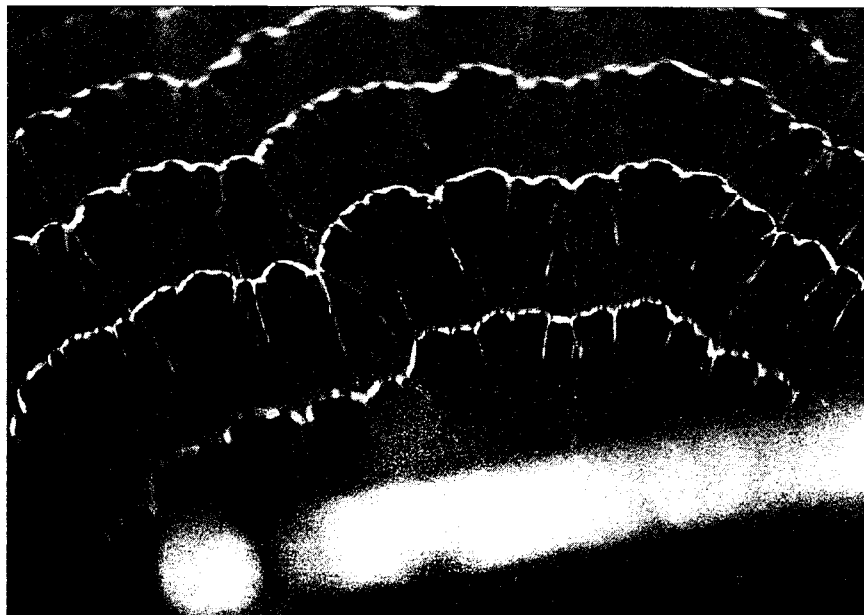
De foto (een zeer snelle opname-serie) laat het breukgedrag van dunne films zien. Hoe dunner hoe breekbaarder. Onderzoek aan de TUD leverde een fysisch-chemische verklaring op voor het afwijkende stromingsgedrag in dunne vloeistoffilms.

De uitleg luidt als volgt. In lijmoplossingen geeft de concentratie van polymeren en surfactants aanleiding tot een karakteristieke (correlatie)lengte ξ , een maat voor de mate van kluwenvorming.

De elasticiteitsmodulus, G , van een visco-elastische vloeistof vermindert met de correlatielengte volgens: $G = kT/\xi^3$. Uit het Delftse onderzoek blijkt nu dat de filmdikte, h , van dezelfde orde kan worden als de correlatielengte, ξ . Wanneer nu de filmdikte kleiner wordt dan de correlatielengte, wordt de viscositeitsmodulus bepaald door: $G = R/\rho h^4$, waarbij R/h de verhouding is tussen gatgrootte en filmdikte bij het breken van de film (ρ is de dichtheid van het filmmateriaal). Dus

bij dunne films verandert $G=1/h^3$ en dus het visco-elastisch gedrag. Naarmate de film dunner wordt, neemt de elasticiteit af. Dat betekent dat bij vervorming (stroming) de elasticiteit van het medium groter wordt ten opzichte van de viscositeit.

Bij snelle vervorming wordt dan de dikte van de vloeistoffilm (nu niet alleen vanwege het Reynoldsgetal, maar ook door het verband tussen laagdikte en visco-elasticiteit van de oplossing) bepalend voor de verhouding tussen energieopslag en -dissipatie. Dit nieuw ontdekte effect verklaart een aantal onbegrepen verschijnselen die worden waargenomen bij het aanbrengen van industriële coatings en lijmlagen.



in fysisch chemische termen is een voorwaarde om de procesvoering bij iedere snelheid beheersbaar te maken. Ook de groep van Frens is actief op dit onderzoeksgebied. Zo bestudeerde ir. Lars Evers in zijn promotie-onderzoek vloeistofstroming in dunne films. Dergelijke films worden gestabiliseerd met surfactants en met polymeermoleculen anders breken ze spontaan. Evers onderzocht door welke eigenschappen het breken van de dunne films wordt beïnvloed. Hij ontdekte dat bij processen, die in milliseconden verlopen, de visco-elastische eigenschappen van de vloeistof een functie worden van de film-dikte (zie 'visco-elastisch gedrag in dunne films'). Met het onderzoek kunnen een aantal onbegrepen verschijnselen die worden waargenomen bij het aanbrengen van industriële coatings en lijmlagen worden verklaard.

Chirurgische toepassingen. Onlangs is het Hechtingsinstituut TUD begonnen aan een STW-onderzoeksproject, dat moet resulteren in lijmtechnieken voor toepassing in de ge-

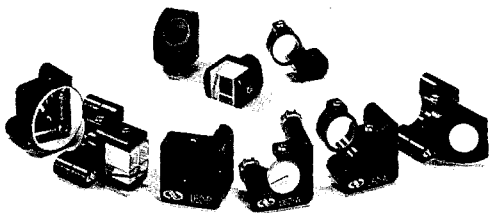
neeskunde, waar grote behoefte bestaat aan goed verwerkbare, biocompatibele, biodegradeerbare lijmverbindingen met een behoorlijk grote bindingssterkte tussen levende weefsels. Deze lijmverbindingen zijn bijvoorbeeld interessant voor reparatie van splinterfracturen in bot en kraakbeen of voor het niet-lekkend hechten van moeilijke operatiewonden zoals bij bewegend darmwandweefsel.

In medische toepassingen vindt de hechting meestal plaats in een natte omgeving en op vochtige substraten. In de natuur komen verbindingen voor die dit soort hechtingen te weeg brengen, bijvoorbeeld het *Mussel Adhesive Protein* (MAP). Dit poly-decapeptide, is een eiwit waarmee mosselen en vergelijkbare diersoorten zich onder water vastlijmen aan tamelijk willekeurige substraten als scheepshuiden, palen en stenen. MAP is de uitgangsstof in het bovengenoemde STW-project, levert intrigerende vragen op voor fysiologen en fysisch-chemici. Want hoe weet een waterdier, met een waterig milieu van binnen en van buiten, een substantie als MAP te beheersen. Uitwendig werkt het eiwit als een soort instant-onderwaterlijm bij zeewatertemperatuur, maar inwendig, onder fysiologische omstandigheden, is het niet actief. Immers als MAP in het lichaam ook zou werken ging het dier dood door inwendige verlijming. Er moet dus een bijzondere balans bestaan tussen energie en entropie en grote verschillen in *in vivo* en *in vitro* als het gaat om activering, biochemische omzetting of bijzondere conformaties van het MAP poly-decapeptide. Hier kunnen wetenschappers nog heel wat leren van de natuur.

Legio toepassingen. Naast grensverleggend onderzoek heeft het Hechtingsinstituut ook tot doel om succesvolle lijmtechnologie uit de vliegtuigbouw en de elektronica te vertalen in toepassingen voor andere takken van industrie. Zo heeft het instituut medewerking verleend aan de onlangs gereedgekomen restauratie van Panorama Mesdag in Den Haag. Frens: "Er moest een techniek worden bedacht om dat gigantisch grote schilderij te voorzien van een nieuw, sterk doek. Het bestaande doek was na een eeuw vergaan en dreigde te bezwijken onder het gewicht van de verf. Het begon te scheuren, en kon niet meer verplaatst worden zonder te verkrumelen. Om die klus te klaren hebben de restaurateurs samenwerking gezocht met de gezamenlijk know-how van de Delftse vliegtuigbouwers en hechtingstechnologen." Een soortgelijk avontuur was de ontwikkeling van een nieuwe, lichtgewicht trailer, die onder andere met medewerking van het Hechtingsinstituut TUD en een aantal carrosseriebedrijven onder auspiciën van de branche-organisatie FOCWA tot stand kwam

ADVERTENTIE

De ULTIMA™
Serie optische
houders, een volledig
modulaire lijn hoog
stabiele precisie
houders voor optiek van
0,5 inch tot 3 inch



Optiek razendsnel geleverd!!!

de PERFORMA™
Serie optische
houders. Ongekend in
prijs/prestatie ver-
houding, opvolger
van de beroemde
MM-Serie



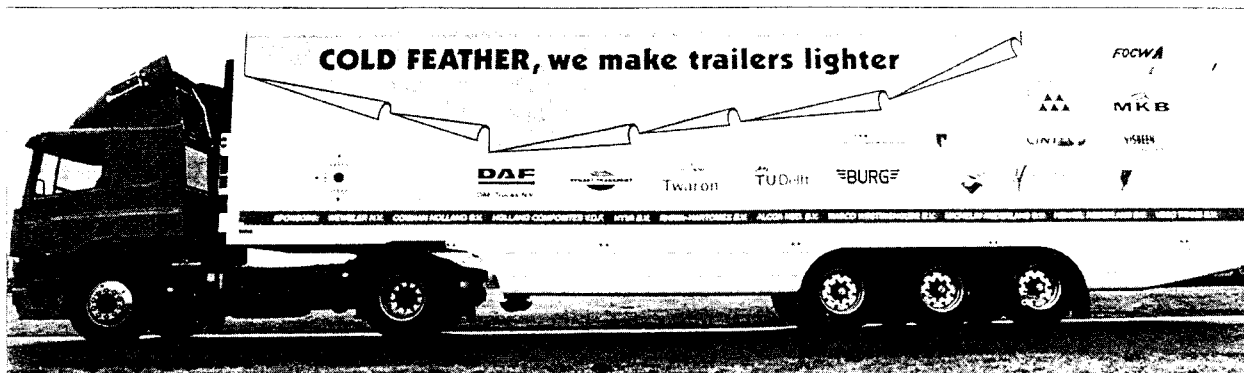
Wij
sturen u
graag de
catalogus
toe



Newport B.V.
Regulierenring 9
3981 LA Bunnik
Tel: 030 6592111
Fax: 030 6570242



LIJMTECHNOLOGIE IN DE AUTO-INDUSTRIE



Deze nieuwe, lichtgewicht trailer kwam tot stand met medewerking van het Hechtingsinstituut TUD en een aantal carrosseriebedrijven onder auspiciën van de branche-organisatie FOCWA. De bedoeling was om na te gaan wat er voor extra ontwerprijheden ontstaan in de carrosseriebouw als er meer lijmtechnologie zou worden toegepast. Toen het project voltooid was bleek men erin geslaagd een revolutionair nieuwe vrachtauto te hebben ontworpen en gebouwd. Door gebruik te maken van moderne verbindingstechnieken en materialen is een nieuwe asophanging en een stijve, lichtgewicht-constructie mogelijk. Bij gelijke buitenmaten biedt de wagen ruim 10% extra laadruimte. De auto werd in 1996 op de vrachtwagen-RAI getoond en wordt momenteel bij wijze van proef door enkele grote expediteurs ingezet op de grote Europese transportwegen. De wagen lijkt zeer succesvol.

(zie 'lijmtechnologie in de auto-industrie').

Een grensvlakchemicus die in techniek geïnteresseerd is, wordt steeds opnieuw gefascineerd door de hechtingstechnologie. Frens somt een aantal boeiende uitdagingen op: "Er komen telkens nieuwe toepassingen op ons af naarmate wij als chemici beter kunnen formuleren wat een lijm moet zijn en moet doen. In de hechtingstechnologie zijn organische reactiechemie, (homogene) katalyse en grensvlakscheikunde -samen, niet afzonderlijk- faciliterend voor geheel nieuwe technologische ontwikkelingen buiten de chemie zelf. Het kan gaan om hechting van de metaalspiegel op een nieuwe kunststof voor de Compact Disc of om de opvolging van de bekende gele "post-it" papiertjes.

Verder is daar de intrigerende ontwikkeling van de S.M.D.-technologie (Surface Mounted Device), waar razendsnelle, computer gestuurde robots met een drupje secundelijm precisieonderdelen plaatsen op electronic printed circuit boards. Dan is er nog de lijmtechnologie, weer op een heel ander terrein, in de bouw. Het aan elkaar lijmen van bakstenen zodanig dat de constructies bestand zijn tegen trekspanning, zodat zonder stalen steunbalken meterslange openingen overbrugd kunnen worden. Lijmen in de elektronische industrie, lijmen op kantoor, lijmen van auto's, vliegtuigen en huizen. Kortom: hechting is overal."

Op het snijvlak van wetenschap en techniek. Is al dat technologisch werk nou ook leuk voor de echte fysisch chemicus? "Zonder twijfel," vindt Frens, "vragen over lijm ma-

ken ons werk steeds weer boeiend. Lijm-vraagstukken die in ons laboratorium belanden zijn stuk voor stuk, ook wetenschappelijk, heel boeiend. Ze komen uit gebieden waar techniek snelle vooruitgang boekt. De mensen daar hebben meestal het beste dat bestaat al geprobeerd, maar dat was niet goed genoeg. Je moet op zo'n gebied als fysisch chemicus steeds bij de les zijn en het probleem steeds volgens nieuwe wegen benaderen. Als Universitaire wetenschappers moeten we ook de theoretische basis uitbreiden en verder opbouwen. Wij acteren op het snijvlak van techniek en wetenschap." ●

Vraagbaak TUD: 015-2787153

Men kan, als persoon of als bedrijf, via dit nummer terecht bij de Technische Universiteit met vragen op technisch-wetenschappelijk gebied. Vragen aan de Vraagbaak TUD hoeven dus niet over lijmen, hechten of de daar mee verwante technologie te gaan. De Vraagbaak werkt over de hele breedte van wetenschap en techniek bij de Delftse T.U. Vragenstellers worden door de Vraagbaak in contact gebracht met een technicus van de TUD.

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 lijm middelen 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 °C en $+80\text{ °C}$. 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 lijmlaag 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 lijmlaag, 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 zwellings. Bij de verlijming van verschillende polymeren bestaat tevens het risico van verschil in vochtopname met als resultaat verschil in zwellings 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 vocht, 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

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

Inhoud

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

1 Inleiding

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

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

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

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

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

2. Indeling lijmprocessen

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

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

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

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

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

Na deze praktische hoofddeel, waarbij de lijm onder-

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

3. Kenmerken van het lijmen voor dunne plaat toepassing

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

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

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

Één- of tweecomponent systemen

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

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

Het verbreken van een lijmverbinding

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

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

4. Toepasbaarheid van lijmen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Apparatuur ten behoeve van het lijmen

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

Lijm mengen (twee-component systemen)

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

Smeltlijmen

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

Aanbrengen

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

Samenbouwen

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

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

Aandrukken

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

Uitharden

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

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

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

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

6. Voorbehandeling en voorbereiding

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

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

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

Voorbehandelingen kunnen worden verdeeld in mechanische en chemische processen.

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

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

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

7. Lijmtechnisch construeren

Ontwerpaspecten

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

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

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

Bij het ontwerpen van een lijmverbinding moet er op

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

Soorten belastingen

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

De volgende belastingvormen kunnen worden onderscheiden:

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

Deze belastingen treden in de praktijk veelal in combinatie op.

Drukbelastingen leveren in de regel geen problemen op.

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

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

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

Ontwerpregels

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

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

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

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

Spanningsverdeling in lapnaad

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

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

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

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

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

Rek in de lijmlaag

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

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

Factoren die de sterkte van de lijmverbinding beïnvloeden

Temperatuur

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

Veroudering

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

Kruip

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

Vermoeiing

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

Corrosie

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

8. Het lijmen van dunne materialen

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

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

Staal

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

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

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

Aluminium

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

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

Koper

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

Kunststoffen

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

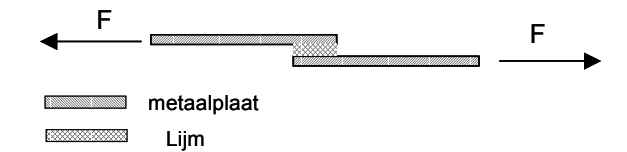
9. Lijmdetails

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

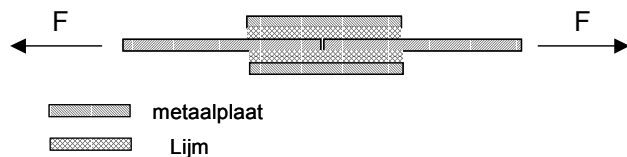
Lapnaad

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

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



figuur 1 Enkelvoudige lapnaad

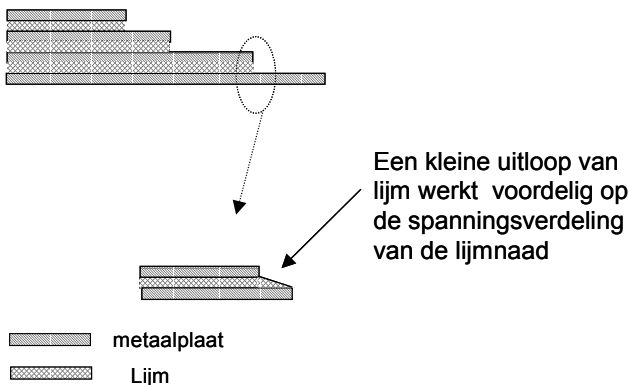


figuur 2 Dubbelvoudige lapnaad

Lijmuitloop ("spew fillet")

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

Platenpakket met verlopende dikte



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

Platenpakket voor de aanpassing van de doorsnede aan de plaatselijke belasting

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

Constructiedetails

De statische sterkte van een enkelvoudige lapnaad wordt uitgedrukt in:

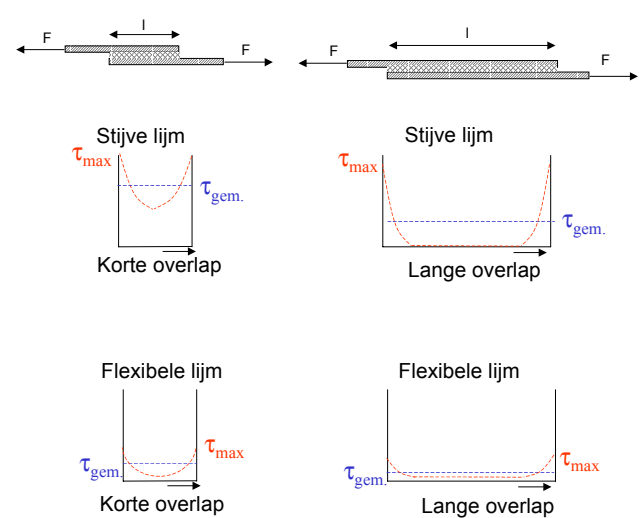
$$FB = \tau_{gem.} \cdot l \cdot b$$

Waarbij :

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

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

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



figuur 4 Schuifspanningen als gevolg van een verschuiving in de lijmnaad

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

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

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

Kwaliteitsborging

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

10. Automatiseren van het lijmen

Twee-component lijmsystemen

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

positionering van product ten opzichte van spuitmond en productafvoer verzorgd.

