

Constructie-lijmen

Citation for published version (APA):

Derksen, A. H. W. (1991). *Constructie-lijmen*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1070). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1991

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Technische Universiteit Eindhoven

Faculteit Werktuigbouwkunde

Vakgroep Productie-technologie en -automatisering

Sectie Bedrijfsmechanisatie.

CONSTRUCTIE-LIJMEN.

A.H.W. Derksen. WPA-1070.

Eindhoven, mei 1991.

Literatuuropdracht.

Hoogleraar: Prof. Ir. J.M. van Bragt.

Begeleider: Ing. J.J.M. Schrauwen.

SAMENVATTING.

Het doel van dit rapport is een indicatie te geven van de basis-eigenschappen van de meest voorkomende constructielijmsoorten.

Lijm is een niet-metaalstof die werkstukken, door hechting van vlakken en inwendige sterkte, verbinden kan. Lijmen is een fysische verbindingstechniek die gebruik maakt van lijm.

Voor elke constructietoepassing is er wel een lijm te vinden, vaak specifiek gemaakt voor een bepaalde toepassing. Zodoende is er een onvoorstelbaar groot aanbod aan lijmen. Welke lijm men moet kiezen voor een bepaalde constructie kan men het beste aan een expert overlaten. Om een idee te krijgen waarop deze keuze berust is in dit rapport globaal het produceren van een lijmverbinding beschreven.

Voor het maken van een lijmverbinding is de geometrie van de lijmwerkstukken belangrijk. Een lijmverbinding dient de belasting zoveel mogelijk als een afschuifspanning door te leiden. De keuze van de lijm is afhankelijk van de omgevingsinvloeden van de lijmconstructie. Een lijmverbinding staat of valt met de kwaliteit van de oppervlaktebehandeling van de lijmvlakken. Dit kan zijn een mechanische, een chemische of een fysische behandeling. Na deze oppervlaktebehandeling dient de lijm aangebracht te worden. Dit gebeurt met aan de fysische vorm van de lijm aangepaste hulpmiddelen. Na de assemblage dient de verbinding in de meeste gevallen uit te harden zodat een optimale hechting verkregen wordt. Meestal is dit bij een hogere temperatuur en druk. De controle van de sterkte van een lijmverbinding is zeer moeilijk en kan meestal alleen destructief gebeuren.

Tot slot zijn van de meest gebruikte constructielijmsoorten de basis-eigenschappen en toepassingen gegeven zodat men een indruk krijgt wat er mogelijk en onmogelijk is met lijm in het algemeen en een bepaalde lijmsoort in het bijzonder.

INHOUDSOPGAVE.

SAMENVATTING	2
Hoofdstuk 1: INLEIDING	5
1.1 Het doel	5
1.2 Projectstrategie	5
Hoofdstuk 2: ORIËNTATIE	6
2.1 Verbindingstechniek	6
2.2 Lijmen	6
2.3 Eigenschappen van de lijmverbinding	7
2.4 Bindingskrachten in een lijmverbinding	8
2.5 De componenten van een lijm	9
2.6 Het lijmproces	10
Hoofdstuk 3: HET ONTWERPEN VAN EEN LIJMCONSTRUCTIE	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Spanningen	11
3.3 De geometrie	12
3.4 Ontwerp-criteria voor een lijmverbinding	12
Hoofdstuk 4: DE KEUZE VAN DE LIJM	13
4.1 Inleiding	13
4.2 Keuzecriteria	13
Hoofdstuk 5: OPPERVLAKTEBEHANDELINGEN	14
Hoofdstuk 6: DE ASSEMBLAGE VAN DE LIJMCONSTRUCTIE	15
6.1 De opslag van de lijm	15
6.2 Voorbereiden van de lijm	15
6.3 Methode van aanbrengen	15
6.4 Montage	16
6.5 Hechtingsmethoden	16
6.6 Methoden van uitharden	18
6.7 Apparatuur voor het lijmproces	20
Hoofdstuk 7: HET TESTEN VAN DE LIJMCONSTRUCTIE	21
7.1 Inleiding	21
7.2 Destructieve testmethoden	21
7.3 Niet-destructieve cohesie-inspectie	22
Hoofdstuk 8: CONSTRUCTIELIJMSOORTEN	24
8.1 Inleiding	24
8.2 Beschrijving van de eigenschappen	24
8.3 Constructielijmsorten	25
LITERATUUR	52

BIJLAGEN

Bijlage 1: PROJECTSTRATEGIE	53
Bijlage 2: VOORBEELDEN VAN LIJMCONSTRUCTIES	55
Bijlage 3: LIJMWERKSTUK-MATERIALEN	60
Bijlage 4: BASIS-EIGENSCHAPPEN VAN LIJMSOORTEN	61

Hoofdstuk 1: **INLEIDING.**

1.1 Het doel.

Het doel van dit rapport is een indicatie te geven van de basis-eigenschappen van de meest voorkomende constructielijmsoorten. Het is onmogelijk om alle lijmsoorten te beschrijven omdat de hoeveelheid verkrijgbare lijmsoorten onvoorstelbaar groot is. Alleen de meest gebruikte constructielijmsoorten zullen beschreven worden. Lijmen die niet geschikt zijn voor constructie-toepassingen worden hier niet behandeld. Ook is het onmogelijk om alle eigenschappen van de lijmsoorten te beschrijven omdat voor elke specifieke toepassing wel een specifieke lijm te vinden is. De nadruk zal liggen op eigenschappen van werktuigbouwkundige aard.

Om de algemene toepassing van de beschreven lijmsoorten beter te begrijpen, is een beschrijving gegeven van het lijmproces en de daarbij optredende problemen.

1.2 Projectstrategie.

Een project bestaat uit een geheel van besluiten en activiteiten die ten doel hebben een van te voren globaal gedefinieerd resultaat op een van te voren vastgesteld tijdstip te verwezenlijken. Projectstrategie is een methode om een project systematisch te benaderen [zie Van Bragt 1987]. Zie bijlage 1. Deze literatuuropdracht is volgens de projectstrategie gemaakt.

Hoofdstuk 2: ORIËNTATIE.

2.1 Verbindingstechniek.

Verbindingen vervullen in de werktuigbouwkunde een essentiële taak en kunnen op een groot aantal verschillende manieren tot stand gebracht worden.

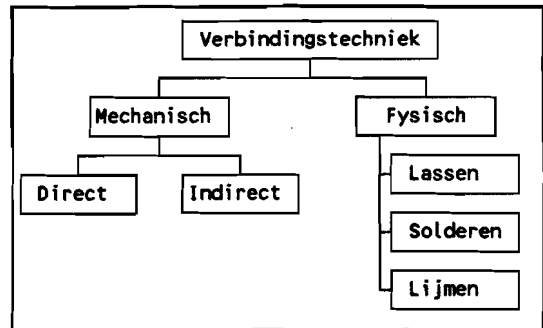
De productfunctie, met name het al dan niet overbrengen van (grote) krachten, heeft nauwe relatie met de keuze van de verbindingstechniek, maar ook met de geometrische vormen, afmetingen en het soort materiaal. Bovendien is de seriegrootte van groot belang; de opkomst van geautomatiseerde assemblage leidt tot nieuwe verbindingsmethoden.

Er zijn twee hoofdgroepen verbindingstechnieken; mechanische en fysische. Zie figuur 1. [zie DIN 8580 en DIN 8593].

Bij **mechanische bevestigingen** blijft de verbinding in stand door krachten die de delen op elkaar uitoefenen, eventueel alleen onder belasting. Sommige zijn gemakkelijk, andere niet losneembaar.

Fysische verbindingen brengen een binding tot stand door atomaire attractie-krachten. Ze zijn bijna

altijd indirect. Fysische verbindingen zijn op enkele uitzonderingen na niet of zeer moeilijk te lossen. Lasverbindingen zijn in deze categorie van overheersend belang. Solderen is als verbindingsmethode ook buiten de elektrotechniek voor de industriële voortbrenging onmisbaar. Lijmen is een relatief jonge techniek maar bezit specifieke voordelen. Bekend zijn de toepassingen in de vliegtuigbouw. Ook in de werktuig- en apparatenbouw zullen de gelijmde constructies aan belang winnen.



figuur 1: De indeling van de verbindingstechniek.

2.2 lijmen.

De functie van een lijm is het bij elkaar houden van materialen door hechting van de vlakken.

Lijmverbindingen worden gekenmerkt door de vorming van een tussenlaag, die zich hecht aan de contact-oppervlakken van de te verbinden delen en voldoende sterkte-eigenschappen heeft om uitwendige belasting van het ene op het andere deel over te brengen.

Karakteristieke eigenschappen van een lijmverbinding:

- Een lijmverbinding is continu.
- Een lijmverbinding komt tot stand zonder wezenlijke beïnvloeding van vorm- en materiaal-eigenschappen van de te verbinden delen.

Definities.

Lijm: [Zie DIN 16920] Een niet-metaal stof die werkstukken, door hechting van vlakken en inwendige sterkte (adhesie en cohesie), verbinden kan.

Lijmen: Verbinden met gebruik van lijm.

Lijmverbinding: Verbinding van werkstukken gemaakt door een lijm.

Lijmvlak: Het te lijmen vlak van een werkstuk.

Lijmlaag: Tussenruimte tussen twee lijmvlakken die door een lijm wordt gevuld.

Lijmwerkstuk: Lichaam dat aan een ander lichaam gelijmd moet worden of gelijmd is.

2.3 Eigenschappen van de lijmverbinding.

Voordelen:

- Mogelijkheid tot het lijmen van een verscheidenheid aan materialen, welke verschillend kunnen zijn met andere moduli of dikte.
- Verbindingsmogelijkheid voor dunne-plaat materialen.
- Produceren van complexe vormen.
- Visueel aantrekkelijker eindproduct doordat er geen gaten, groeven, lasnaden, bouten, etcetera voorkomen.
- Door de grote verscheidenheid aan bestaande lijmen en lijm-methoden is er een toepassing bij veel productieprocessen.
- Goedkope en snelle assemblage mogelijk; het vervangen van meerdere mechanische verbindingen door één enkele lijmverbinding.
- De sterkte is voor een lijmverbinding vaak groter en de kosten zijn vaak lager dan voor een andere verbindingmethode.
- Uniforme verdeling van de spanning over het gehele lijmvlak; de spanningsconcentratie wordt geminimaliseerd en de vermoeiingsweerstand tegen dynamische belasting is groter.
- Gewichtsbesparing door gebruik van een lijmverbinding in plaats van een mechanische verbinding. Er kunnen ook lichtere constructie-materialen toegepast worden met een betere uniforme spanningsverdeling.
- De lijmlaag kan rekken; Spanningen worden geabsorbeerd, gedistribueerd of verplaatst. Goede dempingseigenschappen.
- Geen of geringe invloed van warmte. Materialen die door warmte beschadigd worden kunnen niet gelast of gesoldeerd worden maar kunnen wel gelijmd worden.
- Geen of zeer weinig thermische invloed op de verbinding; geen vervorming van het werkstuk.
- Preventie of vermindering van galvanische corrosie tussen verschillende gelijmde materialen.
- Goede afdichtingseigenschappen tegen bijvoorbeeld vocht of chemicaliën.
- Goede elektrische isolatie.

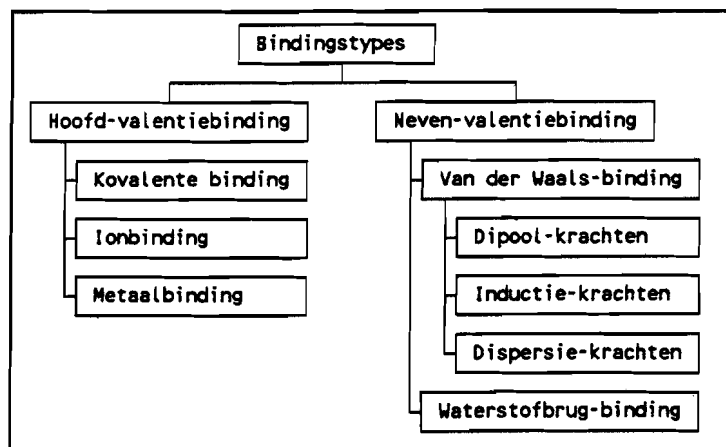
Nadelen:

- Het lijmproces kan bemoeilijkt worden door lijmvlak-behandeling, preparatie en aanbrengen van de lijm, proces-temperaturen en -drukken of de luchtvochtigheid.
- Optimale hechting wordt niet direct bereikt; de lijm moet uitharden.
- Controle van de lijmverbinding is zeer moeilijk.

- Zorgvuldig ontwerp van de verbinding is noodzakelijk om een juiste spanningsverdeling te bewerkstelligen en om voldoende sterkte te behalen.
- Temperatuuriमित beperkt de toepassing bij hogere omgevingstemperaturen. Keramische lijmsoorten zijn niet schokbestendig.
- Procesparameters dienen zorgvuldig gekozen te worden; vooral tijd en temperatuur.
- Slechte elektrische geleiding. Dit kan verbeterd worden door een toevoeging in het lijm materiaal.
- Mogelijke afbraak van het lijm materiaal door warmte, kou, biologische invloeden, straling. De levensduur is moeilijk te voorspellen.
- Reparatie van een lijmverbinding is beperkt mogelijk.
- Veel lijmen zijn brandbaar en giftig; gevaar voor de mens bij het assembleren.
- Kruip bij een constant hoge belasting.
- Vaak is het conventioneel hechten van materialen goedkoper, vooral als de nodige apparatuur al aanwezig is.
- De lijm kan gaan krimpen bij uitharden. Dit kan tot krimpspanningen leiden wat weer vervorming tot gevolg kan hebben.

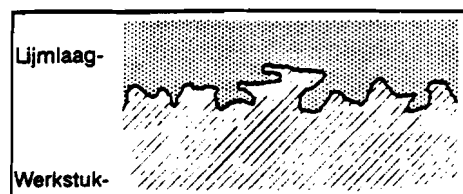
2.4 Bindingskrachten in een lijmverbinding.

Over de wetmatigheden van het hechten van een lijm zijn in de literatuur verschillende theorieën en experimenten beschreven. De meeste van deze literaire werken gaan uit van de adhesie als bindingsmechanisme. Er is geen universeel aanwendbare adhesietheorie en door de complexiteit zal deze er waarschijnlijk ook niet komen. Men onderscheid nu drie adhesietypen:



figuur 2: Bindingstypes in lijmverbindingen.

- Specifieke adhesie; hieronder worden de op chemische en fysische hoofd- en neven-valentiebindingskrachten berustende adhesieverschijnselen verstaan. Zie figuur 2.
- Mechanische adhesie; hierbij handelt het zich hoofdzakelijk om mechanische verankering van de lijm lagen van oorspronkelijk vloeibare lijmsoorten in poriën en capillairen van de lijmvlakken. Zie figuur 3.
- Autohesie; dit treedt alleen op bij gelijke rubberelastische polymeerlagen. Er wordt uitgegaan van een grote beweeglijkheid van de macro-moleculen, die onder druk diffunderen en vervolgens in elkaar verstrengelen.



figuur 3: Mechanische adhesie.

De lijmverbinding berust op de eerste twee types.

Cohesie

Cohesie is interne adhesie; de krachten die de massadeeltjes in een materiaal bij elkaar houden. Als oorzaak van cohesie geldt:

- Verstrengeling van de moleculen.
- Aantrekking door tussen-moleculaire krachten.
- Chemische binding in de moleculen.

Een lijmverbinding wordt gevormd door een lijm laag die zich aan de contact-vlakken van twee constructie-delen hecht. Hieruit volgt dat de sterkte van de lijmverbinding afhangt van;

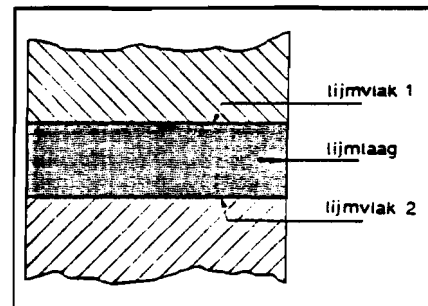
- de sterkte van de beide werkstukken,
- de sterkte van de lijm laag; cohesiesterkte,
- de sterkte van de hechting van de lijm laag aan de lijmvlakken; adhesiesterkte.

Zie figuur 4.

De lijmverbinding kan dus beschouwd worden als een ketting met drie schakels.

- Adhesie tussen lijm laag en lijmvlak 1
- Cohesie van de lijm laag
- Adhesie tussen lijm laag en lijmvlak 2.

De totale sterkte van de lijmverbinding is niet groter dan die van de zwakste schakel.



figuur 4: De opbouw van de lijm laag.

2.5 De componenten van een lijm.

De meeste lijmen zijn samengesteld uit mengingen van verschillende complexe materialen. De componenten van een lijm zijn bedoeld om bepaalde eigenschappen te creëren voor het verwerken van de lijm of voor de lijmverbinding. De basiscomponent is de bindende substantie die de lijmverbinding zijn adhesie- en cohesie-sterkte geeft. Andere componenten hebben andere functies:

- Oplosmiddel; de vloeistofcomponent van een lijm welke de viscositeit verlaagt en zo de bevochtiging van het lijmvlak bevordert.
- Dispersiemiddel; oplosmiddel voor andere componenten in de lijm en zorgt ook voor de juiste viscositeit van de lijm zodat deze de lijmvlakken goed kan bevochtigen.
- Katalysatoren; nemen zelf niet deel aan de lijmverbinding; zorgen voor een kortere uithardingstijd en bevorderen de chemische reacties bij het uitharden van synthetische polymeren.
- Harders hebben invloed op het uitharden door te binden met het bindmiddel van de lijm.
- Versnellers, vertragers en stabilisatoren; beïnvloeden de snelheid van het uitharden (bijvoorbeeld om de lijm langer houdbaar te maken of om de bevochtigde lijmvlakken op te kunnen slaan).
- Vulmiddelen; kunnen vele functies vervullen zoals het elektrisch geleidend maken van de lijm laag,

temperatuur-toepassingsgebied vergroten, voorkomen van krimp, versterken van de lijmlaag, etcetera.