Één-component lijmsystemen

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

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

11. Kwaliteitsaspecten bij het lijmen

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

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

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

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

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

12. Nabehandelen en nabewerking

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

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

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

13. Economische aspecten van het lijmen

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

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

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

14. ARBO- en milieu- aspecten

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

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

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

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

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

15. Normering

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

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

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

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

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

NEN-EN-ISO 10363:1995 en
Warm-smeltlijmen; Bepaling van de thermische stabiliteit
NEN-EN-ISO 10365:1995 en
Lijmen; Aanduiding van de belangrijkste breukpatronen
NEN-EN 1066:1997 en
Lijmen; Monsterneming
NEN-EN 1067:1997 en
Lijmen; Onderzoek en bereiding van proefmonsters
NEN-EN-ISO 10964:1997 en
Lijmen; Bepaling van de weerstand tegen losdraaien van anaërobe lijmen op bevestigingsartikelen met schroefdraad
NEN-EN 12023:1996 en
Zelfklevende band; Meting van de waterdampdoorlatendheid in een warme en vochtige atmosfeer
NEN-EN 12025:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de scheursterkte met de slingermethode
NEN-EN 12026:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de afrolkracht bij hoge snelheid
NEN-EN 12027:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de bestandheid tegen vlammen
NEN-EN 12028:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de rek bij statische belasting
NEN-EN 12029:1996 en
Zelfklevend band; Bepaling van het gehalte aan, in water oplosbare corrosieve ionen
NEN-EN 12030:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de slagweerstand
NEN-EN 12031:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de berststerkte
NEN-EN 12032:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de hechting van thermo-hardend plakband tijdens de uitharding
NEN-EN 12033:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de hechting van thermo-hardend plakband na de uitharding

NEN-EN 12034:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de lengte van een rol plakband
NEN-EN 12035:1996 en
Zelfklevend band; Het krullen van plakband
NEN-EN 12036:1996 en
Zelfklevend band; Het indringen van oplosmiddelen in afplakband
NEN-EN 12092:2001 en
Lijmen; Bepaling van de viscositeit
NEN-EN 12188:1999 en
Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies; Beproevingmethoden; Bepaling van de hechting van staal op staal voor het karakteriseren van dragende lijmen
NEN-EN 1238:1999 en
Lijmen; Bepaling van het verwekingspunt van thermoplastische lijmen (ring en kogel)
NEN-EN 1239:1998 en
Lijmen; Vries-dooi-stabiliteit
NEN-EN 1240:1998 en
Lijmen; Bepaling van het hydroxylgetal en/of het hydroxylgehalte
NEN-EN 1241:1998 en
Lijmen; Bepaling van het zuurgetal
NEN-EN 1242:1998 en
Lijmen; Bepaling van het isocyaan gehalte
NEN-EN 1243:1998 en
Lijmen; Bepaling van het gehalte aan vrij formaldehyde in amino- en amidoformaldehydecondensaten
NEN-EN 1246:1998 en
Lijmen; Bepaling van de as en de sulfaat-as
NEN-EN 12481:2000 en
Zelfklevend band; Termen en definities
NEN-EN 12724:1997 Ontw. en
Lijmen; Lijmen op waterbasis; Bepaling van de blijvende brandbaarheid (methode met gesloten kroes)
NEN-EN 12768:1997 Ontw. en
Lijmen voor constructiedoeleinden; Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van metalen
NEN-ISO 13445:1995 en
Lijmen; Bepaling van de afschuifsterkte van lijmverbindingen tussen starre elementen met de blok-afschuifmethode
NEN-EN 13887:2000 Ontw. en
Lijmen voor constructiedoeleinden; Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van metalen en kunststoffen voorafgaande aan lijmverbindingen
NEN-ISO 13895:1997 en
Lijmen; Leidraad voor de voorbereiding van kunststof oppervlakken
NVN-ENV 13999:2001 en
Lijmen; Kortstondige methode voor het meten van de emissie-eigenschappen van lijmen met weinig of geen oplosmiddel na behandeling;
Deel 1: Algemene procedure
Deel 2: Bepaling van het gehalte aan vluchtige organische verbindingen
Deel 3: Bepaling van het gehalte aan vluchtige aldehydes
Deel 4: Bepaling van het gehalte aan vluchtige diisocyaan
NEN-EN 14022:2000 Ontw. en
Structurele lijmen; Bepaling van de levensduur (bruikbaarheidsduur) van lijmen bestaande uit meerdere componenten
NEN-EN 14173:2002 en
Lijmen voor constructiedoeleinden; T-afpelpoef voor flexibel/flexibel gelijmde verbindingen
NEN-EN 14256:2001 Ontw. en
Lijmen voor niet-structurele toepassingen; Beproevingsmethode en eisen voor weerstand tegen statische belasting
NEN-EN 14258:2001 Ontw. en
Lijmen; Mechanisch gedrag van gelijmde verbindingen onder kortdurende of langdurige blootstelling aan temperatuursomstandigheden

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

NEN-EN 14493:2002 en
Lijmen; Bepaling van de dynamische weerstand van de lijmmaad met hoge sterkte van gelijmde verbindingen onder botsomstandigheden; Spleet-bots methode

NPR-CEN/TR 14548:2002 Ontw. en
Lijmen; Leidraad voor beproevingsmethoden en andere normen voor algemene eisen, karakterisering en veiligheid van structurele lijmen

NEN-ISO 14615:1998 en
Lijmen;Duurzaamheid van verbindingen met constructielijmen; Blootstelling aan vochtigheid en warmte onder belasting

NEN-EN 1464:1995 en
Lijmen; Bepaling van de weerstand tegen pellen van lijmvbindingen met hoge sterkte; Drijvende-rollenmethode

NEN-EN 1465:1995 en
Lijmen;Bepaling van de trekschuifsterkte van lijmvbindingen met hoge sterkte

ISO 14676:1997 en
Adhesives; Evaluation of the effectiveness of surface treatment techniques for aluminium; Wet-peel test by floating-roller method

NEN-EN-ISO 14678:1995 Ontw. en
Lijmen;Bepaling van de weerstand tegen uitlopen (zakvormig)

ISO 14679:1997 en
Adhesives;Measurement of adhesion characteristics by a three-point bending method

NEN-ISO 15107:1998 en
Lijmen; Bepaling van de sterkte van de lijmmaad van gelijmde verbindingen

NEN-ISO 15108:1998 en
Lijmen; Bepaling van de sterkte van gelijmde verbindingen met een buig-afschuifmethode

NEN-ISO 15109:1998 en
Lijmen; Bepaling van de tijd tot breuk van gelijmde verbindingen onder statische belasting

NEN-ISO 15166:1998 en
Lijmen; Methoden voor de bereiding van bulkmonsters; Deel 1: Twee-delensystemen
Part 2: Elevated-temperature-curing one-part systems

NEN-ISO 15509:2001 en
Lijmen; Bepaling van de verbindingsterkte van industriële lijmen voor kunststof

ISO 15605:2000 en
Lijmen; Monsterneming

NEN-EN 1840:1995 Ontw. en
Constructielijmen; Leidraad voor de oppervlaktebehandeling van kunststoffen

152. *NEN-EN 1939:1996 en*
Zelfklevende band; Meting van de hechting op corrosie-
vast staal of op de eigen rugzijde

NEN-EN 1940:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de breeksterkte

NEN-EN 1941:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de rek bij breuk

NEN-EN 1942:2003 en
Zelfklevend band; Meting van de dikte

NEN-EN 1943:2002 en
Zelfklevend band; Meting van de afschuifweerstand bij statische belasting

NEN-EN 1944:1996 en
Zelfklevende band; Meting van de afrolkracht bij lage snelheid

NEN-EN 1945:1996 en
Zelfklevend band; Meting van de beginkleefkracht

NEN-EN 1965:2001 en
Lijmen voor constructiedoeleinden; Corrosie;
Deel 1: Bepaling en indeling van de corrosie op een ondergrond van koper
Deel 2: Bepaling en indeling van de corrosie op een ondergrond van messing

NEN-EN 1966:2002 en
Lijmen voor constructiedoeleinden; Karakterisering van een oppervlak door meting van de adhesie met de driepunts-buigmethode

NEN-EN 1967:2002 en
Lijmen voor constructiedoeleinden; Beoordeling van de doeltreffendheid van oppervlaktebehandelingstechnieken voor aluminium door gebruik van de natte-afpelproef in samenwerking met de drijvende-rollenmethode

NEN-EN 204:2001 en
Classificatie van thermoplastische houtlijmen voor niet-constructieve toepassingen

NEN-EN 2243-3:1992 en
Lucht- en ruimtevaart; Structurele lijmen; Beproevingmethoden; Deel 3: Afpelproef metaal-honingraatkern

NEN-EN 2667-6:2002 en
Aerospace series; Non-metallic materials; Foaming structural adhesives; Test methods; Part 6: Determination of water absorption

NEN-EN 301:1993 en
Lijmen voor dragende houtconstructies; Polycondensatielijmen op basis van phenolen en aminoplasten; Classificatie en prestatie-eisen

NEN-ISO 4588:1996 en
Lijmen;Leidraad voor de voorbehandeling van oppervlakken van metaal

NEN-EN 542:1995 en
Lijmen; Bepaling van de dichtheid

NEN-EN 543:1995 en
Lijmen; Bepaling van de schijnbare dichtheid van lijmen in poeder- en korrelvorm

NEN-EN 827:1995 en
Lijmen; Bepaling van het gebruikelijke vaste-stofgehalte en het vaste-stofgehalte bij constante massa

NEN-EN 828:1997 en
Lijmen; Bevochtiging; Bepaling door meting van de aanrakingshoek en de kritische oppervlaktetenspanning van vaste oppervlakken

NEN-ISO 8510:1993 en
Lijmen; Beproevingmethode voor buigzaam-star gelijmde proefmonsters;
Deel 1: 90° afpeltest
Deel 2: 180° afpeltest

NEN-ISO 9142:1996 en
Lijmen; Leidraad voor de keuze van standaard laboratoriumverouderingsomstandigheden voor de beproeving van gelijmde verbindingen

NEN-EN 923:1998 en
Lijmen;Termen en definities

NEN-EN 924:1995 en
Lijmen; Lijmen met en lijmen zonder oplosmiddel; Vlam-puntbepaling

NEN-EN-ISO 9653:2000 en
Lijmen; Beproevingmethode voor slagafschuifsterkte van gelijmde verbindingen

NEN-EN-ISO 9664:1995 en
Lijmen; Beproevingmethoden voor de vermoeiingseigenschappen van structuurlijmen bij afschuiving onder trekbelasting

NEN-EN-ISO 9665:2000 en
Lijmen; Dierlijke lijmen; Methoden voor monsterneming en beproeving

Auteur

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

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

Technische informatie:

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

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

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

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

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

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

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

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

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

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



Netherlands Institute
for Metals Research



1. LIJMEN ALGEMEEN

1.1 Inleiding

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

In die gedachtengang is er zeker plaats voor lijmen.

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

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

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

Toch zijn er nog constructeurs die deze techniek niet toepassen

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

Aantal procenten van totaal gemaakte verbindingen van de Nederlandse industrie;

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

Grote industrieën die veelvuldig gebruik maken van lijmtechnieken zijn:

Vliegtuig industrie (Fokker)

Papier- verpakkings industrie

Elektronische technische industrie (Philips)

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

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

Deelnemende bedrijven:

AkzoNobel
DSM
General Electric Plastics Europe
Hechtings Instituut Delft
Fuller
TNO-RR1
Nedap
Philips
3M

1.2 Het principe van de lijmverbinding

1.2.1 Algemeen: lijmverbindingen

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

1.2.2 Hechting

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

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

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

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

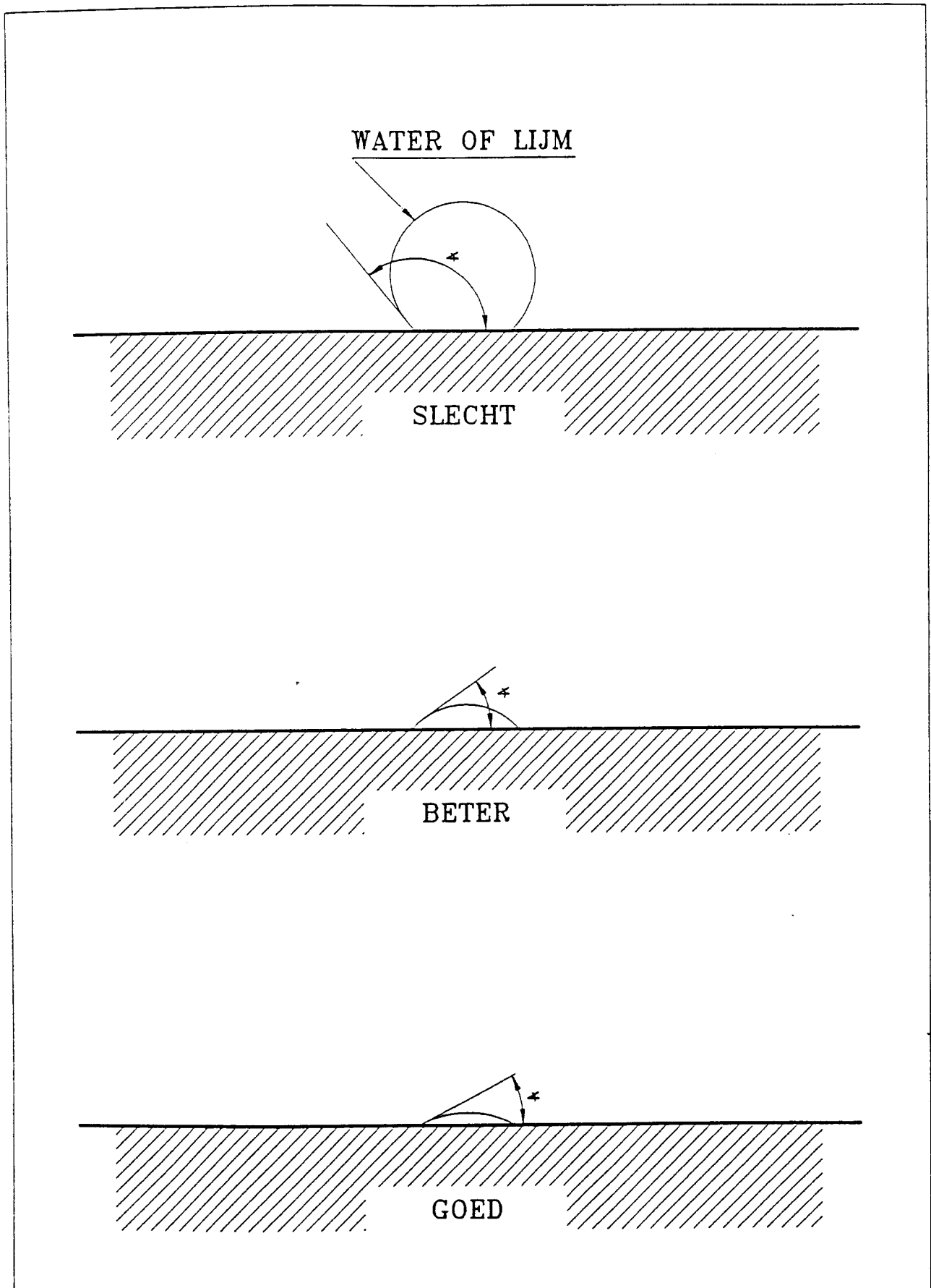


FIG. 1

1.2.3 **Wat is hechting**

De hechting berust op drie verschillende principes of combinaties daarvan:

Adsorptie zie afb. A

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

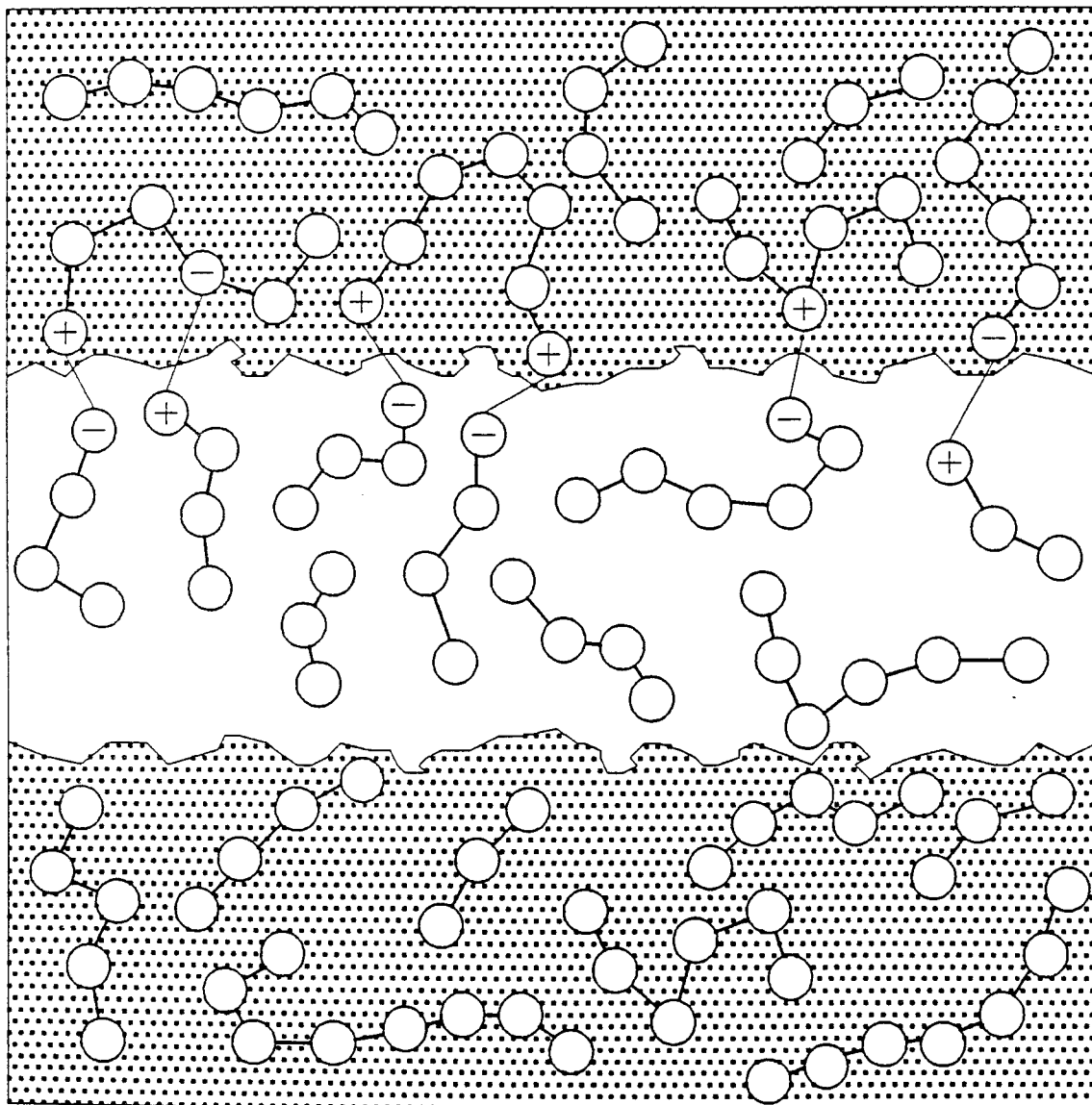
Diffusie zie afb. B

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

Mechanische verankering zie afb. C

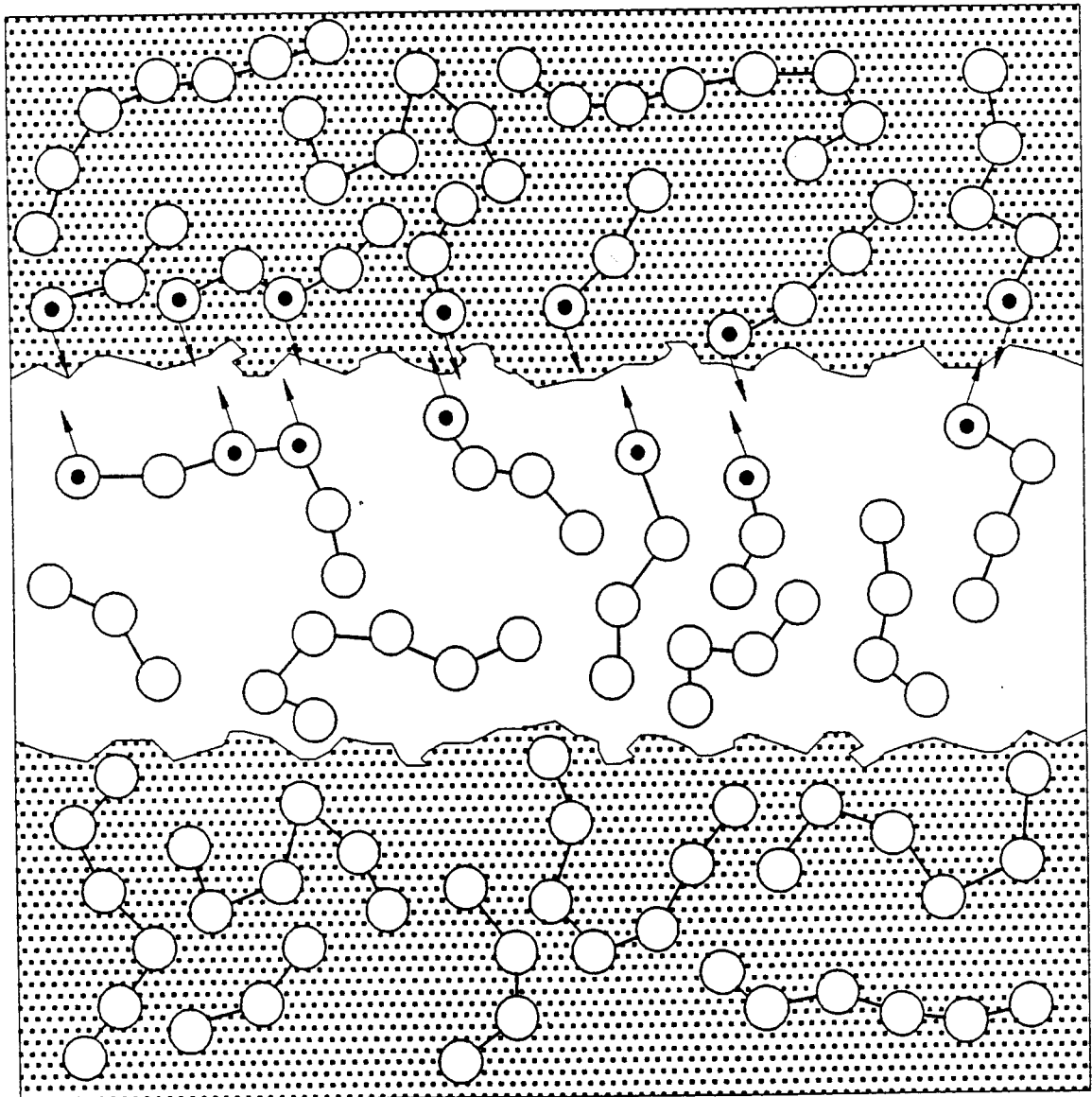
Hiervan is sprake wanneer het te lijmen oppervlak ruw of poreus is en de vloeibare lijm in de poriën van het oppervlak kan dringen. Na de uitharding van de lijm vindt daardoor een verankering plaats. Bij het verlijmen van metalen speelt de mechanische verankering een ondergeschikte rol.

Physische adhesion



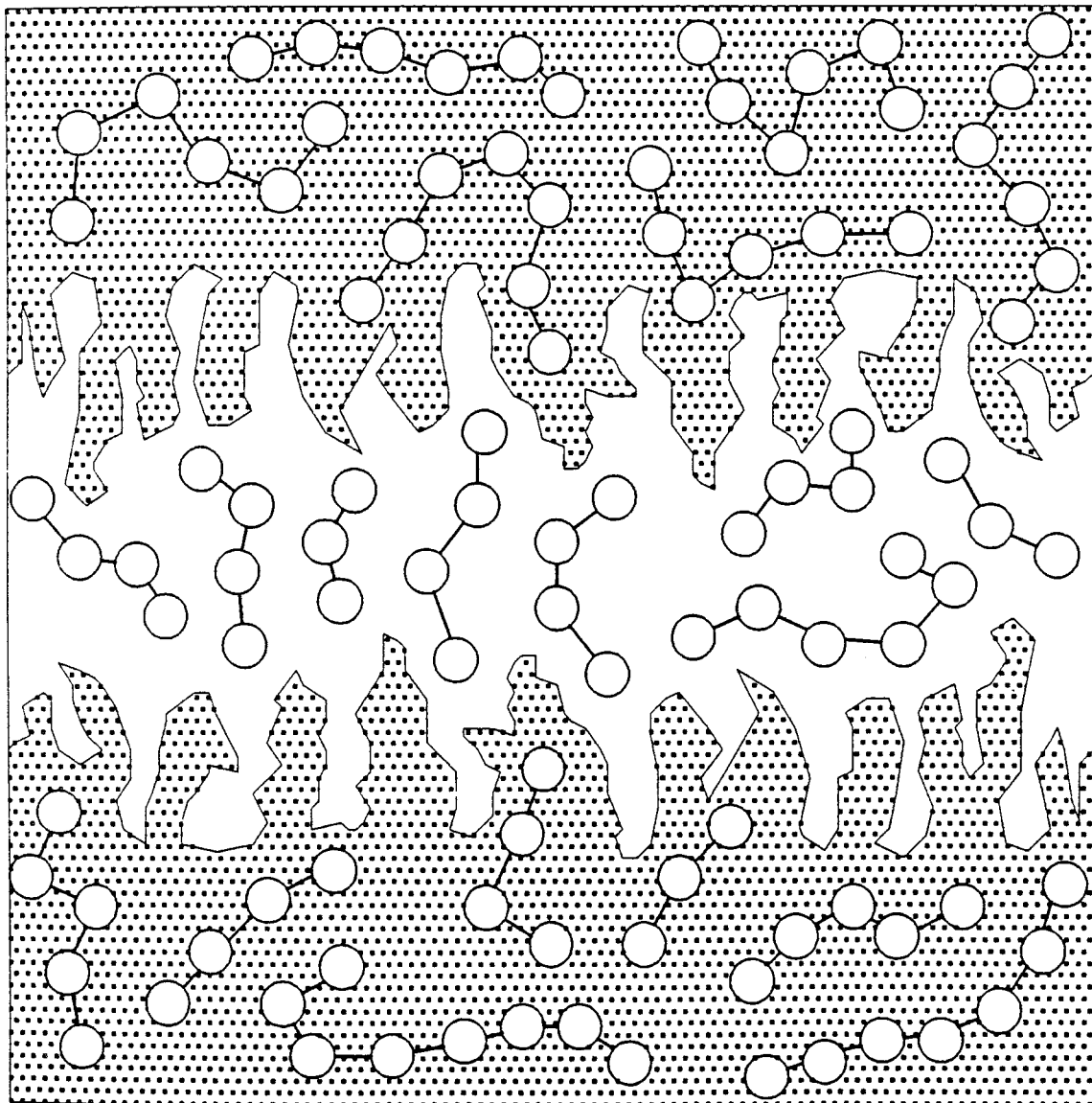
Afb. A

Chemische adhesion



Afb. B

Mechanische adhesion



Afb. C

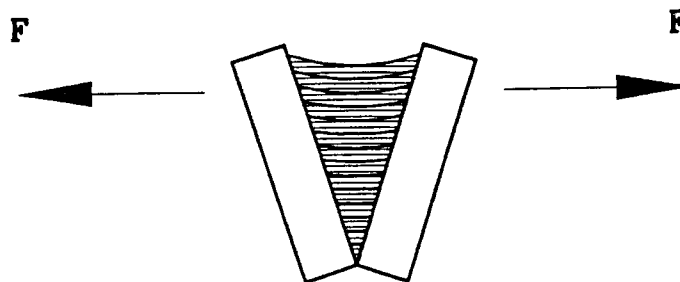
1.2.4 Sterkte van de lijm (cohesie)

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

1.3 Belastingen

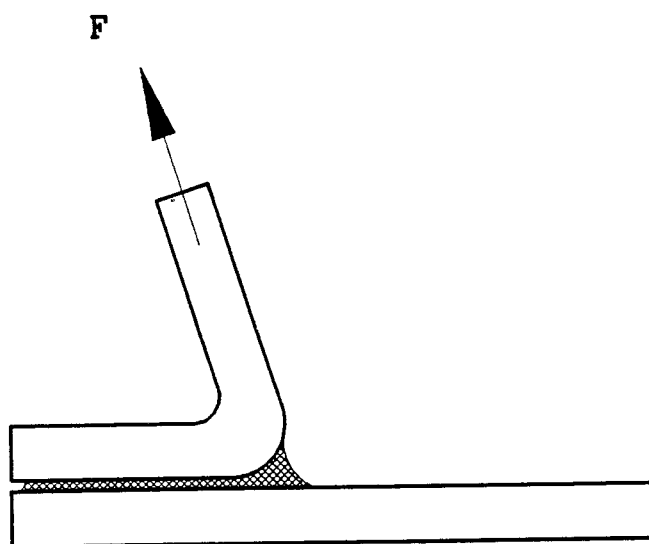
De toelaatbare belastingen van een lijmnaad zijn aanzienlijk lager dan van een mechanische verbinding. De spanning is echter over het gehele verbindende oppervlak verdeeld. Een lijmnaad mag liever niet belast worden met afpel- (fig. 2) of splijtbelasting (fig. 3). Waar dit zou optreden, kunnen eenvoudige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

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



SPLIJTBELASTING

Fig. 3

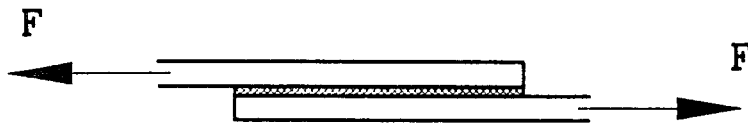


AFPELBELASTING

Fig. 2

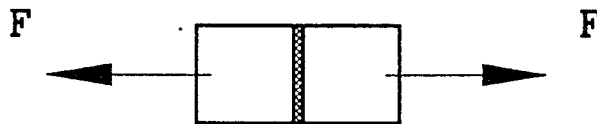
Noot: Minstens één van de twee te vergelijken materialen is flexibel

DE AARD VAN DE BELASTING



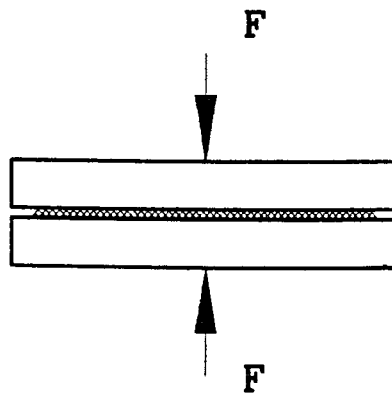
SCHUIFBELASTING

Fig. 6



TREKBELASTING

Fig. 5



DRUKBELASTING

Fig. 4

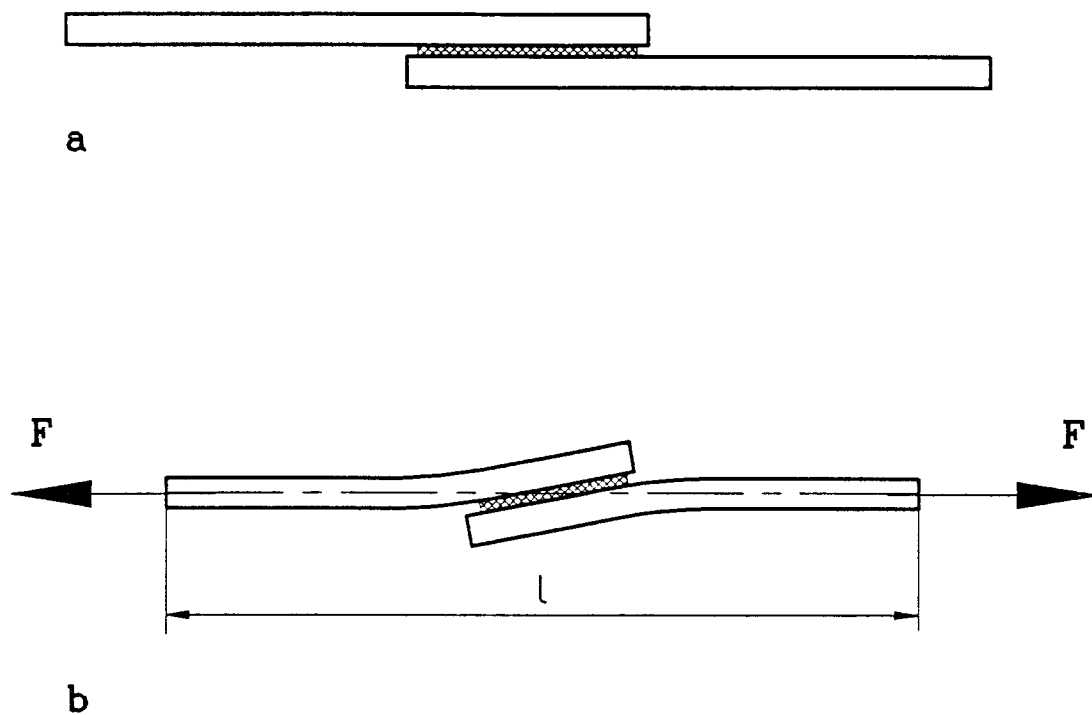


Fig. 7

VERVORMING VAN LAPNAAD ONDER BELASTING

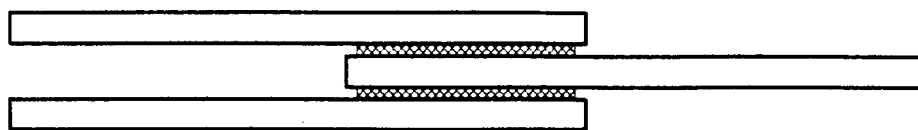
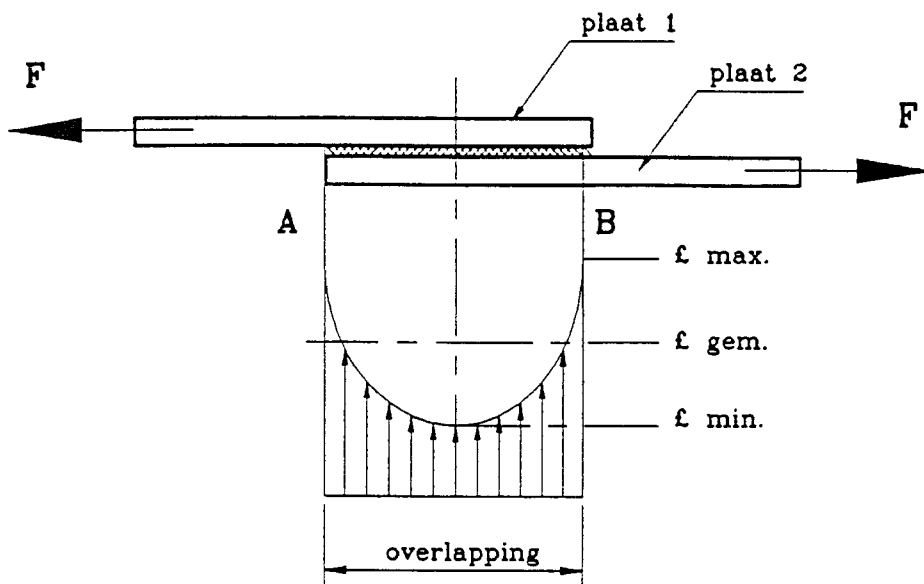
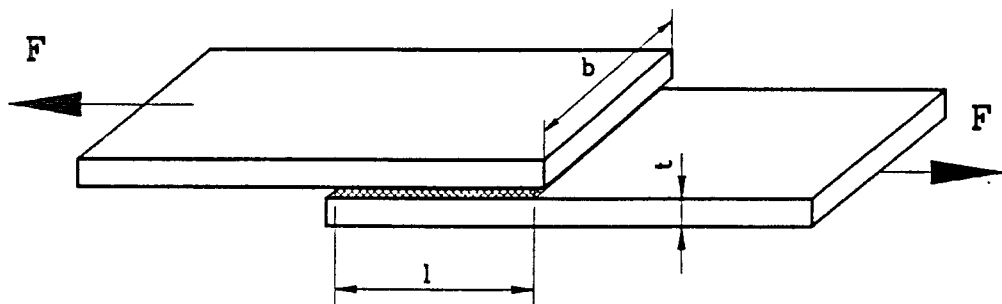


Fig. 8



Schuifspanningsverdeling in lapnaad



Breuksterkte van lapnaad

Fig. 9

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

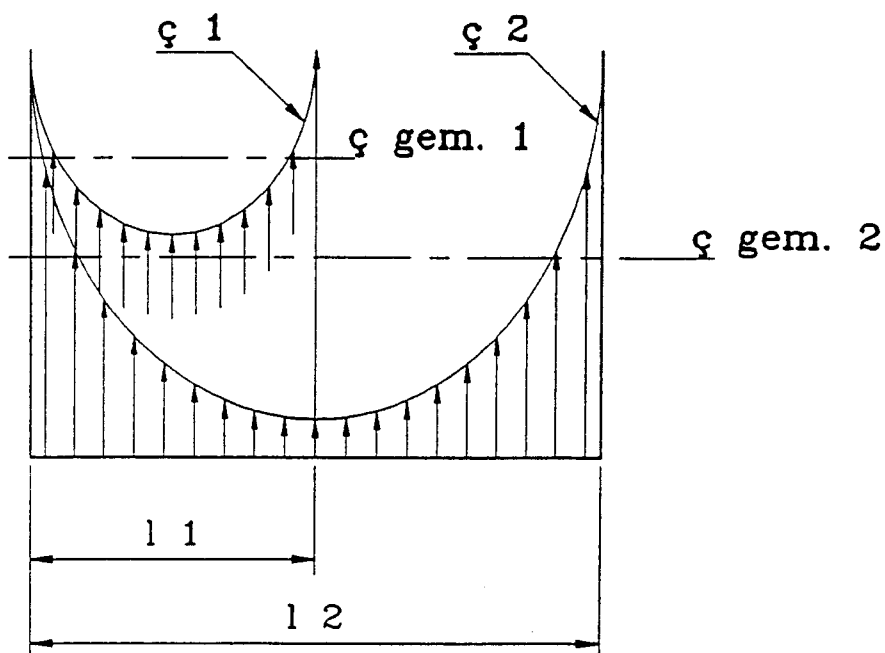
Hierin is:

Fb = de breukbelasting

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

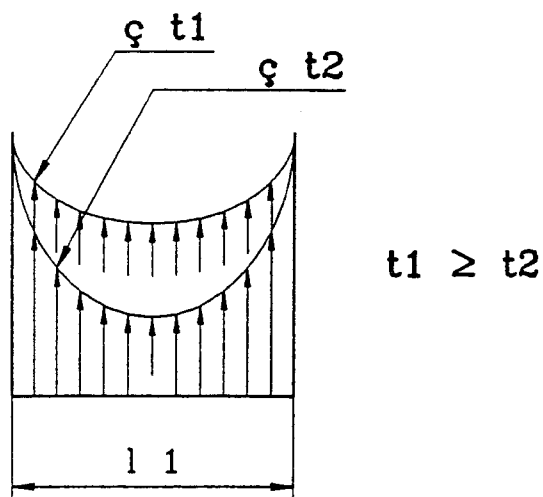
l = de overlappende lengte

b = de plaatbreedte



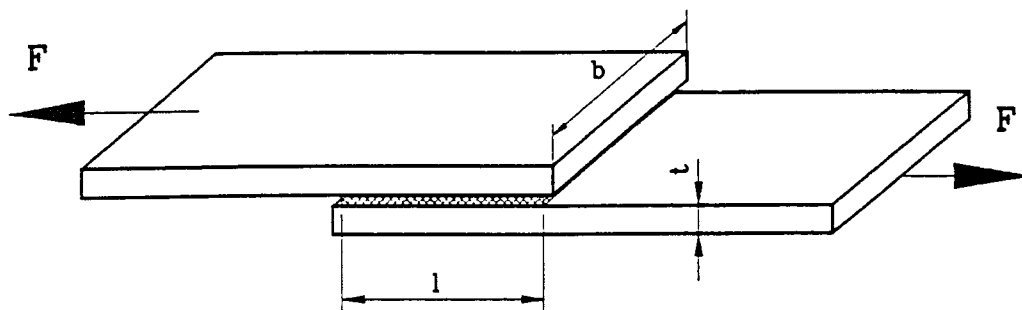
Invloed van de OVERLAPLENGTE op de
schuifspanningsverdeling

Fig. 10



Invloed van de PLAATDIKTE op de
schuifspanningsverdeling

Fig. 11



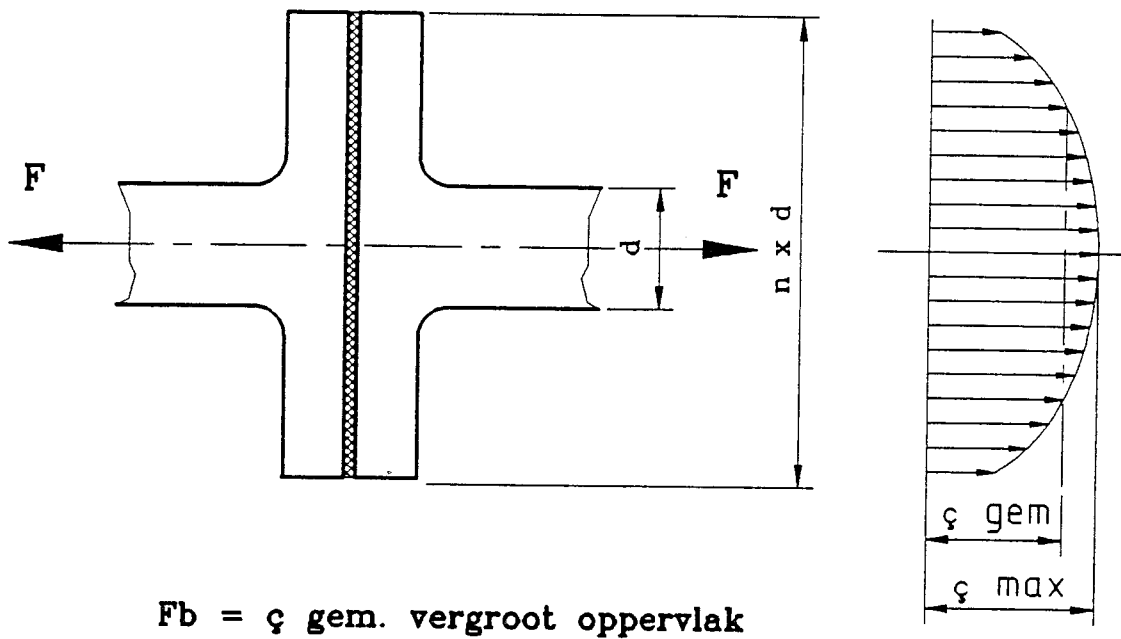
Breuksterkte van lapnaad

Fig. 12

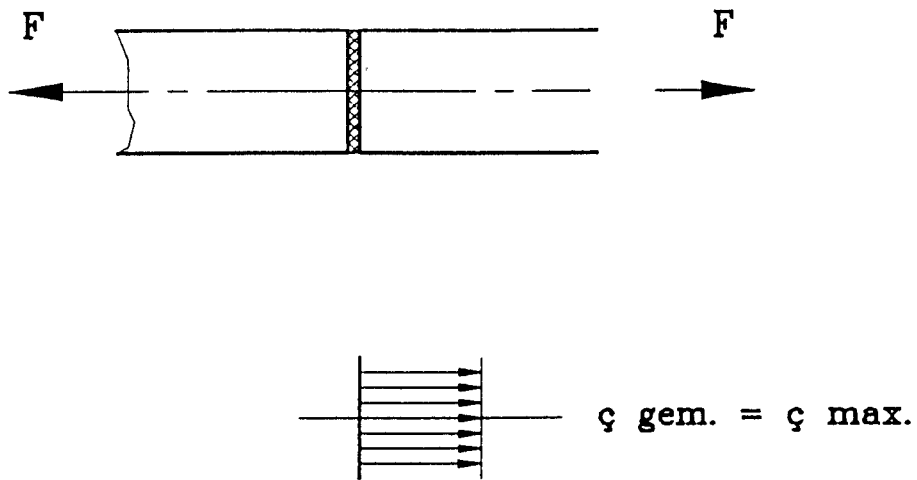
$$F_b = \tau_{\text{gem.}} \cdot l \cdot b$$

Hierin is:

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



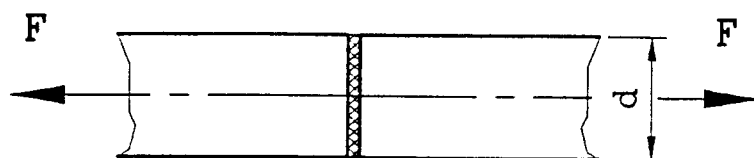
Trekspanningsverdeling in lijmnaad met flenzen Fig. 13



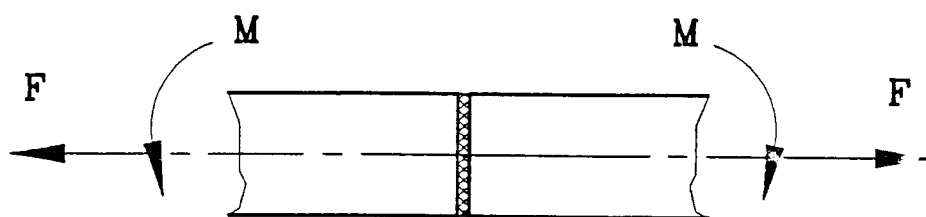
$$F_b = \zeta \text{ gem.} \cdot \text{oppervlak}$$
$$= \zeta \text{ gem.} \cdot \text{oppervlak}$$

Centrische trekbelasting

Fig. 14

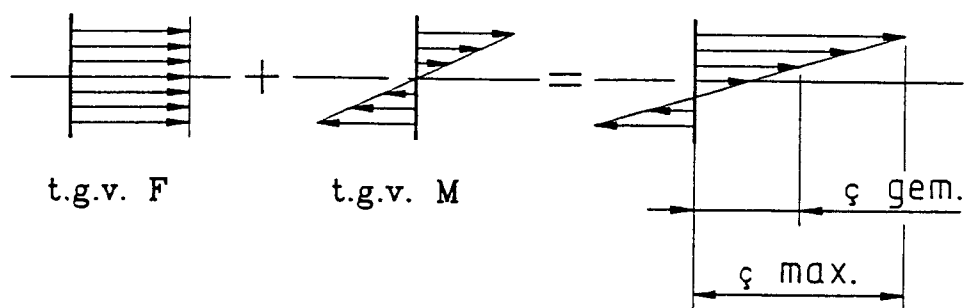


excentriciteit van
trekbelasting = $\frac{1}{2} d$



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

spannings verdeling



Excentrische trekbelasting

Fig. 15

1.4 Diverse verbindingen

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

fig. 16 - vlakke verbindingen

fig. 17 - T verbindingen

fig. 18 - hoek verbindingen

fig. 19 - staf, holle as, buisverbindingen

VLAKKE VERBINDINGEN

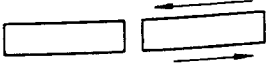

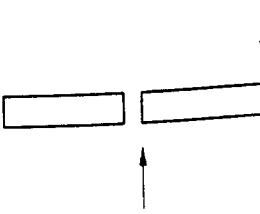
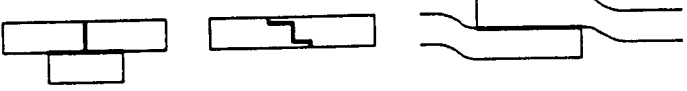
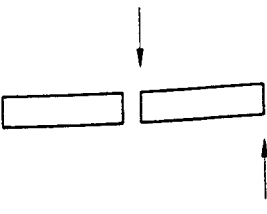

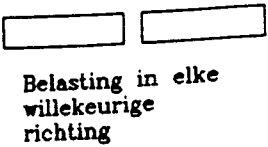

Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
1		
2		
3		
4	 <p>Belasting in elke willekeurige richting</p>	

Fig. 16

T-VERBINDINGEN

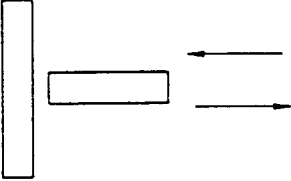

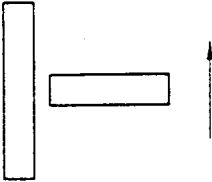
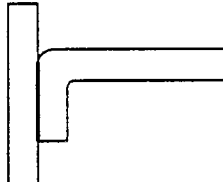
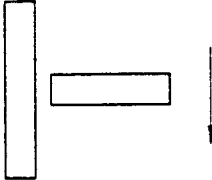
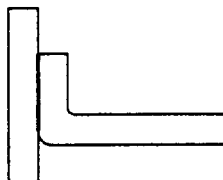
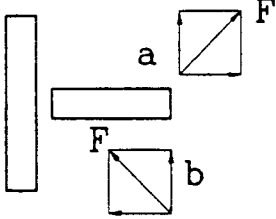
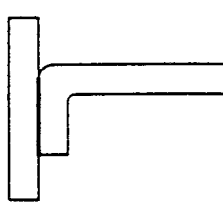
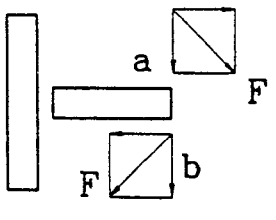
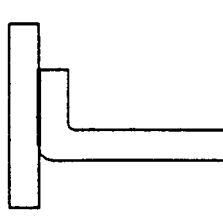
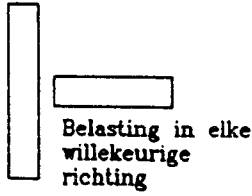
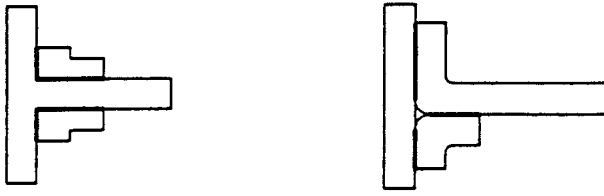
Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Fig. 17

HOEKVERBINDINGEN

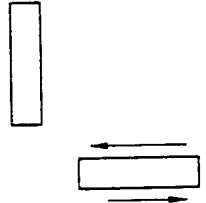
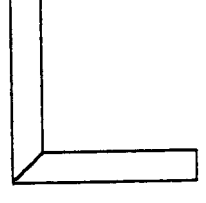
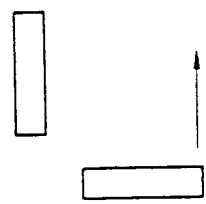
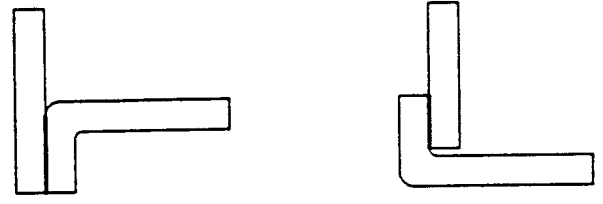
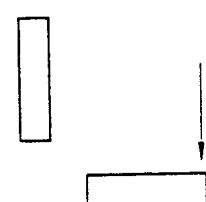
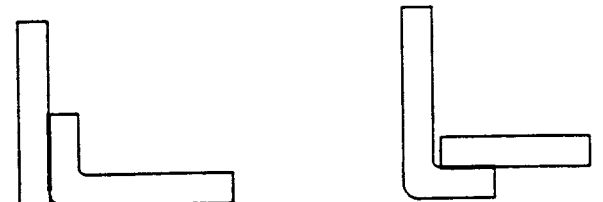
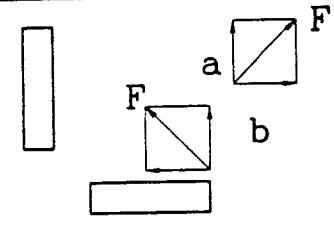
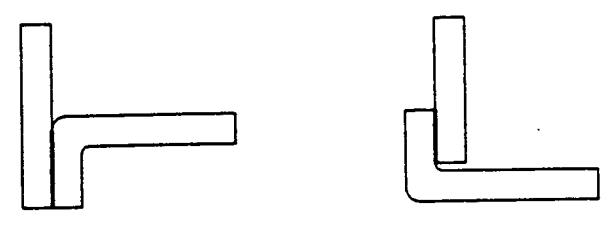
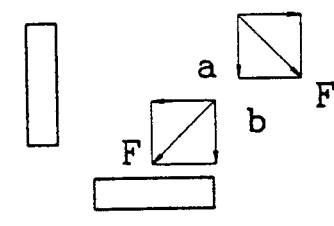
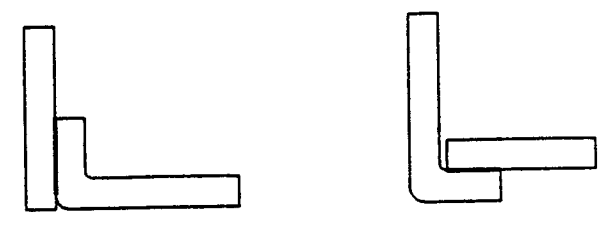
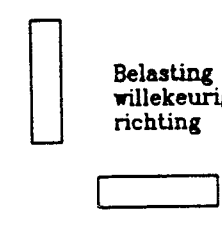
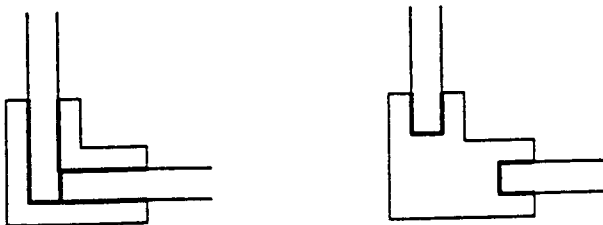
Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
1		
2		
3		
4		
5		
6	<p>Belasting in elke willekeurige richting</p> 	