2.6 Het lijmproces.

Indien er besloten is een verbinding te lijmen kan alleen een optimaal resultaat behaald worden indien er aan elke fase optimaal aandacht wordt besteed.

Het lijmproces bestaat uit de volgende fasen:

- Het ontwerpen van de verbinding speciaal voor het lijmen. Het ontwerp dient geschikt te zijn voor de gekozen lijm en de lijm dient geschikt te zijn voor het ontwerp. De belasting dient op een zo efficiënt mogelijke wijze doorgeleid te worden.
- Keuze van de lijmsort. Op grond van de eisen en wensen die de gebruiksomgeving stelt aan de lijmverbinding dient er een lijmsort gekozen worden.
- De oppervlaktebehandeling. Afhankelijk van het lijmtypen en de te lijmen werkstukken dient een voorbehandeling plaats te vinden. Het is essentieel dat de lijm het lijmvlak goed bevochtigd.
- Het assembleren van de verbinding. De lijm dient aangebracht te worden. De verbinding dient uit te harden onder gecontroleerde condities.
- Controle. Het proces dient gecontroleerd te worden evenals het eindresultaat om de betrouwbaarheid van de verbinding te kunnen garanderen.

Hoofdstuk 3: HET ONTWERPEN VAN EEN LIJMCONSTRUCTIE.

3.1 Inleiding.

Werkstukken die gelijmd moeten worden dienen een speciale geometrie te bezitten. Men kan niet volstaan met het enkel aan elkaar lijmen van de lijmvlakken. De constructie zal eerst geanalyseerd dienen te worden op belasting en spanning. Het ontwerp van een lijmverbinding is afhankelijk van twee factoren:

- De richting en grootte van alle belastingen en krachten die op de lijmverbinding aangrijpen.
- Het gemak waarmee een lijmverbinding kan worden gemaakt; de manier waarop de werkstukken gemaakt worden en het materiaal waarvan deze gemaakt zijn.

3.2 Spanningen.

Er zijn vier typen spanningen die belangrijk zijn bij een lijmverbinding. Zie figuur 5.

Afschuiving.(A).

Een belasting die een afschuifspanning tot gevolg heeft leidt tot een gelijkmatige verdeling van de spanning over het gehele lijmvlak. Dit is de beste manier om de kracht door te leiden en geeft de goedkoopste oplossing met de geringste faalkans. Indien mogelijk dient het lijmvlak zo gevormd te worden zodat de belasting in de vorm van een schuifspanning doorgeleid wordt.

Trek.(B).

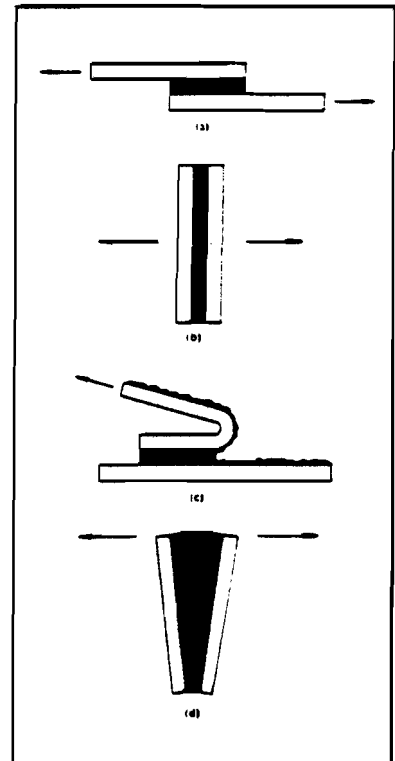
De sterkte van de hechting is vergelijkbaar met die bij afschuiving. De spanning wordt gelijkmatig verdeeld over het lijmoppervlak, maar het is niet altijd mogelijk om zeker te zijn dat alleen deze spanning aanwezig is. Dit kan tot falen van de lijmverbinding leiden. Het is ook belangrijk dat de componenten stijf genoeg zijn (voldoende dik), zodat ze niet gaan doorbuigen, wat leidt tot een niet-uniforme spanningsverdeling.

Splijten.(C).

Deze belasting is meestal het gevolg van een ongelijkmatige belastingsverdeling of een moment. De spanning wordt niet uniform verdeeld over het lijmoppervlak maar geconcentreerd aan een kant van de verbinding. Het lijmvlak zal voldoende groot moeten zijn om de spanning te verlagen, wat leidt tot een minder economische oplossing van de verbinding.

Afpellen.(D).

Indien een of beide componenten flexibel zijn kan dit spanningstype voorkomen. Het effect van



figuur 5: Spanningstypes.

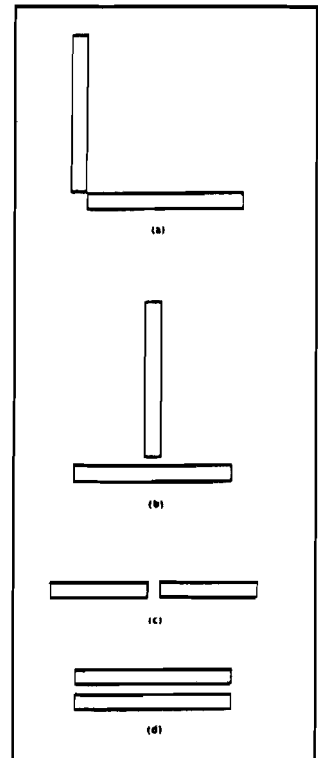
afpellen leidt tot een zeer hoge spanning op de grenslijn van de verbinding. Allen bij een grote verbinding lengte of een kleine belasting zal de verbinding niet bezwijken. Dit spanningstype moet voorkomen worden.

3.3 De geometrie.

Alle lijmverbindingen hoe complex dan ook kunnen ingedeeld worden in vier geometrie-types. Zie figuur 5. Om de spanningen in de lijmverbinding zo klein mogelijk te houden dienen er constructieve aanpassingen aan de lijmverbinding gedaan te worden. Voor oplossingen zie bijlage 2. Voor sommige belastingsituaties kunnen meerdere oplossingen gevonden worden. Er wordt dan gekozen voor de goedkoopste en gemakkelijkst te vervaardigen verbinding rekening houdend met de lijmwerkstukgeometrie.

3.4 Ontwerp-criteria voor een lijmverbinding.

Indien de lijmverbinding niet zwaar belast wordt is het onnodig veel aandacht te besteden aan de verbinding geometrie. De verbinding dient goedkoop te zijn en gemakkelijk te produceren (werkstukbewerkingen en lijmproces). Als de lijmverbinding wel zwaar belast wordt dient er rekening gehouden te worden met alle mogelijk optredende krachten en belastingen. De lijmverbinding dient voldoende sterk te zijn om deze belastingen te weerstaan.



figuur 6: De basis-types lijmverbindingen.

Ontwerp op afschuiven. Probeer een lijmverbinding zo te construeren

zodat de verbinding alleen op afschuiven belast wordt. Indien dit niet mogelijk is moet geprobeerd worden de belasting zoveel mogelijk als afschuifspanning door te leiden of desnoods als trekspanning. Beide typen spanningen geven een uniforme spanningsverdeling in de lijmverbinding.

Beperk de spanningen indien splejten of afpellen voorkomen. Men kan het verbindingsooppervlak vergroten of men kan een extra versteviging aanbrengen (Stijver maken van het materiaal, bouten of klinken).

Vermijdt delaminatie van anisotrope materialen. Door te grote lokale trekspanningen kunnen gelamineerde lijmwerkstukken gemaakt van bijvoorbeeld hout (multiplex) of gelamineerd plastic, uiteen getrokken worden.

Het berekenen van spanningen in een lijmverbinding is geen betrouwbare methode om de exacte afmetingen en geometrie te bepalen. De spanningssituatie is moeilijk of niet te voorspellen omdat er meerdere spanningen voor zullen komen. Daarbij is de bindingssterkte sterk afhankelijk van de omgevingscondities.

Hoofdstuk 4: DE KEUZE VAN DE LIJM.

4.1 Inleiding.

De keuze van een specifieke lijm voor een specifieke toepassing kan vergeleken worden met de keuze van een trouw-partner. Een goede oriëntatie van wat men moet lijmen en waarmee men kan lijmen (lijmsoorten) leidt tot een goede lijmverbinding. Onvoorziene omstandigheden kunnen dan alsnog falen van de verbinding tot gevolg hebben (spanningen, omgevingsinvloeden).

Een groot probleem bij het kiezen is wel de enorme hoeveelheid lijmen die op de markt aangeboden worden. Er is zulk een verscheidenheid aan lijmen te koop dat er voor elk specifiek probleem wel een specifieke lijm te vinden is. Elke lijm heeft zijn sterke punten maar zeker ook zijn zwakke. Er zijn verschillende lijmsoorten die elk een bepaald toepassingsgebied hebben. Binnen een lijmsoort bestaan weer vele varianten. Afhankelijk van de toepassing kan men dan kiezen voor een bepaalde lijm. Het maken van een keuze voor een bepaalde lijm kan men het best overlaten aan een expert. Men dient deze expert zeer goed duidelijk te kunnen maken waar de lijm toegepast wordt. Daarom dient men zich van te voren te oriënteren naar de mogelijkheden en onmogelijkheden van lijmen in het algemeen en lijmsoorten in het bijzonder. De lijm-leverancier treedt meestal als expert op. Op grond waarvan men een keuze kan maken wordt hierna kort aangegeven.