Fig. 18

STAF-, HOLLE-AS, BUISVERBINDINGEN

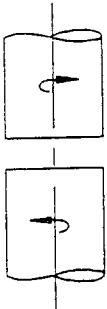
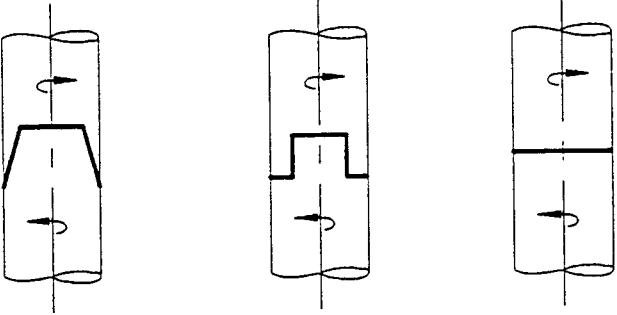
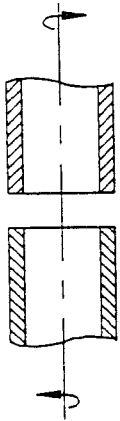
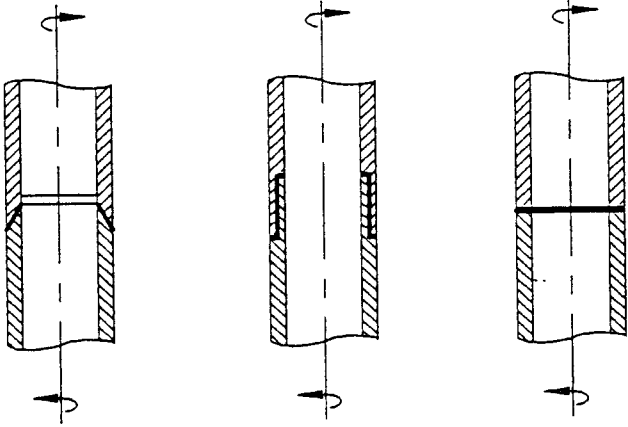
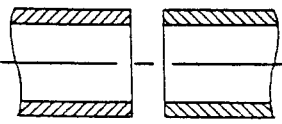
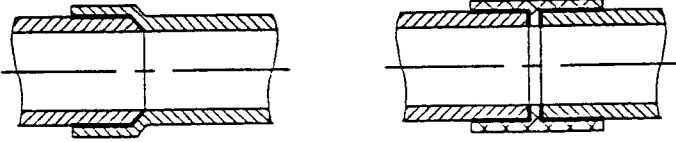
Nr.	Belasting	Aanbevolen uitvoeringsnormen
as 1		
holle as 2		
buis 3		

Fig. 19

1.5 Voorbehandeling

1.5.1 Algemeen

EEN GOEDE LIJMVERBINDING WORDT ALLEEN VERKREGEN DOOR EEN JUISTE VOORBEHANDELING

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.5.2 **Levensduur**

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

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

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

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

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

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

1.6 Voorbehandelingsmethoden

1.6.1 Type A

1. Ontvetten

1-1 Threebond 2890 B

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

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

2. Mechanisch bewerken

2-1 Lijmvlakken schuren met schuurlijnen type 320

2-2 Stralen met glaspereels

3. Aanbrengen van primer

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

4. Opnieuw ontvetten (niet meer met doekje)

4-1 Threebond 2890 B

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

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

1.6.2 Type B

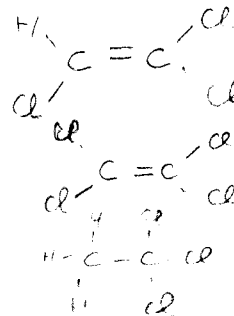
Dampontvetten

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

- trichloorethyleen (C₂HC1₃)

- perchloorethyleen (C₂Cl₄)

- 1.1.1. trichloorethaan (CH₃-CCl₃)



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

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

1.6.3 Type C (chemische voorbehandelingen)

Speciaal geschikt voor aluminium.

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

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

1.7 Lijmleveranciers

1.7.1 **Algemeen: TESTEN VAN DE LIJM**

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

1.7.2 **Twee componenten lijmen**

Er is gekozen voor Araldit.

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

1.7.3 **Een component lijm**

Er is gekozen voor Araldit.

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

1.7.3.1 Araldit AV 118

1.7.3.2 Araldit AV 119

1.7.4 **Hittebestendige lijmen**

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

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

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

1.7.7 **Cyanoacrylaatlijmen**

1.7.7.1 Loctite
Treebond

1.7.8 **Bevestigen**

1.7.8.1 Loctite
Treebond

1.8 Lijmkeuze

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

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

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

VRAGENLIJST VOOR DE BEPALING VAN EEN LIJMKEUZE

1. GEGEVENS OVER DE TE VERBINDEN MATERIALEN

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

Lineaire uitzetting materiaal 1 ..

Lineaire uitzetting materiaal 2 ..

Warmtegeleidingscoëfficiënt materiaal 1 ..

Warmtegeleidingscoëfficiënt materiaal 2 ..

2. LIJMCONSTRUCTIE

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

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

4. TYPE BELASTING - trek/druk N/mm²
- afschuiving N/mm²
- druk N/mm²

5. AFMETINGEN -
-

6. RUWHEID -

7. PASSING -

8. AANTAL TE LIJMEN ONDERDELEN

9. DOSERING VAN DE LIJM

10. TEMPERATUUR

11. CHEMISCHE OMSTANDIGHEDEN

12. ADVIES*

- lijmtipe

13. VOORBEHANDELING

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

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

1.9 **Hoofdlijmsystemen**

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

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

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

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

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

1.9.1 **1-komponenten konstruktielijmen**

(uitharding alleen bij 120-150°C)

1.9.2 **2-komponenten konstruktielijmen**

(uitharding bij kamertemperatuur, eventueel bij hogere temperatuur)

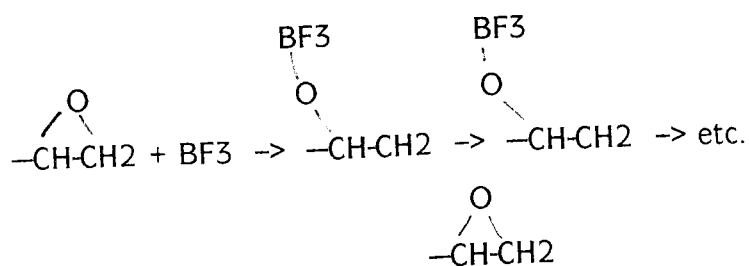
1.9.3 **Epoxylijmen**

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

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

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

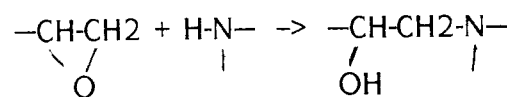
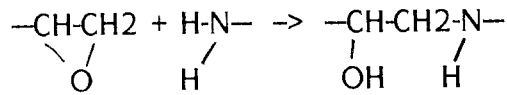
De verharders kunnen worden ingedeeld in Lewis-basen en Lewis-zuren. De Lewis-zuren (elektron accepterend), zoals boriumtrifluoride grijpen aan op het zuurstofatoom van de epoxiraanring en leiden tot homopolymerisatie:



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

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

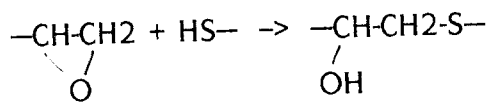
De primaire en secundaire aminen reageren tot secundaire resp. tertiare aminen:



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

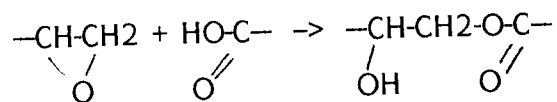
Alifatische primaire aminen zijn reactiever dan secundaire of aromatische, cycloalifatische en heterocyclische aminen. Secundair amine heeft enige catalytische werking en geeft na de reactie het catalytische tertiair amine. Daarom zijn laagmoleculaire aminen met zowel primaire als secundaire aminen in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

Bij de 1-c warmhardende systemen zijn kristallijne aminen, zoals dicyaan-
diamide en imidazolen als zeer fijne vaste deeltjes verdeeld in de hars. Pas
wanneer deze deeltjes bij verhoogde temperatuur smelten en oplossen in
de hars kan er een reactie plaatsvinden. Ook komen in 1-c systemen
aminen voor die bij kamertemperatuur chemisch geblokkeerd zijn of
nauwelijks reactief zijn, zoals aromatische aminen en cyanogealkyleerde
hydraziden. Deze worden bij verhoogde temperatuur eveneens reactief.
De mercaptanen reageren tot sulfiden:



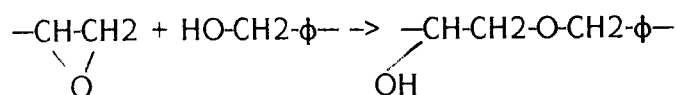
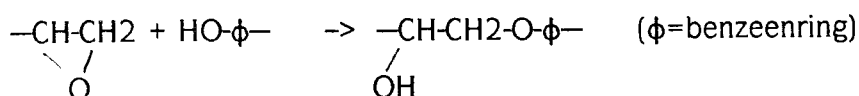
Vooraf in aanwezigheid van een tertiair amine verloopt de uitharding reeds
bij kamertemperatuur snel. Daarom worden mercaptaan verharders vaak
toegepast in 2- of 5-minuten epoxyes. Het kan hier gaan om mercaptaan
getermineerde polymeren of om polysulfiden. Polysulfiden zijn relatief
flexibel tot -100 °C of lager en hebben een goede bestandheid tegen een
buitenklimaat. Ze hebben echter een zeer beperkte temperatuursbestand-
heid (tot +50°C) en hebben een vieze reuk. Verder zijn ze niet geschikt
voor het verlijmen van koper.

Carboxylzuren reageren tot esters:



De reactie verloopt zelfs bij verhoogde temperatuur zeer traag en dient
met een tertiair amine gecatalyseerd te worden. Ook carboxylzuuranhydri-
den worden toegepast. Deze lijmen zijn meestal bros, maar hebben een
goede bestandheid tegen een hoge temperatuur en tegen chemicaliën.
Flexibeler lijmen worden verkregen met carboxylzuur getermineerde
polyurethanen, polyamiden of polyesters of ethyleen vinylacetaat copolyme-
ren met carboxylzuur zijgroepen.

Fenolharsen reageren tot ethers:



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

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

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

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

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

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

Hechting. Epoxylijmen hechten o.a. vanwege de bij de uitharding vrijkomende hydroxylgroepen uitstekend op metalen, glas, keramiek en hout. Met de standaard typen kan met een goed voorbehandeld metaal een afschuifsterkte van 20 tot 25 N/mm² worden bereikt. Epoxyfilms kunnen zelfs een afschuifsterkte tot 40 N/mm² geven. De hechting op composietmaterialen is eveneens erg goed. Met kunststoffen en rubbers worden zeer wisselende resultaten verkregen. Een voorbehandeling geeft hierbij over het algemeen een duidelijke verbetering. De hechting van epoxies is erg gevoelig voor verontreinigingen, zoals met name olie en vet. Hoewel er wat meer olietolerante typen zijn ontwikkeld, is reinigen bijna altijd een vereiste.

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

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

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

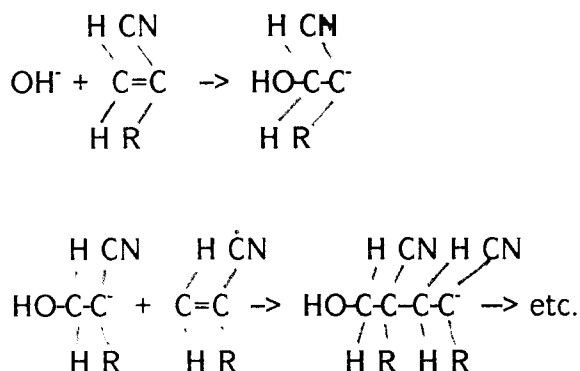
1.9.4 **Cyanoacrylaatlijmen**

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Het verhardingsmechanisme

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

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

1.9.5 **Anaërobe lijmen**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.9.6 **Hotmelt lijmen**

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

1.9.7 **Gemodificeerde acrylaatlijmen**

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

maar afzonderlijk worden aangebracht op de te lijmen oppervlakken.

1.9.8 Polyurethaan (PU) lijmsystemen

Deze polyurethaan lijm wordt veel toegepast in de autoindustrie. De bereikbare schuifsterkte is aanmerkelijk lager als bijvoorbeeld een 2 component epoxylijm, nl. 2 - 8 N/mm².

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

Kunststoffen kunnen met PU goed aan metalen gelijmd worden.

1.9.9 Polyurethaan Hotmelt; Algemeen

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

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

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

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

1.9.10 Polyurethaanlijmen

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

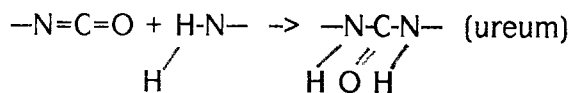
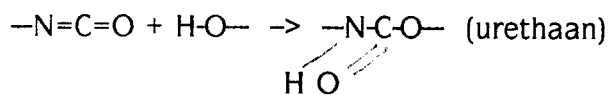
zeer lage temperatuur.

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

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

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

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



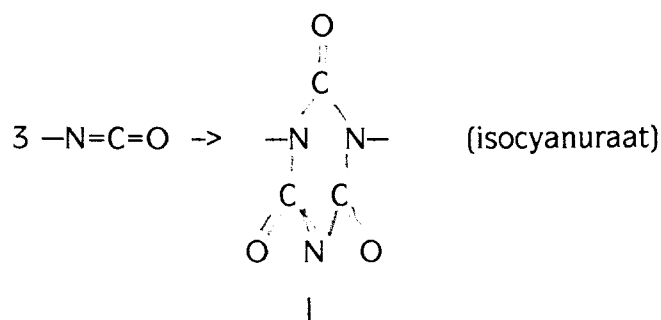
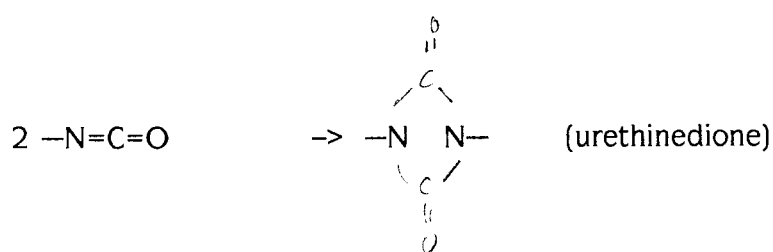
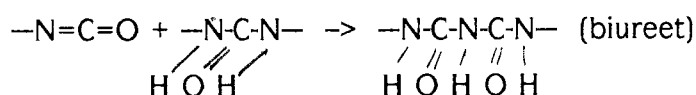
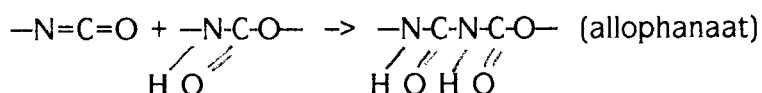
Voor de laatste reactie is de term "polyurethaanlijm" dus in feite onjuist. Alifatische aminen reageren zo snel met isocyanaat dat deze mengproblemen geven en te weinig tijd hebben om het substraat goed te bevochtigen. Daarom worden ze niet in lijmen toegepast. Aromatische aminen reageren wel langzaam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

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

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

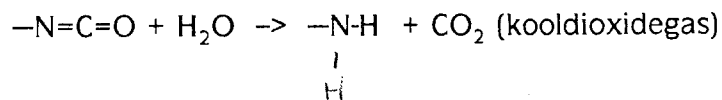
tor toe te voegen, wordt de reactie versneld en kan de fixatietijd worden teruggevoerd tot enige minuten. De reactie verloopt ook bij temperaturen onder kamertemperatuur. Een temperatuursverhoging leidt tot een versnelde uitharding.

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



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

Isocyanaat reageert ook met vocht:



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

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

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

Bij geen van de uithardingsreacties treedt veel krimp op.

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

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

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

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

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

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

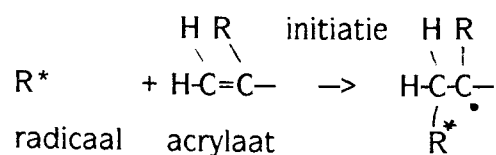
Mechanische eigenschappen. Polyurethanen zijn inherent taai en flexibel en kunnen een rek-bij-breuk hebben van vele tientallen tot honderden procenten. Deze mechanische eigenschappen zijn met de chemie van de lijm en het gebruik van vulstoffen eenvoudig binnen ruime grenzen te variëren. Door de hoge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

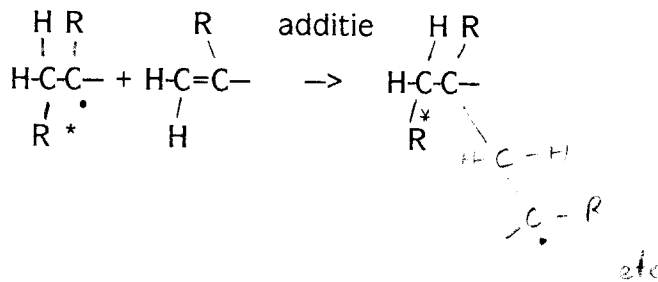
Temperatuurbereik en chemische bestandheid. De minimale gebruikstemperatuur bedraagt meestal ca. -80 °C. Met name de polyethertypen kunnen zelfs tot -200 °C gebruikt worden. De maximale gebruikstemperatuur is meestal ca. 80 à 100 °C. Kortstondig zijn temperaturen tussen 120 en 150 °C mogelijk. De chemische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

1.9.11 Acryaatlijmen

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

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





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

Acrylaatljmen kunnen bij het uitharden aanzienlijk krimpen.