4.2 Keuzecriteria.

- Het gewenste gedrag van de lijm.
- Het eindprodukt en de functionele eisen.
- Het ontwerp van de lijmverbinding. Let op! De keuze van een lijm is afhankelijk van het ontwerp van de verbinding, maar het ontwerp is ook afhankelijk van de lijmkeuze.
- Benodigde sterkte. (niet gewenste sterkte; alles meer dan benodigd kost geld).
- Omgevingsinvloeden. (weer, chemicaliën, temperatuur, vochtigheid, (uv)straling).
- Gebruikscondities; manier van belasten (constant, stoot, intermitterend), elektrische geleiding, afdichtingseigenschappen, doorzichtigheid.
- Betrouwbaarheid. (Hoe vaak belasten? Is falen catastrofaal?)
- De te verbinden materialen.
- Beperkingen door het proces; sommige lijmsoorten vragen een uitgebreide handelingen bij gebruik. (veel duur apparatuur nodig).
- Kosten; direct en indirect.
- Productie-invloeden; snelheid van hechten, houdbaarheid van de lijm, maattoleranties.

Hoofdstuk 5: OPPERVLAKTEBEHANDELINGEN.

De sterkte van de lijmverbinding hangt af van de cohesiesterkte van de lijm en van de mate van adhesie met de lijmvlakken. Adhesie speelt zich af op moleculaire schaal. Zelfs de kleinste vervuiling van het lijmoppervlak kan de sterkte tot nul reduceren. De lijm dient het lijmvlak goed te kunnen bevochtigen. Voor een optimale adhesie moeten de lijmvlakken schoongemaakt worden of in een passende conditie gebracht worden; dit is het hoofdoel van alle oppervlaktebehandelingen. De keuze van oppervlaktebehandeling hangt af van factoren zoals werkstukmateriaal (metaal, plastic, hout, anorganisch) en zijn conditie (oxidelaag, verflaag), gekozen lijmsort, belasting op de verbinding, omgevingsinvloeden, kosten en beschikbare hulpmiddelen. De mate van oppervlaktebehandeling kan afhangen van voorgaande opslag en bewerkingen of eerdere reparatie aan een lijmverbinding.

De oppervlaktebehandeling houdt in:

- Verwijderen van ongewenste lagen; het schoonmaken.
- Het aan brengen van nieuwe actieve lagen die de adhesie versterken.

De simpelste behandelingen zijn het schoonmaken met behulp van een oplosmiddel of een abrassief middel zodat vuildeeltjes die de bevochtiging van het lijmoppervlak kunnen hinderen worden verwijderd. Andere oppervlaktebehandelingen zijn meer ingrijpend. Het oppervlak wordt zo behandeld, afhankelijk van het adhesietype, zodat een betere adhesie verkregen wordt.

Waar grote hechtingssterktes gewenst zijn moet de oppervlaktebehandeling zeer grondig zijn. De verbinding staat of valt met de oppervlaktebehandeling.

Indien men slechts een klein aantal lijmverbindingen moet maken en ook als een chemische behandeling niet mogelijk is, wordt meestal een mechanische oppervlaktebehandeling toegepast, bijvoorbeeld zandstralen, schuren met schuurpapier of staalwol. Bij grotere aantallen lijmprodukten kan men chemische oppervlaktebehandeling toepassen.

Als voorbeeld wordt de oppervlaktebehandeling van metalen beschreven. Als eerste wordt het metaal oppervlak grof schoongemaakt (schuren, zandstralen), waarna het metaal ontvet wordt (met trichloorethyleen). Dit dient zeer grondig te gebeuren zodat men het vuil niet alleen verplaatst maar echt verwijderd. Daarna worden de lijmwerkstukken langs chemische weg ontdaan van oxyden door dompeling in geschikte zuurbaden (etsen, beitsen). Spoeling volgt om geen zuurrestanten mee te nemen. Als laatste volgt een corrosie-werende bewerking (fosfateren, anodiseren). Om de lijmvlakken geheel en al te beschermen tegen verontreinigingen en beschadigingen wordt met sterk verdunde lijm voorgelijmd. Dit gebeurt onmiddellijk na de schoonmaakbehandeling. Bij het schoonmaken van kunststoffen kan ook een fysische behandeling worden toegepast, bijvoorbeeld een ion-bombardement in vacuüm, elektrische ontlading of een vlambehandeling.

Hoofdstuk 6: DE ASSEMBLAGE VAN DE LIJMCONSTRUCTIE.

6.1 De opslag van de lijm.

Vele lijmen moeten donker bewaard worden of in een ondoorzichtige bus, terwijl andere gekoeld bewaard dienen te worden (5°C) voor een langere houdbaarheid. In geval van een meer-componentenlijm dienen de basis-hars en de harder apart opgeslagen te worden zodat bij een per ongeluk beschadigde pot niet de hele voorraad lijm onbruikbaar wordt. Lijmen met een oplosmiddel moeten direct na gebruik weer afgesloten worden opgeslagen om verlies van oplosmiddel zo veel mogelijk te voorkomen (deze kunnen ook giftig of brandbaar zijn). De manier van opslaan staat vermeld op de verpakking. Volg deze instructies nauwkeurig op.

6.2 Voorbereiden van de lijm.

De lijm dient op de juiste temperatuur gebracht te worden. Meestal is dit kamertemperatuur, maar in sommige gevallen is de gebruikstemperatuur veel hoger (Hot-melt lijmen).

In geval van een meer-componentenlijm dienen de hoeveelheden bepaald te worden waarna de componenten gemixed worden. De nauwkeurigheid van het mixen hangt af van de lijmsoort. Bij het gebruik van een katalysator komt de hoeveelheid zeer nauw, terwijl bij het gebruik van epoxy-polyamiden de hoeveelheden minder nauw komen.

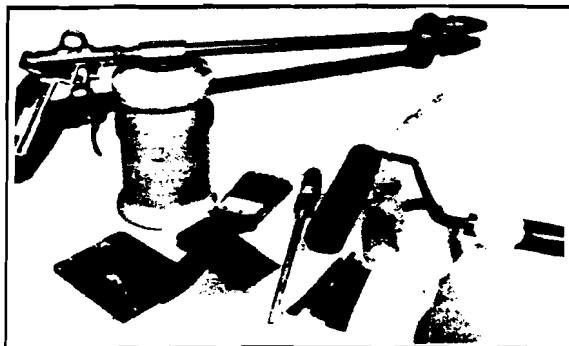
6.3 Methode van aanbrengen.

De lijm dient uniform met de juiste filmdikte verdeeld te worden over het lijmvlak. De methode van aanbrengen is afhankelijk van de fysische vorm van de lijm (poeder, tape, vast of vloeibaar), de vorm en afmetingen van het lijmvlak en de beschikbare hulpmiddelen.

In geval van een film (tape) of lijmcapsules is de methode van aanbrengen beperkt tot het plaatsen van de lijm tussen de lijmvlakken. Vele vast lijmen zijn hot-meltlijmen; deze dienen gesmolten te worden voor of tijdens het aanbrengen. In geval van een vloeibare lijm kan men verschillende aanbrengmethoden onderscheiden (zie figuur 7):

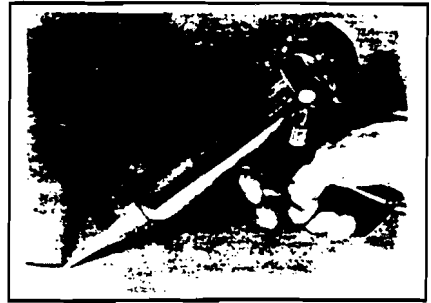
- Aanbrengen met een (harde) borstel. Deze methode wordt gebruikt indien de lijm slechts op enige punten aangebracht dient te worden of bij gecompliceerde lijmvlakvormen. De controle op de lijmfilmdikte is beperkt, wat leidt tot ongelijke filmdiktes.
- Vloeien. Deze methode wordt toegepast bij vlakke lijmvlakken. De lijm wordt meestal met behulp van een drukpistool aangebracht, die de lijm goed doseerbaar door een spuitmond perst zodat de lijmlaag uniform en van een juist dikte wordt.

Deze techniek leent zich voor snel assemblagewerk. Zie figuur 8.



figuur 7: Aanbreng gereedschappen.

- Sproeien. Hierbij wordt dezelfde apparatuur gebruikt als bij het verfspuiten. Deze methode leent zich vooral voor het aanbrengen van lijm op grote oneven oppervlakken. De lijmlaag dikte-uniformiteit is groot. Men dient wel rekening te houden met het kunnen voorkomen van giftige dampen. Hiervoor dienen beschermende maatregelen genomen te worden.
- Aanbrengen met een roller. Voor dunne vlakke plaat en voor grote oppervlakken is dit de snelste manier om de lijm aan te brengen. Daarbij levert deze methode het beste resultaat.
- Aanbrengen met een mes. Men maakt hier gebruik van een buigbaar mes om de lijmlaagdikte te kunnen regelen bij het aanbrengen.
- Aanbrengen met behulp van een masker kan indien slechts bepaalde gedeelten van het lijmvlak met lijm bevochtigd dienen te worden. Men kan de lijm zo in bepaalde patronen aanbrengen.
- Smelten. Dit geldt voor het hot-melt lijmtypen. De lijm wordt verwarmd, smelt en kan dan aangebracht worden op het lijmvlak.



figuur 8: De pneumatische spuitrevolver.