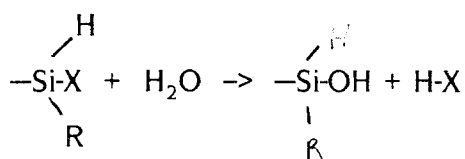
1.9.12 Siliconenlijmen

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

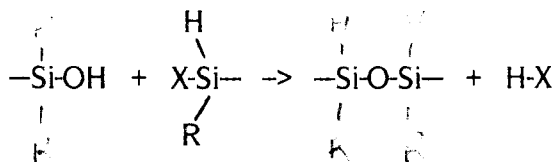
Onderverdeling. Naast de fysisch drogende siliconenlijmen, welke niet voor constructieve toepassingen geschikt zijn, zijn er vijf typen uithardende siliconenlijmen te onderscheiden. Het 1-component polycondensatietype (RTV-1) hardt bij kamertemperatuur uit onder inwerking van vocht uit de lucht. Het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

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

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



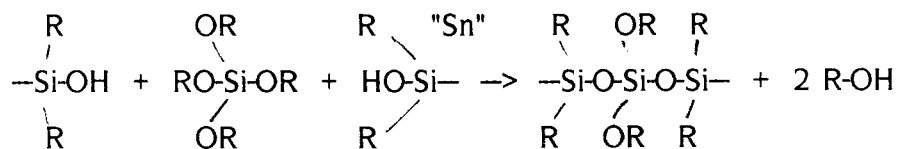
Het amine veroorzaakt een basische pH, het azijnzuur een zure pH en het oxim een neutrale pH. Bij het lijmen van metalen kan het azijnzuur afsplitsende type beter gemeden worden, daar azijnzuur nogal eens corrosie veroorzaakt. Bovendien kan azijnzuur tot ionengeleiding leiden en is daarom niet geschikt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



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

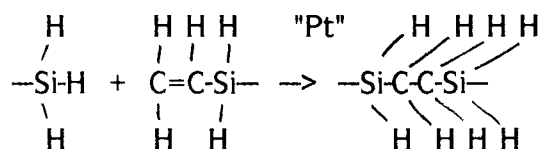
houdende lucht ook tussen de vlakken door kan stromen en de stippen of rupsen doet uitharden. Door de aanwezigheid van silanolgroepen is de hechting aan glas en metalen vaak erg goed. Azijnzuur afsplitsende typen vertonen over het algemeen de beste hechting.

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



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

Bij de 2-componenten polyadditietypen treedt verknoping op door een reactie tussen vinylgroepen (Si-CH=CH₂) en Si-H:



Deze reactie wordt gecatalyseerd door chloro-platinazuur, hetgeen deze

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

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

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

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

enkele lijm kan hier namelijk nog op hechten.

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

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

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

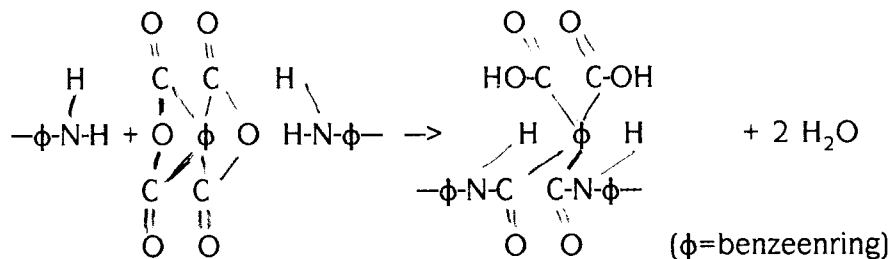
1.9.13 Polyimidelijmen

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

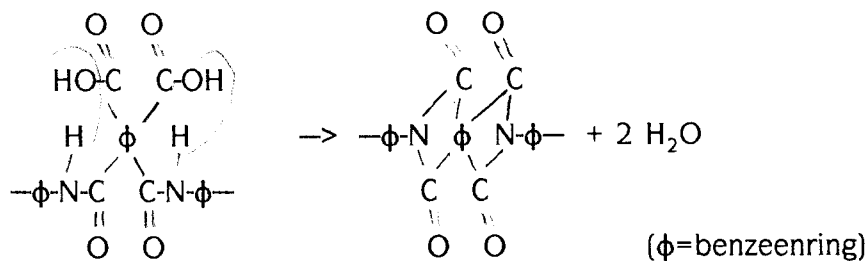
imidelijmen zijn duur en zijn lastig te verwerken. Toepassingen liggen vooral in het verlijmen van metalen (vaak titanium) en keramiek voor de ruimtevaart- en militaire luchtvaart.

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

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



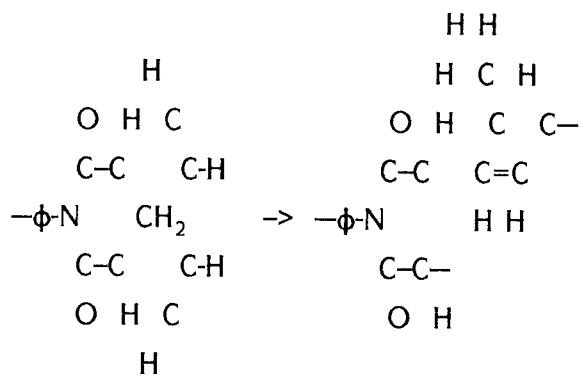
Het tussenproduct is oplosbaar en smeltbaar. Door uit te harden bij hoge temperatuur ontstaat het onsmeltbare en onoplosbare polyamide:



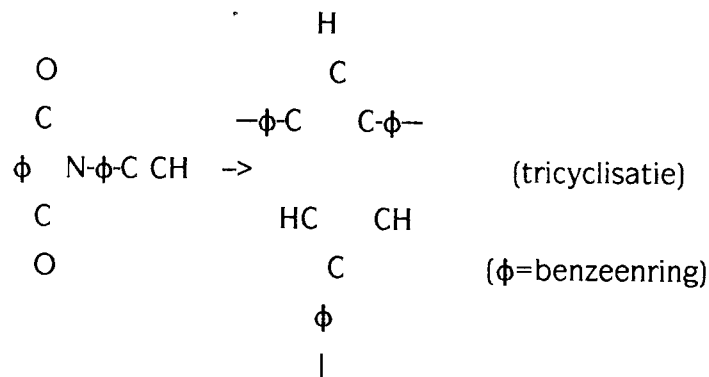
Aan de reactievergelijking is te zien dat er water gevormd wordt. Samen met resten oplosmiddel leidt dit tot gasinsluitingen (voids) in de lijmverbinding. Een hoge druk gedurende de uitharding is nodig om de gasinsluitingen zo klein mogelijk te houden.

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

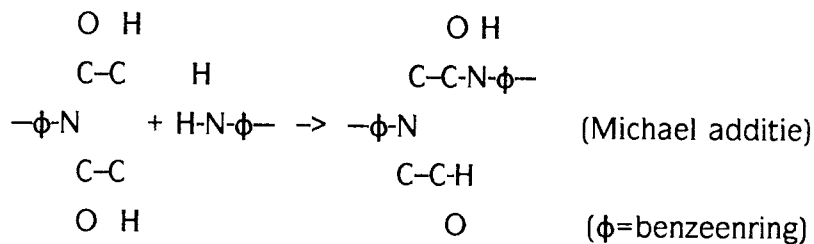
* norborneen:



* acetyleen:



* bismaleïmide:



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

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

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

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

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

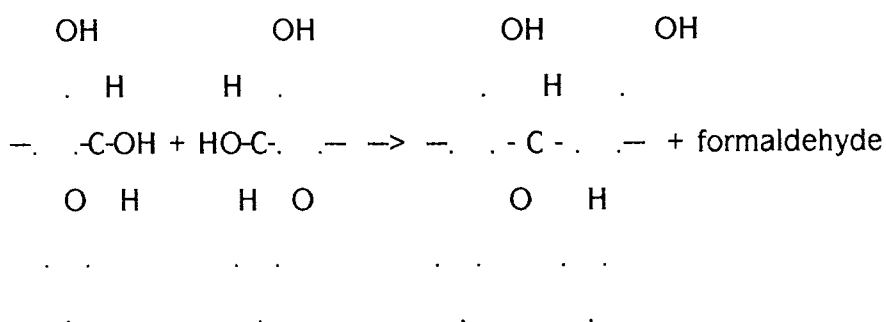
en zwak zuur is eveneens goed. Vocht met een alkalische pH leidt bij verhoogde temperatuur echter tot hydrolyse.

1.9.14 Fenolharslijmen

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

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

Uithardingschemie. Fenolharsen worden bereid uit fenol en formaldehyde. Omdat fenol op drie posities kan reageren, kan een grote verscheidenheid aan moleculaire structuren ontstaan. Wanneer de fenolhars onder basische condities wordt bereid met een overmaat formaldehyde, dan ontstaat een visceuze vloeistof die resol wordt genoemd. Deze is rijk aan methylol-groepen (-CH₂-OH), die onder temperatuursverhoging als volgt tot uitharding leiden:



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

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

Ook toevoegingen kunnen deel nemen aan de uithardingsreactie:

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

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

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

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

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

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

1.10 **Doseerapparatuur**

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

Deze doseerapparatuur wordt in de lijmsleutel niet behandeld.

Bij de auteur zijn deze gegevens wel bekend.

1.11 Veiligheid en milieu

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

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

Enkele bekende gevaren zijn:

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

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

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

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

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

Lijmtechnologie*

Lijmverbindingen zijn van groot belang in industriële toepassingen zoals in de fabricage van consumentenprodukten en in de verpakingsindustrie. Een groeiende belangstelling voor lijmverbindingen valt te constateren voor overige industriële assemblageprocessen.

Met name de nieuwe "high-performance" lijmsystemen en nieuwe verwerkingstechnieken die ontwikkeld zijn voor de vliegtuig- en de automobiellindustrie krijgen veel aandacht.

Lijmverbindingen blijken echter ook een aantrekkelijk alternatief te zijn voor klassieke mechanische- en lasverbindingen.

Ontwikkelingen in "gebruiksvriendelijke" lijmsorten (die b.v. geen intensieve oppervlaktebehandeling van de te lijmen materialen vereisen) en geautomatiseerde aanbrengmethoden met behulp van robots, hebben geleid tot de geconstateerde toenemende belangstelling voor lijmverbindingen in de produktietechnologie.

Dit artikel is gewijd aan enkele ontwikkelingen in de lijmtechnologie en is grotendeels gebaseerd op de conferentie Adhesives '86 van de Society of Manufacturing Engineers.

Inleiding

De Amerikaanse markt voor lijmen had in 1986 een omvang van \$ 3,3 miljard. Het Amerikaanse Department of Commerce schat de jaarlijkse groei van deze markt op 8% voor de komende jaren. De markt voor speciale industriële lijmen en "sealants" bedroeg volgens Strategic Analysis Inc. in 1985 \$ 1,4 miljard en zal in 1990 ruim \$ 2 miljard bedragen [1].

Binnen deze markt vallen o.a. de epoxies, isocyanaten, polyvinylacetaat, polyamides, cyanoacrylaten, polysulfiden en siliconen. Zogenaamde "commodity" lijmen gebaseerd op dierlijke stoffen, caseïne, sojabonen en cellulose zijn niet in dit onderzoek opgenomen.

De bouwindustrie neemt van de genoemde markt ca. 40% in beslag waarvan een groot deel ingenomen wordt door de "sealants" en zal naar verwachting de minste groei vertonen. De groei zal voornamelijk komen uit toepassing in prefab huizen. Als een rem op een meer expansieve groei wordt genoemd een gebrek aan coherente normen en "building codes" in structurele toepassingen.

Een hogere groei zal te zien zijn in zowel de vliegtuig- als de automobiellindustrie. De groei in de vliegtuig-

industrie komt uit de volgende ontwikkelingen

- toename in gebruik van composietmetaal verbindingen en composiet-composiet verbindingen,
- hogetemperatuur toepassingen in verbindingen in de omgeving van motoren en in vliegtuigen met een hoge snelheid;
- lagere uithardingstemperaturen van nieuwe lijmen,
- gebruik van nieuwe structurele

materialen zoals aluminium-lithium

Een deel van de groei komt uit vervanging van bestaande lijmen door nieuwe "high-performance" lijmsystemen.

De afwijzende houding van het Department of Defense in gebruik van lijmen in structurele delen van vliegtuigen zal ook de komende vijf jaar in Amerika een negatieve invloed op de ontwikkeling van de "speciality"-lijmen voor de vliegtuigindustrie hebben.

Naar verwachting zal de automobiellindustrie in 1990 een omzet van \$ 300 miljoen hebben in speciale lijmen. De huidige auto's bevatten ca. 1 kg lijm, gebruikt voor bevestiging van radiator, bekleding, binnenbevestigingen, remschoenen, carrosserie-onderdelen, ramen, etc.

De automobielfabrikanten proberen in toenemende mate het gebruik van puntlasverbindingen te vervangen door lijmverbindingen. Lijmverbindingen verminderen corrosie- en trillingseffecten. Drie belangrijke ontwikkelingen die hiertoe gerealiseerd dienen te worden zijn:

Voordelen van lijmverbindingen:

- *Kunnen vrijwel alle vaste stoffen met elkaar verbinden, inclusief als zeer verschillend ervaren materialen*
- *Oppervlak van werkstuk blijft glad (in tegenstelling tot gebruik van b.v. schroeven of klinknagels).*
- *Uniforme verdeling van krachten op verbinding en beter vermoeingsgedrag dan mechanische verbindingen*
- *Dikwijls gewichtsbesparing*
- *Corrosie bij verbinding van ongelijke materialen kan worden voorkomen.*
- *Investing in zowel kapitaalgoederen als arbeid is dikwijls lager dan voor andere methoden.*

Factoren waarmee rekening dient te worden gehouden:

- *Veelal is een oppervlaktebehandeling voor de te verbinden werkstukken nodig.*
- *Het uitharden van de lijm is soms tijdrovend*
- *De maximale sterkte van de lijmverbinding wordt niet onmiddellijk bereikt na aanbrenging.*
- *Lijmen zijn vaak niet bruikbaar bij hoge temperaturen.*
- *Een aantal lijmen is brandbaar en/of giftig.*
- *Het lange-termijngedrag van lijmverbindingen, met name onder zware omstandigheden, is niet altijd zeker*

Dit artikel is eerder geplaatst in Technieus Washington van het Ministerie van Economische Zaken

- kortere uithardingstijden van lijm-verbindingen,
- weerstand van lijmverbindingen tegen elektrolytische primer-baden,
- eliminatie van de oppervlaktebewerking van te lijmen onderdelen.

Een enorme groei (verdubbeling over vijf jaar) wordt voorspeld voor lijmen in elektronische en medische toepassingen. Medische toepassingen hebben momenteel slechts een zeer bescheiden aandeel (ca 4%) in de "high-tech" lijmmarkt. De markt voor elektronische toepassingen bedroeg in 1985 11% of \$ 150 miljoen.

Lijmsorten

Gezien de grote hoeveelheid verschillende lijmsorten op de markt is het verbazingwekkend te constateren hoe overzichtelijk en toegankelijk een en ander gedocumenteerd is. Diverse, zeer leesbare handboeken, zijn voor de geïnteresseerde potentiële gebruiker verkrijgbaar, zoals het Adhesives Handbook van S. Shields [2].

Er zijn diverse manieren om lijmen te karakteriseren, zoals naar chemische samenstelling, gebruikt oplosmiddel, wijze van uitharden en vloeibaarheid. Moderne lijmen krijgen hun sterkte vrijwel allemaal door polymeren, waarvan er soms twaalf in een lijm opgenomen kunnen zijn. Diverse andere componenten kunnen aan een lijm worden toegevoegd die bewerkings-eigenschappen, de eigenschappen van de gedroogde lijm of de weerstand tegen aantasting door omgevingsfactoren verbeteren.

De data bank "Adhesives" [3] gaat zeer uitgebreid in op de chemische eigenschappen van lijmsorten, geeft beschrijving van toepassing, oppervlaktebehandeling, interactie met substraten en leveranciers en bevat een zeer goede inleiding over de elementen die een rol spelen bij de keuze van een lijmsort voor een specifieke toepassing.

Keuze van lijmen

Voor de gebruiker is het van belang te weten

- a. Welke materialen men wil verbinden. Sommige lijmen vertonen b.v. corrosief gedrag, waardoor een lijmverbinding wordt aangetast. Sommige materialen vertonen een capillair gedrag waardoor lijm in het materiaal "gezogen" kan worden.
- b. Onder welke omstandigheden de verbindingen worden aangebracht. Soms zijn uitgebreide voorbehan-

delingen van oppervlakken noodzakelijk. Het drogen ("curing") van de lijm kan speciale (en dure) voorzietingen eisen. Met name giftigheid van sommige oplosmiddelen beïnvloedt de keuze van een lijmsort en heeft de ontwikkeling van "waterborne" lijmen gestimuleerd.

- c. Aan welke omstandigheden de lijmverbindingen zullen worden blootgesteld.

Thermoplastische lijmsorten vertonen b.v. een gunstig afscheur ("peel") gedrag maar een relatief ongunstig afschuivings ("shear") gedrag.

Thermohardende lijmsorten gedragen zich zeer goed bij b.v. langdurige trillingsbelasting. Naast mechanische belasting, spelen ook temperatuur en veiligheid een rol.

Een zeer interessante voordracht "Choosing the Right Structural Adhesive" [5] werd door mr. Scott Gordon gegeven op de Adhesives '86 conferentie. Hij onderscheidt bij het gebruik van lijm drie fasen namelijk: selectie, aanbrengen en langetermijn gedrag van de lijm. In elke fase spelen verschillende elementen een rol, elementen in de selectiefase zijn b.v. shelf life, aantal componenten, vochtgevoeligheid, kosten, verpakkingsformaat en vorm, te lijmen substraten, eisen aan het oppervlak, etc. Globaal worden de belangrijkste elementen van vier lijm-groepen, namelijk acrylische polymeren, epoxies, urethanen en cyanoacrylaten, in deze drie fasen weergegeven.

Keramische lijmen

Organische lijmsystemen zijn meestal ongeschikt om gebruikt te worden bij temperaturen boven 310° C. Keramische lijmen worden zowel in de VS als in Europa ontwikkeld die bij een veel hogere temperatuur, tot 2200° C, gebruikt kunnen worden.

In een voordracht van mr. Herbert Schwartz van Aremco Products [6] werd dieper ingegaan op de eigenschappen, toepassingen en ontwerp-regels van keramische lijmverbindingen. De huidige keramische lijmen zijn gebaseerd op o.a. Al₂O₃, SiO₂ en ZrO₃. Onderzoek is gaande naar lijmen die samengesteld zijn uit "high-performance" keramische materialen zoals TiB₂, SiC en SiN.

Gezien de grote temperatuursverandering waaraan de keramische lijmverbinding wordt blootgesteld, wordt het belang van zorgvuldig ontwerp van de verbinding benadrukt, verschillende thermische uitzettingscoëfficiënten

van de gebruikte materialen spelen bij het ontwerp een belangrijke rol. Een aantal toepassingen komt aan de orde, zoals bevestiging van verhittelementen in haardrogers, bevestiging van een tantalum verhitingsspoel op een keramische buis voor gebruik als verhittelement in ovens die gebruikt worden in de halfgeleiderindustrie en bevestiging van keramische isolatie in gietijzeren deuren van houtkachels.

Hot-melt lijmen

Hot-melt lijmsystemen zijn thermoplastische lijmen die vóór toepassing door verhitting vloeibaar gemaakt worden. In de warme en vloeibare vorm zijn deze lijmen uitermate goed via dispensers op te verbinden oppervlakken aan te brengen.

Door afkoeling vindt harding van de lijm plaats. Het thermoplastische karakter van de lijm geeft aan de verbinding een beperkte bruikbaarheid, aangezien verwarming de lijm vloeibaar zou maken.

Reactieve "hot-melts" vereisen bij afkoeling een extra behandeling waardoor een verandering in de lijm optreedt ("curing" of "crossbinding"), die een gunstiger gedrag van lijmverbindingen bij verhitting oplevert. Bestraling met ultraviolet licht is een uithardingsmethode die op bredere schaal toegepast wordt.

"Moisture-curing hot-melts" zijn lijmen die uitharden door een reactie met water. Het water wordt speciaal toegevoegd of uit het te lijmen substraat gehaald.

Deze lijmsort wordt door zijn unieke eigenschappen opgevat als een doorbraak in de lijmtechnologie.

In de voordracht "Reactive hot-melts" [7] wordt nader ingegaan op het "moisture-curing". Een systematische beschrijving van deze nieuwe lijmsort wordt gegeven in de voordracht van mr. Zurlinden van Slauterback Corporation [8]. Behandeld wordt een overzicht van mogelijke toepassingen, in auto's, assemblage van medische producten onder verhitting voor sterilisatie, inkapseling van elektronische componenten, en aandacht wordt besteed aan dispensiesystemen voor deze nieuwe lijmen.

Toepassingen

Toepassingen van lijmverbindingen zijn uitgebreid in de literatuur gedocumenteerd. Handboeken [2, 3 en 4] gaan gedetailleerd in op de mogelijkheden, beperkingen en praktisch gebruik van lijmverbindingen. Het voor-aanstaande tijdschrift "Adhesives

Age" [1] bevat in vrijwel iedere uitgave een aantal "case histories" waarin nieuwe industriële toepassingen besproken worden. In het nummer van oktober 1986 wordt de toepassing van polysulfide lijm door Rockwell in vliegtuigen beschreven. Tevens wordt ingegaan op gebruik van lijmen in de produktie van de Ford Aerostar personenwagen, waarbij speciaal de zeer snelle uitharding en het ontbreken van de noodzaak voor oppervlaktebehandeling aandacht krijgen. Tijdens de Adhesives '86 conferentie werd aan de toepassing van lijmverbindingen veel aandacht besteed.

UV-uithardende lijm in elektronische toepassingen

De markt voor lijmen in elektronische toepassingen zal in 1990 \$ 300 miljoen bedragen. Een deel van de toepassing is gericht op verzegeling van componenten. Een belangrijke toepassing lijkt echter assemblage van elektronische componenten te zijn. Door vertegenwoordigers van Polytrox werd het gebruik van lijm in assemblage van vloeibare kristal schermen (LCD's) beschreven [9]. Het betreft het gebruik van een transparante geleidende en een niet-geleidende lijm die met behulp van UV-licht nabehandeld worden om uitharding te bereiken. De geleidende lijm wordt gebruikt om optimaal contact te realiseren tussen de aansluitpennen en de coating op het glassubstraat van het LCD. De niet-geleidende lijm wordt vervolgens over de penverbinding aangebracht om onder meer als bescherming te dienen tegen de omgeving en extra sterkte aan de verbinding te geven. Met name de snelle uitharding met behulp van het UV-licht maakt deze behandeling zeer geschikt voor een automatische assemblagelijm.

Het automatiseringsaspect is van groot belang omdat de LCD's in verschillende uitvoeringen op specificatie van de klant (b.v. voor horloges, spelletjes, meetinstrumenten) gefabriceerd worden en de leverancier, gezien de bestaande concurrentie, flexibel wil zijn in het aanpassen van zijn produktielijn.

Herfabricage van luchtpompen voor auto's

Luchtpompen, aangedreven door een aandrijfriem, vormen in Amerikaanse auto's een belangrijk onderdeel voor vermindering van de produktie van milieuvriendelijke uitlaatgassen. Vervanging ervan gebeurt meestal met zogenaamde "rebuild" pompen.

De markt voor dit onderdeel bestaat in California uit 10 000 exemplaren per maand. De her-assemblage van de schoongemaakte oude pomp, voornamelijk de behuizing, met een lagerhuis gaf grote problemen en een onacceptabele hoge uitval.

De toepassing van een snel hardende, tweecomponenten epoxylijm bleek een snelle, schone en betrouwbare assemblage op te leveren. Ten opzichte van de oude bevestigingstechniek met de hoge uitval bleek de dagelijkse produktie van bruikbare pompen door toepassing van lijmverbindingen bij het bedrijf Carter Precision van 100 naar 500 gestegen te zijn. Deze toepassing werd in een voordracht [10] van mr. Gongemi nader toegelicht.

Automatisering

Het aanbrengen van lijmen leent zich in principe zeer goed voor automatisering. Het aanbrengen van de lijm met de juiste nauwkeurigheid, de juiste snelheid in de juiste hoeveelheid wordt dikwijls als een probleem gezien.

Er zijn echter diverse systemen ontwikkeld die het op betrouwbare wijze, machinaal aanbrengen van reactieve lijmsystemen, een goed reproduceerbaar proces maken.

Tijdens de Adhesives '86 conferentie werden voordrachten gegeven over het opslaan, mengen en machinale (gecontroleerde) dispensie van tweecomponentlijmen [11]. Hiertoe is o.a. een cassettesysteem ontwikkeld [12] dat de lijm beschermt tegen omgevingsinvloeden en een zeer nauwkeurige, uitstekend gemengde, lijmdispensie mogelijk maakt.

De gepresenteerde systemen konden onder andere effecten van variatie in viscositeit van de lijmcomponenten compenseren.

De betrouwbaarheid van de huidige automatische dispensiesystemen

werd geïllustreerd aan de hand van toepassingen in de elektronische industrie [13]. De eerste toepassing betreft aanbrengen van een soldeermasker op een printed-circuit board met een nauwkeurigheid van 0,02 inch.

De tweede beschreven toepassing betreft dispensie van contactlijm in surface-mount technologie voor bevestiging van elektronische componenten met een nauwkeurigheid van 0,001 inch waarbij de aangebrachte lijmdruppels een, reproduceerbare, doorsnede van 0,005 inch moeten hebben.

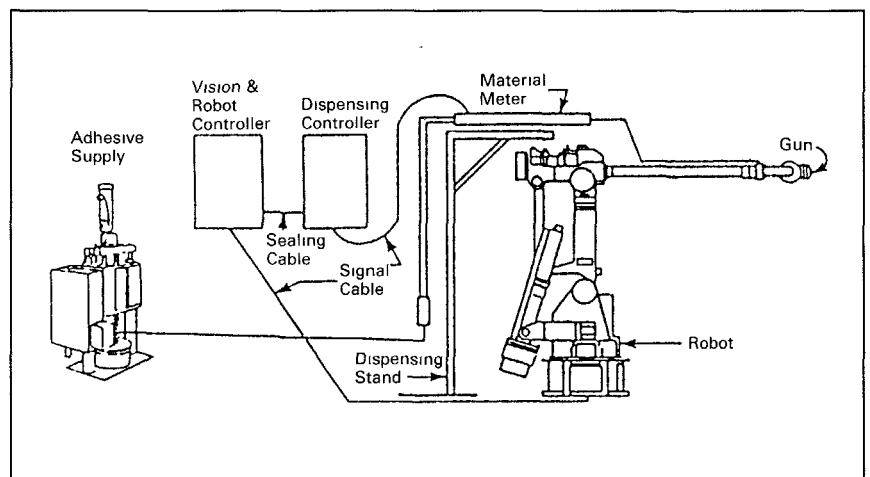
Robots

Integratie van nieuwe dispensiesystemen in robots heeft als resultaat dat het automatisch aanbrengen van lijm nu dikwijls vlugger, betrouwbaarder en efficiënter verloopt dan het handmatig aanbrengen.

GMF Robotics Inc heeft een geïntegreerde lijmrobot ontwikkeld [14] die momenteel zowel in de assemblage voor huishoudelijke apparaten als van auto's gebruikt wordt; zie figuur 1. Ook American Cimflex Corp. signaleert de belangstelling van de industrie voor gebruik van lijmrobots in assemblage. In een voordracht wordt aandacht besteed aan belangrijke systeemcomponenten [15].

Verdere beschouwing

Het gebied van de lijmtechnologie is nog volop in ontwikkeling. Onderzoek vindt plaats teneinde een beter begrip te krijgen van de mechanismen die een rol spelen in het realiseren van structurele verbindingen en speciaal de faalmechanismen. Een beter begrip van de fundamentele verschijnselen zal naar verwachting leiden tot de ontwikkeling van nieuwe "highperformance" lijmen en een be-



Figuur 1 Basic adhesive delivery system

tere voorspelling van de betrouwbaarheid van lijmverbindingen

Op verzoek van zowel de industrie als de overheid is in de VS het Centre for Adhesives, Sealings and Coatings (CASC) aan de Case Western University in Cleveland, Ohio opgericht. Het idee hierbij is dat zowel in lijm- als in coatingstechnologie fundamenteel onderzoek noodzakelijk is dat gebruik moet maken van een interdisciplinaire aanpak, zoals gebruik van oppervlakte fysica, materiaalkunde, polymeerchemie, colloidchemie

Deze aanpak is voor veel industrieën te duur en te fundamenteel, zodat gekozen is voor een cooperatieve benadering. Het CASC heeft momenteel 24 industriële sponsors die samen jaarlijks voor een bedrag van \$ 500 000 aan onderzoek financieren. In Adhesives Age van oktober 1986 [1] staat gedetailleerd de organisatie en het researchprogramma van CASC beschreven

Een belangrijk element in de toepassing van lijm in structurele verbindingen is de sterkte van de lijmverbinding

Hier toe moet aandacht besteed worden aan het ontwerp van de verbinding (zie [2], blz 7, e.v.) en de krachten waaraan een verbinding wordt blootgesteld

Vijf belangrijke krachten die worden gebruikt om de lijmsterkte te karakteriseren zijn

- afschuiving,
- trekspanning,
- afscheuren (peeling),
- druksplijting,
- schokbelasting

In een voordracht van Sintech Inc [16] wordt ingegaan op het gecomputeriseerd testen van lijmsterkte met speciale aandacht voor de "peel" sterkte. De American Society for Testing and Materials (ASTM), Committee D-14, is verantwoordelijk voor normen voor lijm materiaal. In Adhesives Age van december 1986 [1] wordt een overzicht gegeven van een ASTM jaarconferentie over o.a. mechanisch testen, duurzaamheid en non-destructieve inspectie

Over het laatste onderwerp werd een presentatie gegeven door Fokker, zoals bekend een vooraanstaand bedrijf in ontwikkeling en toepassing van lijmtechnologie

Literatuur

[1] Adhesives Age, tijdschrift, de nummers september, oktober en november, 1986

[2] Adhesives Handbook, J. Shields, 3th

edition, uitg. Butterworths, 1985 (beschikbaar via de boekhandel)

[3] Adhesives, edition 4, 1986, DATA Inc Desk-top Data Bank. Beschrijft meer dan 3000 lijmen (inclusief applicaties), verkrijgbaar in de VS, prijs \$ 150 —

[4] Advances in Adhesives, Applications, Materials and Safety. D. Brewis, J. Comyn, Uitg. Warwick Publishing, 1983 (beschikbaar via de boekhandel)

[5] Choosing the Right Structural Adhesive, Scott D. Gordon, 1986, 9 blz. Adhesives '86 Conference

[6] Ceramic Adhesives for High-Temperature Bonding, Herbert Schwartz, 1986, 22 blz. Adhesives '86 Conference

[7] Reactive Hot Melts, Irwin & Davis, 1986, 7 blz. Adhesives '86 Conference

[8] Moisture-Curing Hot Melt Adhesives, the Materials and the Applicators, David P. Zurlinden, 1986, 13 blz. Adhesives '86 Conference

[9] UV-Curable Adhesives Increase the Productivity for Pin Connection on Liquid Crystal Display, Brian Y. Sun, Beei-Lin Lee, 1986, 9 blz. Adhesives '86 Conference

[10] Refurbishing of Smog Pumps with Convenience Adhesives, John H. Congemi, Charles W. Boeder, 1986, 8 blz. Adhesives '86 Conference

[11] Plural Component Meter, Mixing and Dispensing Equipment, Kenneth A. Jacobs, 1986, 24 blz. Adhesives '86 Conference

[12] Cartridges for Storing, Mixing and Dispensing Two-Component Materials, Rob Lee, 1986, 11 blz. Adhesives '86 Conference

[13] Advances in Automated Dispensing Applications, Brad Stoops, Dave Brand, 1986, 11 blz. Adhesives '86 Conference

[14] Integration of Robots in Adhesives, Raymond J. Guzowski, 1986, 11 blz. Adhesives '86 Conference

[15] Advanced Robotic Adhesive Dispensing System, Shafiq Mobiwalla, 1986, 6 blz. Adhesives '86 Conference

[16] Computer Automated Adhesion Testing, Rashid N. Khan, Sudhakar Kamall, 1986, 10 blz. Adhesives '86 Conference

[17] Verzamelde presentaties van de Adhesives '86 Conference Technical Paper Set

De bovenstaande literatuur is bij het Ministerie van Economische Zaken, Directie Research & Ontwikkeling, Bezuidenhoutseweg 20, Postbus 20101, 2500 EC 's-Gravenhage, (de heer R. B. Coolen), ter inzage verkrijgbaar onder vermelding van de volgende code-aanduiding W-87-03- het nummer van de publicatie (zonder haakjes). Bijvoorbeeld W-87-03-12. Publicatie [3] kan op hetzelfde adres worden nabesteld

Nationale technologiedag 1988

Op 27 oktober van dit jaar organiseert het ministerie van Economische Zaken de derde nationale Technologiedag. Deze T-dag zal deze keer gaan over materiaalbewerking

De volgende thema's komen aan de orde op de T-dag: verspanen, be- en verwerken van kunststoffen, oppervlaktebehandeling, verbindingstechnieken en materiaalkeuze. Deze thema's komen in een twintigtal workshops aan de orde, waarbij elke workshop een aantal specifieke onderwerpen binnen het thema behandelt

Het primaire doel van de T-dag is het uitwisselen van kennis tussen belanghebbenden ter bevordering van de samenwerkingverbanden. De aandacht zal worden toegespitst op de bedrijfsvoering, toepasbaarheid van de materiaalbewerkingen, kostenaspecten en rendement op investeringen komen aan de orde

Deelnemers aan de T-dag wordt een scala van workshops aangeboden waarmee zij een eigen programma kunnen samenstellen, afhankelijk van hun interesse. Elke workshop behandelt een apart onderwerp en biedt alle gelegenheid voor discussie en vragen. Tevens wordt een beurs georganiseerd, waar standhouders eigen ontwikkelingen weergeven middels posterpresentaties

De onderwerpen die op de T-dag aan de orde komen, worden gebracht door deskundigen uit het bedrijfsleven, onderzoeksorganisaties en overheid. De inleiders houden korte inleidingen die de problematiek op hun vakgebied kort schetst en gaan in op materiaal- en technologie-toepassingen die op korte termijn vruchten af kunnen werpen, daarbij verklaring gevend aan zaken als productontwerp, kostenaspecten en investeringen. Thema's, onderwerpen, en sprekers zijn daartoe zorgvuldig gekozen

De T-dag wordt mede ondersteund door TNO, de Bond voor Materialenkennis, de vereniging voor Produktietechniek - VVV, de NVFT vereniging voor Fijnmechanische Techniek, Philips' centrum voor Fabricage Technieken CFT, Polytechnisch Tijdschrift, Regionaal Economisch Overleg Regio Arnhem en de Nederlandse Middenstandsbank NV

Indien u meer wilt weten over de T-dag, kunt u terecht bij het secretariaat van de T-dag Adviesbureau Winkelaar & van Hessen BV, Bankplein 3, 2585 EV Den Haag, telefoon 070-507171

Kunststof, lijm, voorbehandeling

Toepassing bepalend voor keuze

Dr.ir. Richard Oosting, Dekalin BV, Bergeijk

Lijmen worden meer en meer toegepast om structurele dragende verbindingen mee samen te stellen. Dit heeft tot gevolg, dat zowel de complete stijfheid als de duurzaamheid afhangen van de lijmverbindingen en met name van het ontwerp van deze verbindingen. De gangbare lijmsystemen hebben allemaal hun eigen succesvolle toepassingen en hun eigen unieke eigenschappen.

Transport in breedste zin

Dit artikel richt zich op toepassingen in de transportsector in de breedste zin van het woord en zal verschillende typen lijmsystemen behandelen zoals:

- Elastische, flexibele lijmen (een- en tweecomponenten): PUR, MS en SPU
- Stijve, harde lijmen: acrylaat en PUR (2-componenten), epoxy (1- en 2-componenten)

De belangrijkste vragen die in dit artikel aan de orde komen zijn: waarom wordt een bepaald type lijm gekozen voor een bepaalde toepassing en hoe hangt de minimaal noodzakelijke voorbehandeling samen met deze lijm in relatie tot de toepassing?

Enkele bestaande toepassingen in onder andere de bus-, trailer- en auto-industrie worden behandeld.