6.4 Montage.

Montage dient direct in de juiste positie plaats te vinden. Deze opmerking schijnt triviaal, men bedenke echter dat verschuiven of losnemen van foutief geplaatste lijm-werkstukken meestal niet meer mogelijk is.

6.5 Hechtingsmethoden.

Er zijn verschillende methoden van hechting van de lijm. Deze hechtingstechniek moet aan verschillende eisen voldoen die essentieel zijn voor een goede lijmverbinding:

- Vloeibaar maken van de lijm zodat het lijmvlak goed bevochtigd wordt.
- Verwijderen van ongewenste componenten (oplosmiddel, katalysator, waterresten) van de lijm uit de verbinding om fouten in de hechting te voorkomen.
- Aanbrengen van druk op de verbinding tijdens het uithardingsproces van de lijm zonder dat de werkstukken verschuiven.

De volgende hechtingsmethoden worden veel toegepast:

Natte hechting.

De lijm wordt op één lijmvlak aangebracht waarna het andere lijmvlak (waarop ook lijm aangebracht kan worden) wordt aangebracht op de natte lijmlaag. Bij niet-poreuze lijmvlakken kan deze methode alleen worden toegepast indien er geen oplosmiddel in de lijm zit. De lijmverbinding dient aangedrukt te worden totdat hij plakt (tack). Daarna moet de verbinding uitharden.

Reactieve hechting.

Deze methode gaat uit van het reacteren van de lijmlaag die al is aangebracht op een non-poreus

lijmvlak. Er zijn twee reactiverings-technieken:

- Oplos reactivering; door het bevochtigen van de reeds opgedroogde lijmlaag met een snel drogend oplosmiddel wordt de lijmlaag gereactiveerd. Dit wordt gebruikt voor lijmwerkstukken die met geheel opgedroogde lijmlagen voor enige tijd stofvrij opgeslagen zijn geweest. De lijm dient hier wel geschikt voor te zijn.
- Warmte reactivering; dit kan toegepast worden bij hitte-bestendige lijmsorten en werkstukmaterialen. Nadat de lijmlaag is aangebracht en gedroogd wordt de verbinding geassembleerd. Vervolgens wordt de verbinding verwarmd en aangedrukt. De lijm gaat hechten als de temperatuur daalt.

Drukgevoelige hechting.

Deze methode is beperkt tot lijmsorten die hun tack behouden nadat ze volledig gedroogd zijn. De verbinding wordt gemaakt door de lijmvlakken (waarvan er één van lijm is voorzien) tegen elkaar te drukken. Indien op beide lijmvlakken lijm is aangebracht spreekt men van contactlijmen.

Uitharden.

Bepaalde lijmsorten verkrijgen enkel door uitharden de gewenste sterkte. Deze lijmsorten komen in twee vormen voor; film en vloeibaar. Bij de vloeibare vorm berust de uitharding vaak op een katalytische reactie. Het aanbrengen van de lijm moet gebeuren voordat de lijm gaat uitharden. Voor dit uitharden moet voldoende tijd gereserveerd worden (zie de gebruiksaanwijzing). Uitharden bij kamertemperatuur kan vaak enige uren duren. Lijmen die uitharden bij verwarming hechten al na enige minuten. Deze lijmen kunnen allen bij hitte bestendige werkstukmaterialen toegepast worden.

Andere hechtingsmethoden gaan uit van combinaties van de hierboven genoemde methoden.

Onvolledig hechting.

Het slecht uitvoeren van de lijmtechniek kan tot onvoldoende hechting leiden. Dit heeft de volgende oorzaken:

- Onvoldoende lijm aangebracht op de te verbinden delen.
- De lijm was te ver opgedroogd voor het assembleren.
- Het oplosmiddel is niet geheel uit de lijm verwijderd of de lijm is niet geheel uitgehard.
- Onvoldoende fixatie van de werkstukken tijdens het uitharden.
- Onvoldoende oppervlakte behandeling, leidend tot slechte bevochtiging van het lijmvlak.
- Slechte procescondities; onvoldoende warmte toevoer, te lage aandruk-kracht, te korte procestijd.
- Lijmafbraak; migratie van de plastificeerders uit een kunststof in de lijmlaag.
- Holten in de lijmlaag; onvolledige verwijdering van het oplosmiddel, verkeerde mengverhouding van de componenten, luchtinluitsels door verkeerde assemblage.
- Niet-uniforme verdeling van de lijm; variatie in de lijmlaagdikte.

6.6 Methoden van uitharden.

Uitharden is het veranderen van de fysische eigenschappen van een lijm door middel van een chemische reactie (vulcaniseren, polymeriseren) die plaats vindt door bijvoorbeeld verwarming, het aanbrengen van druk of het toevoegen van een katalysator. De functie van het uitharden is de hechting van permanente aard maken met voldoende sterkte. De meeste lijmsoorten moeten uitharden om de volledige sterkte te verkrijgen. De uithardingscondities worden bepaald door de aard van de lijmsoort en de aard van het werkstukmateriaal. De condities hebben betrekking op de temperatuur, de druk en de tijd. Sommige lijmsoorten harden reeds bij kamertemperatuur uit, andere harden uit bij hogere temperaturen eventueel onder druk. De druk varieert tussen de 7 en 1100 kPa en de uithardingstemperatuur tussen 20 en 350°C . Bij lijmen op keramische basis kunnen de procestemperaturen oplopen tot 1800°C . Uitharden bij hogere temperaturen leidt in het algemeen tot kortere produktietijden.

Er zijn verschillende methoden om warmte en druk tegelijk of apart aan het proces toe te voeren.

Directe warmte toevoer.

Men dient te controleren dat de lijm een voldoende hoge temperatuur krijgt, omdat de omgeving sneller verwarmd dan het lijmwerkstuk. De warmte kan op de volgende manieren worden toegevoerd:

- Oven. De temperatuur-controle is vaak slecht, uitzondering zijn ovens met geforceerde luchtstroom.
- Vloeistof bad. Verschillende vloeistoffen worden gebruikt voor een snelle warmte-overdracht. Water is het meest gebruikt, maar voor hogere temperaturen wordt minerale of silicone olie gebruikt. Rechtstreeks contact van de vloeistof met de lijm moet vermeden worden.
- Hete pers. De pers wordt elektrisch of met stoom verwarmd. De warmte wordt door de persplaten doorgeleid aan het lijmwerkstuk. Met stoomverwarming kan men kortere procestijden halen met als voordeel het ook snel kunnen afkoelen van het werkstuk na het uitharden en het tegelijk aandrukken van de lijmverbinding.

Straling.

Het lijmwerkstuk wordt door middel van infra-rode straling verwarmd. Het proces is sneller dan bij ovenverwarming. Men is ook in staat kleine gebieden te verwarmen.

Elektrische verwarming.

Een strip metaal of grafiet wordt in de lijmlaag ingebed. Deze strip doet dienst als verwarmingselement door er een stroom door te laten lopen. Dit heeft de volgende voordelen:

- Snellere verwarming van de lijmlaag doordat de lijm direct verwarmd wordt zonder dat het werkstukmateriaal verwarmd wordt.
- Eenvoudige lokale warmtetoevoer.
- Betere controle op de temperatuur. Betere resultaten en een lager energieverbruik.
- Simpel proces dat weinig complexe apparatuur behoeft (geen oven alleen een energiebron).

Deze techniek wordt vooral toegepast bij hot-melt lijmen.

DE ASSEMBLAGE VAN DE LIJMCONSTRUCTIE

Hoge frequentie diëlektrische verwarming.

Deze techniek is ontwikkeld om werkstukken die slecht geleiden of zelfs isoleren te kunnen verwarmen. Het proces is gebaseerd op de absorptie van energie door het werkstuk wanneer deze geplaatst wordt in een veranderend elektrisch veld. De moleculen gaan vibreren bij hoge frequenties (10^6 Hz) wat leidt tot verwarming.

Inductieve verwarming.

Elektrische energie wordt gebruikt om warmte te ontwikkelen in een geleidend materiaal. Deze techniek wordt gebruikt bij lijmen met een metaal als vulstof of bij metalen werkstukken.

Laagspanning elektrische verwarming.

Dit wordt toegepast bij het uitharden van houtlijm. Metalen platen die op de lijmverbinding worden gedrukt, worden onder een lage spanning (3 tot 12 V) gezet met een hoge stroomsterkte (500-1000 A).

Ultrasone verwarming.

Deze methode is gebaseerd op mechanische trillingen. De ultrasone energie wordt door de lijm geabsorbeerd, wat leidt tot een temperatuurverhoging. Dit wordt vooral toegepast bij visco-elastische lijmsoorten.