De transportindustrie is een zich snel ontwikkelende sector, waarin de lijmtechnologie een steeds belangrijker plaats inneemt. De belangrijkste redenen voor deze industrie om over te stappen naar lijmverbindingen in plaats van lassen, klinken of bijvoorbeeld mechanische fixatie in combinatie met rubberprofielen zijn:

- Aërodynamica, verdeeld over argumenten zoals esthetiek, ontwerp en brandstofverbruik
- Het gebruik van nieuwe materialen, die niet of nauwelijks gelast of geklonken kunnen worden, bijvoorbeeld composietmaterialen
- Verlaging van het gewicht en het brandstofverbruik
- Het beperken van het risico van lekkage en corrosie

Er zijn verschillende bedrijven waar lijmen een ingeburgerde techniek is, maar er zijn nog veel meer bedrijven die de lijmtechnologie niet gebruiken. Reden: het wordt beschouwd als vreemd en onbekend, en onbekend maakt onbemand. Lijmtechnologie wordt nauwelijks gedoceerd als structureel deel van een opleiding zoals de opleiding tot ontwerper of werktuigbouwer. De bedrijven, die lijmen gebruiken om delen aan elkaar te verbinden, hebben allemaal hun problemen ervaren en de gevolgen gezien als de techniek niet juist wordt toegepast. Veel bedrijven prefereren het nog steeds om gaten te boren en er vervolgens een popnagel of bout in te zetten, in plaats van onbeschadigde platen aan elkaar te lijmen. Op deze manier wordt het risico van corrosie en van lekkage beperkt en de stijfheid van de verbinding wordt verhoogd door een homogenere spanningsverdeling. Een gewichtsreductie

kan worden behaald, als de toegenomen sterkte wordt gebruikt om de overlappende te reduceren of door dunne plaatmaterialen te gebruiken, mits mogelijk in verband met andere eisen zoals het voorkomen van knikken. Dit artikel is vooral gericht op het gebruik van lijmen in de transportsector, dat wil zeggen in producten die in beweging worden gebracht. Binnen deze definitie vallen alle bedrijven die autobussen, vrachtauto's, trailers, treinen, boten en mobiele huizen (campers, caravans) bouwen. Behalve deze bedrijven komen ook de leveranciers en producenten van producten, die voor voortbeweging worden gebruikt, ter sprake, zoals bijvoorbeeld een producent van daksystemen en afgeleide producten zoals schaatsen.

Lijmen voor structurele verbindingen

Dit artikel behandelt twee groepen lijmen (een indeling die natuurlijk voor discussie vatbaar is):

Stijve lijmen Dit zijn bijvoorbeeld epoxylijmen (1 en 2 component), polyurethaanlijmen (2 component) en acrylaatlijmen (2 component). Deze worden vaak toegepast in hun twee-componentenvarianten voor gebruik bij kamertemperatuur. De 1-componentensystemen (zoals de epoxy-familie, vloeibaar en film) moeten worden verwarmd om de uiteindelijke eigenschappen te verkrijgen. De enkelvoudige lapnaadsterkte (ASTM D 1002) is in het algemeen in de orde van 20-40 MPa.

Elastische lijmen Dit zijn bijvoorbeeld polyurethaan (PUR) en silyl-gemodificeerde polymeren (MS polymeer en SPUR). Zij worden veelal aangebracht als 1-component vochtuithardende producten op kamertemperatuur. De 2-componenten versies worden geleverd in een mengverhouding van 1:1 tot en met 1:50 (booster technologie). De enkelvoudige lapnaadsterkte (ASTM D 1002) ligt rond de 1-5 MPa.

De keuze van de structurele lijm wordt voornamelijk bepaald door hoe een voertuig wordt samengesteld. In dit artikel wordt het woord structurele lijm gekoppeld aan toepassingen waarin de lijm de belangrijkste schakel is om de afzonderlijke delen bij elkaar te houden. Als er al andere verbindingstechnieken worden gebruikt, dan zijn deze alleen noodzakelijk om de delen bij elkaar te houden gedurende het uitharden van de lijm. Binnen de verschillende lijmgroepen kan de open tijd worden beïnvloed door de formulering van het product. Een goed voorbeeld is de productie van sandwichplaten. Bedrijven eisen open tijden en perstijden die afhankelijk zijn van de grootte en de hoeveelheid panelen, die gemaakt moeten worden. Op basis van de 2-componenten PUR-technologie kunnen open tijden worden bereikt van enkele minuten tot 6 uur. Daarnaast kunnen er klemtijden worden gehaald in de orde van een minuut (speciaal klemgereedschap) tot 12 uur voor het uitharden in een vacuümpers.

De aanvangssterkte (na samenbrengen van de delen) en de snelheid van doorharden zijn belangrijke parameters, die invloed hebben op de minimaal noodzakelijke klemtijd in de productie en voor de veilige wegrijtijd in het geval van een ruitreparatie van een voertuig. Bij elastische lijmen kan dit bereikt worden door het zodanig formuleren van producten, dat de reologie wordt ingesteld op een lage viscositeit bij hoge afschuifsnelheden (verspuiten/aanbrengen van het product) en een hoge viscositeit bij zeer lage afschuifsnelheden (weerstand tegen zakken). Op deze manier wordt een hoge aanvangssterkte van de verbinding bereikt.

Voorbehandelingen

Wanneer, waarom en hoe uitgebreid moet de voorbehandeling zijn voor een bepaalde toepassing en hoe beïnvloedt de keus van de lijm deze noodzakelijke voorbehandeling?

Wanneer een voorbehandeling voor een bepaalde toepassing moet worden gekozen, dan is dit voor een groot deel afhankelijk van de lijmkeuze. Een goed voorbeeld is de keuze van epoxy-lijmfilm voor de luchtvaartindustrie. Deze lijmtypen kunnen gemakkelijk afschuifsterkten bereiken in de orde van 40 MPa. Dit betekent dat de substraten, de oxidelagen en primerlagen een sterkte moeten bezitten van minimaal 40 MPa om voor de totale verbinding deze sterkte te bereiken, om de lijm optimaal te kunnen gebruiken. Anodiseren van aluminium is zodoende noodzakelijk, niet alleen om corrosiebescherming te bieden, maar ook vanuit het oogpunt van sterkte van de verlijmd verbinding. In het geval dat een elastisch lijmsysteem als beste oplossing voor een bepaalde toepassing wordt gekozen, dan is de noodzakelijke sterkte van onder andere oxide- en primerlagen veel geringer. Dit zou de mogelijkheid kunnen geven om een veel goedkopere voorbehandeling toe te passen.

Schaatsen

Een echt Nederlands voorbeeld waarin de al eerder genoemde punten samenkomen in één toepassing, is de schaats. In het algemeen wordt het schaatsblad aan het frame gelast. Zo lang er maar relatief goedkope staaltypen worden gebruikt, kan lassen een optie zijn. Hierbij staat het risico dat het blad niet recht blijft; het kan kromtrekken door verschil in uitzetting. Het compleet vlak blijven van het blad is een absolute noodzaak om tot snelle tijden op het ijs te komen. Om kromtrekken te

In het algemeen wordt het schaatsblad aan het frame gelast. Bij lichtgewicht schaatsen is lijmen beter. Voorwaarde is voorbehandelen en lijmen zorgvuldig worden uitgevoerd.



voorkomen moet de fabrikant veel investeren in klemgereedschappen en speciale lasgereedschappen. Het uitvalpercentage kan groot zijn indien deze gereedschappen niet goed functioneren. Er ontstaat een probleem met de zoiest genoemde verbindingstechniek, indien schaatsen van lichtgewicht materialen worden gemaakt, die in het algemeen niet of zeer moeilijk lasbaar zijn. In de afgebeelde schaats is een combinatie gebruikt van een aluminium extrusie en een blad van een nieuw type staal: poederstaal dat onder extreem hoge druk is samengeperst. Behalve gewichtsverlaging was er ook het streven om de torsiestijfheid te verhogen. In principe geldt dat een hoge stijfheid leidt tot een betere afzet en tot snellere tijden. Het gebruik van lijm werd gezien als de enige mogelijkheid om deze bijzondere materialen met elkaar te verbinden en zowel contactcorrosie als kromtrekken van het blad te voorkomen. Het laatste punt leidde tot de keus voor een lijm die op kamertemperatuur kan uitharden. Als gevolg van de stijfheidseis werd gekozen voor een 2-componenten epoxylijm die bij kamertemperatuur uithardt. Het stalen blad wordt in het aluminiumprofiel gelijmd. Dit is niet de ideale lijmsituatie, omdat de lijm in het extrudaat wordt gedrukt en men dus niet kan zien of de verbinding geheel gevuld is met lijm (aan beide zijden van het blad). Indien dit niet geval is, kan er corrosie ontstaan. De laatste eis heeft vooral gevolg voor de te gebruiken viscositeit van de lijm. Als de viscositeit te laag is, loopt de lijm uit het aluminium profiel. Als de viscositeit te hoog is, kan het blad niet of moeizaam in aluminium profiel worden gedrukt.

In deze toepassing is een voorbehandeling voor beide materialen noodzakelijk. De voorbehandeling bepaalt de duurzaamheid van de verlijmd verbinding, zeker in het geval van de schaats, die voor, tijdens en na het gebruik blootstaat aan extreme omgevingscondities zoals water, ijs, lage en hoge temperatuurschokken. De eerste serie verlijmd schaatsen vertoonden hechtingsproblemen (onder andere als gevolg van corrosie) in de neus van de blad/profielverbinding, die hoge mechanische belastingen ondergaat. Dit probleem leidde tot een andere keus en procedure voor de voorbehandeling en voor de conservering. Het aluminium is eerst gereinigd in een alkalisch bad en vervolgens geëtd in een mengsel van chroom en zwavelzuur. Daarna is door spuiten een chromaathoudende primer (1 uur uitharding op 120°C) aangebracht, die goed functioneerde in combinatie met de gekozen lijm en met de poedercoating, die op de buitenkant van het aluminiumprofiel werd aangebracht. Het blad zelf was gepolijst voordat de samenbouw plaatsvond. Deze voorbehandeling is vervolgens gebruikt als eerste stap om de helft van het blad te voorzien van de primer (door dippen). Dit voorbehandelde deel wordt vervolgens in het profiel geplaatst.

Schuifdak

Deze toepassing betrof het verlijmen van glas op een KTL gelakt metalen frame. Aanvankelijk werd een zeer stijve en harde 2-componenten acrylaatlijm gebruikt. Dit leidde er echter toe dat het schuifdak niet voldeed aan de slagvastheidseisen van de afnemer. Het totale systeem was te stijf en dat leidde tijdens proeven tot vroegtijdige breuk. Vervolgens zijn verscheidene alternatieven geëvalueerd, zoals elastische lijmen op basis van 2-componenten MS Polymeer en op basis van 2-componenten PURlijm (elastische en stijve varianten). De randvoorwaarden voor het project waren onder andere:

- bestandheid tegen hoge temperaturen (120°C gedurende minimaal 2 uur) zonder delaminatie door spanning

gen in de verbindingen als gevolg van verschillen in thermische uitzetting;

- het lijmsysteem moet binnen 5 minuten tot een hanteerbaarheidsterkte leiden
- het lijmsysteem moet hechten op keramisch gecoat glas (zwarte print op de rand van het glaspaneel) en op KTL gelakt staal.



Bij dit schuifdak is het glas op het gelakt metalen frame gelijmd. De lijm moest bestand zijn tegen temperaturen tot 120°C.

Alle gekozen lijmsystemen voldeden aan de randvoorwaarden. De elastische lijmen voldeden zonder enig probleem aan de slagvastheidseisen, maar bij testen tijdens zeer hoge snelheden (tot 240 km per uur) vertoonde de verlijmdde verbinding teveel beweging. Dit leidde tot een aanzienlijke verhoging van het geluidsniveau in de auto. De stijve 2-componenten PUR-lijm voldeed tijdens rijproeven aan de eisen ten aanzien van het geluidsniveau. De slagvastheid was verbeterd ten opzichte van de 2-componenten acrylaatlijm, maar voldeed nog steeds niet aan de klantspecificaties. Op basis van deze resultaten zat er niets anders op dan het frame zelf aan te passen.

Trailer

In de trailerbouw komen veel lijmtoeepassingen voor, bijvoorbeeld bij het maken van sandwichpanelen. Deze platen moeten een goede isolatiewaarde hebben en vanwege het ontbreken van een frame zeer stijf zijn. Dit alles bij een zo laag mogelijk gewicht en zo dun mogelijke plaat. Voor het samenstellen van de sandwichpanelen worden meestal een 2-componenten PUR-lijm gebruikt om polyester, hout en schuim met elkaar te verbinden. In enkele gevallen wordt een 2-componenten epoxylijm gebruikt om de panelen te verlijmen. Voor de trailers zijn drie typen profiel gebruikt: GVK, aluminium en staal.



Met op MS polymeer gebaseerde lijm in elkaar gelijmdde trailer.

Deze profielen hebben uiteenlopende vormen. Bijna iedere carrosseriebouwer gebruikt zijn eigen speciaal voor hem gemaakte profielen.

Bij overschakeling op een nieuw profiel is het, in verband met de minimaal noodzakelijk laagdikte voor het lijmen, aan te raden om de afstandhouders in het profiel te integreren. In het verleden werd voornamelijk 2-component PUR-lijm gebruikt om L-profielen te verlijmen op de hoeken van de sandwichplaten. Hierbij ontstonden soms problemen, zoals het gedeeltelijk delamineren van de profielen. Na inspectie van een aantal schadegevallen bleek dat alleen bij bepaalde materiaalcombinaties af en toe

problemen optraden. De kritieke combinatie betrof het lijmen van aluminium hoekprofielen op polyester substraten (buitenzijde van de meest gebruikte sandwich platen), waarbij een 2-componenten PUR-lijm werd gebruikt. Het verschil in thermische uitzetting tussen het aluminium en het glasvezelversterkte polyester is aanzienlijk. Dit leidt tot grote inwendige spanningen, die toenemen naarmate de buitentemperatuur stijgt. De kleur van de trailer (bijvoorbeeld zwart) kan deze spanningen in de lijmverbinding nog verder laten toenemen. De relatief dunne lijm-laag in combinatie met de te verlijmen materialen was de hoofdoorzaak van de geconstateerde problemen. Sinds de 2-componenten PUR-lijm is vervangen door een op MS polymeer gebaseerde elastische lijm, zijn er geen problemen meer geconstateerd door het verschil in uitzetting tussen de te lijmen materialen, mits er aluminium hoekprofiel werd gebruikt. Bijkomend voordeel was, dat een 1-staps voorbehandeling voldoende was om een duurzame verbinding te bereiken.

Autobus

Ook autobusonderdelen worden aan elkaar gelijmd met elastische of juist stijve lijmen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de zijbeplating en het stalen frame. Materialen die hiervoor worden gebruikt zijn glasvezelversterkt polyester, onbehandeld staal, voorgelakt staal, roestvaststaal en aluminium. Om een bepaald type beplating te verlijmen kunnen zowel elastische als stijve lijmen worden gebruikt.



Voor het in elkaar lijmen van autobussen worden zowel elastische als stijve lijmen gebruikt.

Een stijve lijm is alleen bruikbaar wanneer de metalen plaat is voorgespannen door de uiteinden van de plaat voorgespannen te lassen of te nagelen, zodat de lijm tijd heeft om zijn sterkte op te bouwen. De voorspanning moet genoeg zijn om de spanningen door thermische uitzetting te compenseren. Hierdoor blijft de beplating ook bij hoge buitentemperaturen vlak. Als de plaat spanningsvrij wordt verlijmd, zal hij door de hoge sterkte van de lijm waarschijnlijk niet delamineren. Toch moet de uitzetting van het materiaal ergens blijven: bij verhoogde temperatuur trekt de plaat krom tussen het frame, daar de verbindingpunten weinig tot geen beweging toelaten. Het achterliggende frame zal zich duidelijk aftekenen in de buitenbeplating. Het gebruik van een elastische lijm kan dit probleem waarschijnlijk voorkomen, indien de verbinding de juiste geometrie en dus de juiste overlap en laagdikte heeft. Een dunne laag elastische lijm zal een relatief stijve verbinding tot gevolg hebben. Met andere woorden: er is een minimale laagdikte nodig die de verwachte bewegingen opvangt. In het geval van een glasvezelversterkte buitenplaat zijn alleen elastische lijmen bruikbaar.

Conclusies

De keuze van het te gebruiken lijmsysteem hangt grotendeels samen met de fabricage van het product en de uiteindelijke functie van de verbinding. Voor bijna elke verbinding in de transportindustrie is een geschikte lijm leverbaar. Essentieel is dat lijmproducenten en lijmleveranciers in een vroeg stadium betrokken raken bij nieuwe projecten en dat lijmen niet alleen als opvulmateriaal worden gezien.

Er zijn veel voorbeelden bekend van materialen die op basis van inkoopargumenten werden gewijzigd en vervolgens extra kosten met zich meebrachten omdat er eens geen hechting meer plaatsvond. Alleen het gebruik

Opleiding

Lijmen kan alleen een belangrijke verbindingstechniek zijn en blijven door serieuze behandeling en uitvoering. Dit houdt in dat de ontwerp-, de productie- en de kwaliteitsafdeling de noodzakelijke opleidingen en trainingen moeten volgen. In Nederland zijn er maar een paar organisaties die kennis op het gebied van lijmen overdragen:

- de Sectie Hechting van de Bond voor Materialen organiseert gemiddeld twee themadagen per jaar
- het Microcentrum in Eindhoven organiseert eenmaal per jaar een themadag en verzorgt daarnaast interne bedrijfs cursussen
- het Hechtingsinstituut van de TU Delft verzorgt cursussen en zet testprogramma's op om hechtingsproblemen te achterhalen en certificatieproeven te doen
- TNO voert (certificatie)testen uit

van dure primers kan dan nog de duurzaamheid van de verbinding garanderen. Het eindresultaat heeft veelal een hogere in plaats van lagere kostprijs van het product tot gevolg. Het in een vroeg stadium beschikbaar stellen van nieuwe materialen voor het doen van hechtingsproeven kan dit soort problemen veelal voorkomen.

Een laatste opmerking betreft de voorbehandeling. Het doel moet zijn om tot een minimaal aantal stappen te komen, omdat met elke stap extra ook het risico van fouten en problemen toeneemt. Feit is (voorlopig) dat er altijd minimaal één gecontroleerde stap moet worden uitgevoerd om een constante kwaliteit van de verbinding te garanderen. De verantwoordelijkheid kan bij een toeleverancier liggen, maar moet duidelijk vastliggen.

Referentie

1. Toward a new durable and environmentally compliant adhesive bonding process for aluminium alloys, R. Oosting, Structures and Materials Laboratory, Faculty of Aerospace Engineering, Delft University of Technology, 1995.

Dr.ir. Richard Oosting
Dekalin BV, Bergeijk
telefoon 0497 551 080
info@dekalin.de