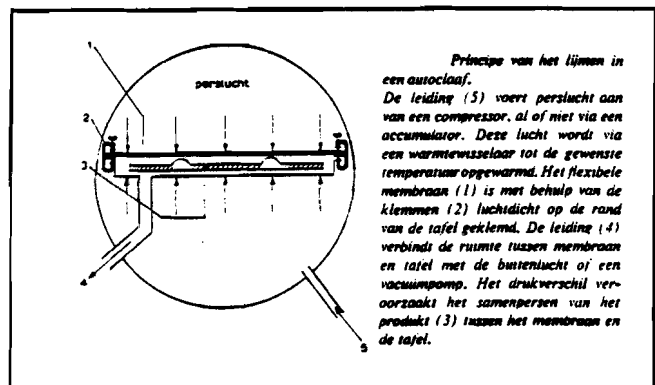
Aanbrengen van druk.

Afhankelijk van de lijmsoort moet de lijmconstructie aangedrukt worden tijdens het hechten. Dit aandrukken heeft de volgende doelen:

- De assemblage wordt bij elkaar gehouden tijdens het uitharden.
- Bevorderen van het contact tussen de lijm en het lijmvlak. De lijm kan gaan vloeien zodat de lijmvlakken beter bevochtigd worden.
- Tegengaan van het ontstaan van ongewenste (gas)insluitels of holten.

Het vloeien van de lijm is essentieel voor een goede verbinding. Bij te weinig vloeien worden de lijmvlakken onvoldoende bevochtigd. Teveel vloeien leidt tot niet-uniforme dikten van de lijmlaag.

De druk moet nooit te groot worden. Dit kan leiden tot spanningen in de lijmconstructie die een bindingssterkte negatief beïnvloeden.



figuur 9: De lijmautoclaaf.

Er zijn verschillende methodes voor het aanbrengen van de druk:

- Lijmautoclaaf. Zie figuur 9.

- Hydraulische persen.
- Hydraulische "pads".
- Een gewicht plaatsen op de lijmconstructie.
- Lijmtangen.
- Vacuüm zak.

6.7 Apparatuur voor het lijmproces.

Voor het onder de juiste condities laten verlopen van het lijmproces zijn speciale apparaten ontwikkeld voor de verschillende handelingen die nodig zijn:

- Voor het in de juiste hoeveelheid
aanbrengen van de lijm met controle voor de lijmlaagdikte.
- Voor het bepalen van de juiste verhouding en voor het mixen van meer-componentenlijmen.
- Voor de handeling van verschillende soorten lijm in grote of kleine hoeveelheden bij grotere
produktieseries.
- Voor het verwijderen van oplosmiddelen en andere bijproducten van de lijm.
- Voor het aanbrengen van druk en voor het toevoeren van warmte.

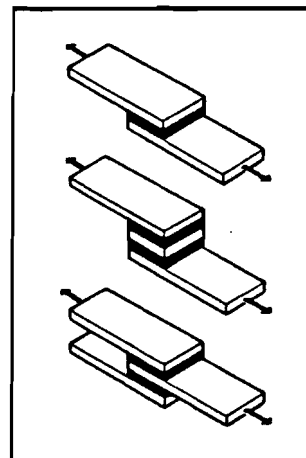
Hoofdstuk 7: HET TESTEN VAN DE LIJMCONSTRUCTIE.

7.1 Inleiding.

Bij constructies waarvan de lijmverbinding van primair belang zijn voor de uiteindelijke bruikbaarheid, zal men zich aan het einde van de produktie willen overtuigen van de kwaliteit van de verbinding. De techniek is nog niet zover gevorderd, dat men van een uitgeharde lijmverbinding de sterkte kan bepalen door een niet-destructieve inspectie. De kwaliteit van de lijmverbinding is afhankelijk van de adhesie- en de cohesie-kwaliteit. De adhesiekwaliteit kan men niet aan een lijmnaad bepalen, men kan hem alleen garanderen indien men een zorgvuldige oppervlaktebehandeling heeft toegepast. De cohesiekwaliteit kan men wel niet-destructief achteraf controleren.

7.2 Destructieve testmethoden.

In de loop der jaren zijn er honderden testen ontwikkeld voor het testen van lijmverbindingen. Vele van deze testen zijn gestandaardiseerd. De belangrijkste en meest gebruikte zijn de testen beschreven in de Deutsche Industrie Normen (DIN) en de testen ontwikkeld door de American Society of Testing and Materials (ASTM). Het is niet nodig alle testen uit te voeren in elke situatie. Welke testen uitgevoerd worden om de lijmverbinding op sterkte te controleren is een keuze van de producent. Deze keuze is geheel afhankelijk van de lijmconstructie, de belastingsituatie en de beschikbare apparatuur. Hieronder wordt een korte indruk van deze testen gegeven afhankelijk van de belastingsituatie. De vermelde ASTM-testen zijn kort beschreven in Shields [zie Shields 1984].



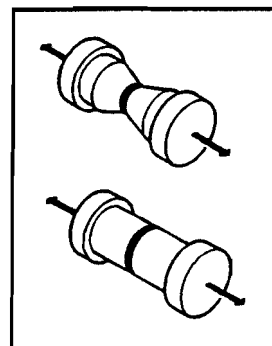
figuur 10: Het testen van de afschuifsterkte.

Afschuiving. Zie figuur 10. (Zie ASTM D-1002).

Het testen van de afschuifsterkte bij een overlapverbinding wordt veel toegepast. De testen zijn eenvoudig uit te voeren. Aan de randen van de lijmnaad kunnen afpel- en slijtspanningen optreden. Het testresultaat wordt uitgedrukt in breukbelasting per oppervlakte.

Trek. Zie figuur 11. (Zie ASTM D-897).

Enkele testen zijn ontwikkeld voor het testen van een lijmverbinding onder trekbelasting. Deze testen gaan uit van een pure trekbelasting; het testresultaat kan beduidend slechter uitvallen indien er slijtbelasting optreedt. De breukbelasting is het testresultaat.



figuur 11: Het testen van de treksterkte.

Slijten. Zie figuur 12. (Zie ASTM D-1062).

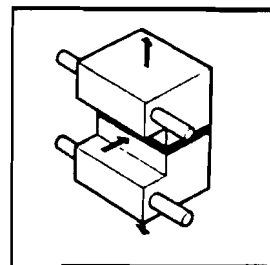
Voor het testen van de slijtsterkte dienen beide lijmwerkstukken stijf te zijn. De lijmnaad wordt niet-symmetrisch belast met een bekende kracht. De

HET TESTEN VAN DE LIJMCONSTRUCTIE

splijtsterkte wordt uitgedrukt in breukbelasting per oppervlakte.

Afpellen. Zie figuren 13 en 14. (Zie ASTM D-903, D-1876 en D-773).

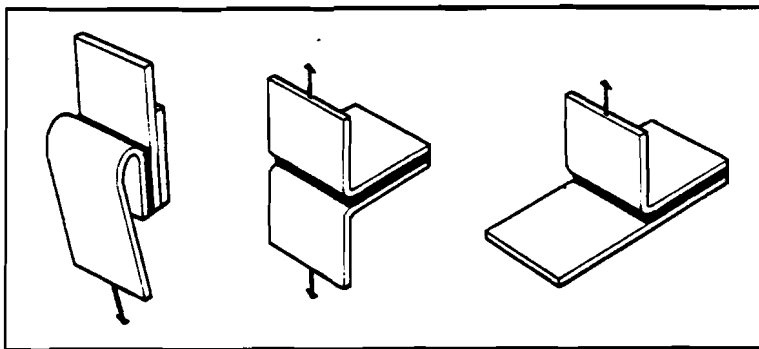
Een afpelsterkte-test bepaald de kracht die nodig is om een flexibel werkstuk van een stijf of flexibel werkstuk af te trekken (pellen). Een speciale test is die met de klimmende trommel (Zie ASTM D-1781). Deze test wordt gebruikt voor het testen van honingraatconstructies en wordt vooral toegepast in de vliegtuigindustrie. Het testresultaat wordt uitgedrukt in belasting per lijmnaadbreedte.



figuur 12: Het testen van de splijtsterkte.

Stoot. Zie figuur 15. (Zie ASTM D-950).

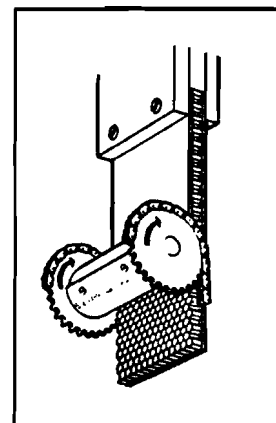
De weerstand tegen stootbelasting wordt bepaald door een van de werkstukken vast te houden en op de andere een stootkracht aan te brengen. Het is moeilijk om deze test te reproduceren, daarom wordt hij ook niet veel toegepast.



figuur 13: Het testen van de afpelsterkte.

Vermoeiing.

Vermoeiingstesten van lijmverbindingen worden in het algemeen uitgevoerd met standaard vermoeiingstest-apparaten. Het is belangrijk de frequentie, de amplitude, de temperatuur en het type en de grootte van de belasting te specificeren. De belasting wordt uitgezet tegen de logaritme van de frequentie. Het punt waar de belastingscurve de 10^7 cycli-curve snijdt is de maat voor de vermoeiingssterkte.



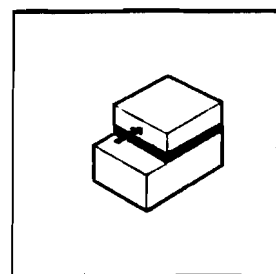
figuur 14: De klimmende trommel-test.

Sterkte afname.

Vaak wil men weten in welke mate de sterkte in de loop der tijd zal afnemen. Dit is zeer moeilijk nauwkeurig te bepalen. Versnelde verouderingstesten zijn moeilijk te extrapoleren naar de levensduur. Toch worden deze testen frequent gebruikt als basis voor het maken van een keuze voor een lijmsoort.

7.3 Niet-destructieve cohesie-inspectie.

Vroeger werden lijmverbindingen gecontroleerd met behulp van een visuele inspectie en de klopmethode. De hoeveelheid langs de lijmnaadranden uitgeperste lijm is een goede aanduiding voor de aandrukking die de lijm ter



figuur 15: Het testen van de stootsterkte.

HET TESTEN VAN DE LIJMCONSTRUCTIE

plaatse heeft ondervonden. Door met een metalen voorwerp op de lijmverbinding te kloppen is het mogelijk poreuze plekken in de lijmlaag op te sporen aan de hand van klankvariaties. Deze methoden leveren echter alleen een indruk van de kwaliteit. Deze methoden zijn niet toereikend voor belangrijke dragende lijmconstructies. Daarom worden nu de methoden gebruikt die al langer gebruikt werden voor het niet-destructief materiaalonderzoek. Deze zijn:

- Mechanische methoden; deze berust op de meting van de vervorming onder een bepaalde kracht.
- Magnetische en elektrische methoden; De isolerende lijmlaag vormt met de gelijmde metalen delen een condensator die toegankelijk is voor capaciteitsmetingen.
- Thermische methoden; variaties in de dikte en het soortelijk gewicht van de lijmlaag kunnen variaties in de warmtegeleiding veroorzaken.
- Stralingsmethoden; De dunne kunststof lijmlagen hebben een grote doorlaatbaarheid voor röntgenstralen. Indien men een grote hoeveelheid metaalpoeder in de lijm mengt kan men op de röntgenfoto's variaties in de lijmlaag constateren.
- Akoestische methoden; hiervan bestaan drie variaties; de doorstraalmethode, de puls-echo methode en de resonantiemethode. Alle drie maken gebruik van een kristal om trillingen door het lijm materiaal te zenden. De manier van ontvangen van de trilling varieert. [Zie Schliekelmann 1970].

Hoofdstuk 8: CONSTRUCTIELIJMSOORTEN.

8.1 Inleiding.

In dit hoofdstuk worden de meest gebruikte constructielijmsorten beschreven aan de hand van de belangrijkste eigenschappen. De betekenis van deze eigenschappen wordt hieronder gegeven. In de bijlagen 2, 3 en 4 zijn enige gegevens overzichtelijk op een rij gezet.

Voor informatie over een specifieke lijm kan men het beste een expert benaderen (lijmfabrikant).

8.2 Beschrijving van de eigenschappen.

Type.

Thermoplasten.

Polymeren welke zacht worden bij hogere temperaturen worden thermoplasten genoemd. Deze lijmen worden hard bij lagere temperaturen. Het zacht en weer hard maken van de lijm is te herhalen. Met enkele uitzonderingen zijn zij oplosbaar in minstens enkele oplosmiddelen. Thermoplasten hebben de eigenschap te kruipen onder belasting. Zij worden in het algemeen niet toegepast bij zwaar belaste constructies.

Thermoharders.

Thermohardende lijmen krijgen hun sterkte (harden uit) onder invloed van interne reacties bij temperatuurverhoging. Deze reacties zijn niet omkeerbaar. Thermoharders deformeren nagenoeg niet onder belasting en zijn onoplosbaar in vrijwel alle oplosmiddelen. De molekuulketensegmenten van een thermoharder zijn chemisch met elkaar verbonden (cross-linked) op zo'n manier zodat de segmenten elkaar opsluiten op hun plaats. Vervormen is zodoende moeilijk of zelfs onmogelijk.

Elastomeren.

Elastomeren zijn rubberachtige polymeren die kunnen deformeren onder spanning. Een elastomeer kan herhaald gerekt worden bij kamertemperatuur tot twee of meer keer zijn originele lengte en bij wegnemen van de spanning keert hij weer snel in zijn originele vorm terug.

Fysische vorm: Hier wordt beschreven de vorm waarin de lijm verkrijgbaar is; één-component- of meer-componentenlijm, vast of vloeibaar, pasta, emulsie, etcetera en eventuele toevoegingen.

Houdbaarheid: De periode dat een lijm bruikbaar blijft indien deze opgeslagen is onder de juiste condities (vochtigheid, temperatuur; koeling verlengt de houdbaarheid).

Bruikbaarheidsduur (pot-life): De tijd dat een lijm bruikbaar blijft nadat deze gereed gemaakt is voor het lijmp proces; mengen van de componenten, toevoegen van een katalysator, oplosmiddel, etcetera.

Assembleertijd: Het tijdsinterval tussen het aanbrengen van de lijm op het lijmvlak en het starten van het lijmproces; verwarmen en aanbrengen van een aandrukkracht. De assembleertijd kan ingedeeld worden in twee perioden: de open assembleertijd; het tijdsinterval voor het assembleren van de lijmwerkstukken en de gesloten assembleertijd; het tijdsinterval tussen het assembleren en het aanbrengen van druk en temperatuur. De in paragraaf 8.3 vermelde assembleertijd is alleen de gesloten assembleertijd.

Hechtingsproces: De conversie van een lijm naar een permanente staat door middel van chemische of fysische processen zoals vulcanisatie, polymerisatie, verdamping, stolling, etcetera.

Procescondities: De condities waaronder een lijm uitgehard dient te worden. Hier wordt telkens slechts een indicatie gegeven van de tijd, de druk en de temperatuur die nodig is voor het uitharden.

Duurzaamheid: Een lijm zal niet in elk milieu bestand zijn. De belangrijkste omgevingsinvloeden worden hier beschreven.

Gebruikstemperatuur: Het temperatuurgebied in welke de lijm zijn functie behoudt. Buiten dit gebied zal de sterkte zeer sterk of zelfs geheel afnemen; de lijm kan zelfs afbreken.

Toepassingen: Geeft de belangrijkste toepassingsgebieden van de lijmsoort. Hier staat beschreven welke materialen gelijmd kunnen worden en in welke constructies dit toegepast wordt.

Sterkte: Gegeven zijn de te behalen resultaten met betrekking tot de belastbaarheid van de lijmverbinding tot aan bezwijken. Voor de verschillende spanningstypes zijn de maximale waarden gegeven.

Niet voor alle lijmsoorten zijn al deze gegevens gevonden. In deze gevallen is een zo volledig mogelijke beschrijving van de lijmsoort gegeven.

8.3 Constructielijmsoorten.

Acryl-lijmen.

Type: Thermoplast, gebaseerd op acrylaten of derivaten (amides en esters).

Fysische vorm: Verkrijgbaar als emulsie, oplosbare vloeistof en monomeer-polymeer mengingen (één- of twee-componentenlijm) met katalysatoren.

Houdbaarheid (20°C): Tot 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Afhankelijk van het type: Emulsies en oplossingen; onbepaald. Polymeer composities; 10 seconden tot 1 minuut.

Assembleertijd (20°C): Bepaald door de bruikbaarheidsduur. Sommige types hechten direct.

Hechtingsproces: Emulsie- en oplossingstype hechten door het verdampen of absorberen van het

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

oplosmiddel. Polymeermixen hechten door polymerisatie bij warmte, ultra violet licht en/of katalysatoren. "Geharde" acryl-lijmen zijn anaëroob; zij hechten in een zuurstof-vrije omgeving.

Procescondities: Emulsie- en oplossingstypen worden gedroogd door verwarming bij $\pm 100^{\circ}\text{C}$. Ultra-violet-systemen plakken al na enige minuten maar dienen 5 tot 6 uur uit te harden. Anaëroobe acryl-lijmen plakken onmiddellijk, zij bereiken hun volledige sterkte na ongeveer 24 uur uitharden onder een druk van 170 kPa.

Duurzaamheid: Weerstand tegen weersinvloeden variëren van slecht (oplossingen) tot zeer goed (polymeren). De kleur verandert van transparant naar geel in ongeveer 1 jaar. Acryl-lijmen worden niet aangetast door alkalies, zuren, zouten of petroleum-brandstoffen, wel door alcohol, sterke oplosmiddelen en hydrocarbonaten. Zeer goede weerstand tegen Uv-straling.

Gebruikstemperatuur: Van -60°C tot 52°C . Bij methacrylaat-esters tot 200°C .

Toepassingen: Lichte constructies van acryl-plastics, hout, glas, metaal, rubber en leer. Kleurloze lijm voor decoratieve doeleinden. Ook voor buiten-gebruik; naamplaatjes, optische componenten in vliegtuigen of auto's. "Geharde" acryl-lijmen zijn geschikt voor zware constructies:

Sterkte: Afschuifspanning: Boven 22 MPa (staal), 30 MPa (Aluminium) en 45 MPa (tussenlaag van rubber bij acryl-plastics).

Trekspanning: Tot 10 MPa.

Afpelspanning: 8,4 N/mm (aluminium).

Stootbelasting: 24,5 J (staal).

Acrylzuur-diësters.

Type: Polyester-acryl harsen.

Fysische vorm: Één-component, zonder oplosmiddel, lage viscositeit, polymeriseerbare vloeistof of pasta.

Houdbaarheid (20°C): Tot 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Tot 1 jaar.

Assembleertijd (20°C): Binnen 5 minuten.

Hechtingsproces: Anaëroobe uithardingsmaterialen die polymeriseren in afwezigheid van zuurstof.

Procescondities: Hard vanzelf uit tot een stijve lijmlaag zonder krimp of verdamping. Uitharding binnen 10 minuten bij 120°C tot 24-72 uur bij kamertemperatuur onder een druk van 30 kPa. Lijmlaag dikte 0,025-0,075 mm.

Duurzaamheid: Varieert aanzienlijk met het type. Weerstand tegen ketonen, hydrocarbonaten, glycol, gechloreerde hydrocarbonaten en water kan goed of slecht zijn. Vocht heeft in het algemeen een slechte invloed op de lijmsterkte.

Gebruikstemperatuur: Van -55°C tot 150°C .

Toepassingen: Aluminium, staal, koper, glas en thermohardende kunststoffen. Toepassing vooral bij

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

constructies met torsie (schroeven, nokken). Zeer geschikt voor kleine assemblages. De rand van de lijmlaag kan niet uitharden (contact met zuurstof) en dient daarom met een oplosmiddel verwijderd te worden.

Sterkte: Afschuifspanning: 10-20 MPa.
Trekspanning: 15-41 MPa.
Afpelspanning: 0,2-2,5 MPa.

Allyl-diglycolcarbonaat.

Type: Thermohardende onverzadigde polyester.

Fysische vorm: Laag-visceuze vloeistof.

Houdbaarheid: Meer dan 3 maanden bij 0°C. Onstabiel bij kamertemperatuur.

Bruikbaarheidsduur (20°C): 2 weken.

Assembleertijd (20°C): Minder dan 30 minuten.

Hechtingsproces: Polymerisatie bij warmte-uitharding met katalysator.

Procescondities: Benzoyl-peroxyde (3%) wordt opgelost in de monomeer. 2 uur uitharden bij 70°C.

Na-harden door langzaam opwarmen tot 85°C gedurende 8 uur.

Duurzaamheid: Zeer goede weerstand tegen nagenoeg alle oplosmiddelen, snelle temperatuurschommelingen, weersinvloeden en tegen gamma-straling.

Gebruikstemperatuur: Tot 100°C.

Toepassingen: Optische constructies; glas, ramen, lenzen, kunststof spiegels, elektro-optische constructies en stralingsapparatuur (röntgen, gamma).

Sterkte: Afschuifspanning: 5-10 MPa.
Trekspanning: 7-20 MPa.
Afpelspanning: 0,1-1,3 MPa.

Anorganische lijmen.

Deze lijmen vormen sterke bestendige verbindingen voor speciale toepassingen. De meeste types zijn achterhaald. Sommige van deze lijmen gebaseerd bijvoorbeeld op natriumsilicaat, magnesiumoxychloride, loodoxide, zwavel of fosfaten, worden nog wel gebruikt.

Natriumsilicaat.

Fysische vorm: Visceuze waterige oplossing.

Procescondities: De natte lijm plakt slecht, daarom moeten de lijmwerkstukken stevig op elkaar gedrukt worden totdat de lijm droog is.

Duurzaamheid: Bros en zeer gevoelig voor water. Zeer goed bestand tegen hoge temperaturen tot 1100°C en tegen bacteriën.

Toepassingen: Hoofdzakelijk om papier en karton te lijmen en verder voor het lijmen van hout, metalen (aluminium met asbest voor ovendeuren), glas, porselein, veiligheidsruiten en voor zeer uiteenlopende constructies die vuurvast zijn.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Sterkte: Afschuifspanning: Tot 20 MPa (hout).
Compressiesterkte: 50 MPa.

Fosfaat lijmen.

Deze lijmen zijn gebaseerd op de reactieproducten van fosfaat-houdende zuren met andere materialen zoals natriumsilicaat, metaal-oxides en -hydroxydes en zouten. Zink-fosfaat wordt bijvoorbeeld gebruikt als tandvulling. De compressiesterkte loopt op tot 200 MPa, de waterbestendigheid is zeer goed.

Basiszouten (Sorel-cement).

Magnesium oxychloride is een anorganische lijm die bekend is om zijn chemische- en warmtebestendigheid. Gebruik hoofdzakelijk voor het lijmen van glas en keramiek.

Zink-oxychloride heeft dezelfde eigenschappen en wordt ook gebruikt als tandvulling.

Verdere voorbeelden van anorganische lijmen zijn zwavel voor het lijmen van zuur-tanks, calciumsilicaat, bariumaluminaat en bariumsilicaat voor pleisterwerk, plafonds en dergelijke en verder anorganische polymeren.

Butadieen-styreen rubbers.

Type: Synthetische thermoplastische elastomeren.

Fysische vorm: Visceuze vloeistof gebaseerd op butadieen-styreen co-polymeren in vloeibare, latex of dispersie vorm.

Houdbaarheid (20°C): 3 maanden tot 1 jaar in afgesloten pot.

Bruikbaarheidsduur: Gelijk aan de houdbaarheid.

Assembleertijd: 10-20 minuten bij natte hechting.

Hechtingsproces: Verwijderen van het oplosmiddel uit de aangebrachte lijm laag en dan contact hechting.

Procescondities: Verwijderen van de grote hoeveelheid oplosmiddel door verdamping gedurende 20 minuten tot enige uren gevolgd door het licht aandrukken van de lijmvlakken.

Duurzaamheid: Deze is afhankelijk van de verhouding butadieen tot styreen. De weerstand tegen olie, oplosmiddelen en oxydatie is slecht. Weerstand tegen warmte en ouderdomsverschijnselen zijn beter dan bij natuur-rubber-lijmen. Gevaar voor kruip.

Gebruikstemperatuur: Van 5°C tot 70°C.

Toepassingen: Vloeibare vorm; vinyl-plastics met metaal, kurk, papier, rubber, hout (spaanplaat).
Latex-vorm; laminatie van metaalfolie, plastic-films, papier, rubberband koorden, kunststof met metaal.

Sterkte: Slecht, wordt verbeterd door vulcaniseren. Onderhevig aan kruip.

Butylrubber en polyisobutyleen.

Type: Thermoplastische elastomeren; polyisobutyleen is een homopolymeer, butylrubber is een co-polymeer van isobutyleen en isopreen.

Fysische vorm: Visceuze vloeistof of dikke pasta gebaseerd op de elastomeren in oplossing.

Houdbaarheid (20°C): 3 maanden tot 1 jaar in een afgesloten pot.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Gelijk aan de houdbaarheid.

Assembleertijd (20°C): Onbepaald of tot 4 uur voor uitgehard butylrubber.

Hechtingsproces: Verdampen van het oplosmiddel uit de aangebrachte lijmlaag of vulcanisatie met toevoeging van hechtingsmiddelen.

Procescondities: Poreuze materialen; natte hechting, het oplosmiddel wordt door het lijmwerkstuk geabsorbeerd. Niet-poreuze materialen; verwijderen van de grote hoeveelheid oplosmiddel door gedurende 5-20 minuten te drogen bij 90°C, gevolgd door contact-hechting door het licht op elkaar drukken van de lijmvlakken. Vulcanisatie met katalysator-toevoeging en warmte uitharding.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen veroudering, minerale oliën, zuren en chemicaliën, ozon en water. Zeer lage gas- en vloeistof-permeabiliteit. Elektrische weerstand, weerstand tegen abrassie, zuren en warmte worden verbeterd door het vulcaniseren. Lage sterkte en kwetsbaar voor oliën en oplosmiddelen. Neiging tot kruip onder belasting.

Toepassingen: Wordt niet veel toegepast. Toepassing hoofdzakelijk bij papier, kunststoffen en rubbers met elastomeren en autobandenfabricage.

Cyano-acrylaten.

Type: Synthetisch polymeer (alkyl-2-cyanoacrylaat) met enige toevoegingen.

Fysische vorm: Één-component, lage viscositeit vloeistof.

Houdbaarheid: Tot 1 jaar bij 1-5°C.

Bruikbaarheidsduur: Onbeperkt voordat er druk is aangebracht; de lijm polymeriseert als de lijmvlakken aangedrukt worden.

Assembleertijd: Binnen enige minuten.

Hechtingsproces: Polymerisatie bij kamertemperatuur zonder toevoeging van katalysatoren.

Procescondities: De lijmvlakken worden met een alkaline-oplossing schoongemaakt (geen zuren!) en de lijm wordt aangebracht. De werkstukken worden snel samengevoegd, aangedrukt en zo enige minuten in positie gehouden. Dunne lijmlagen geven het beste resultaat. Alkaline substraten (glas) hebben 10-30 seconden nodig om te hechten terwijl zure substraten (hout) minstens 3 minuten nodig hebben.

Duurzaamheid: Over het algemeen goede weerstand tegen organische oplosmiddelen. Weerstand tegen vochtigheid en weersinvloeden is bevredigend.

Gebruikstemperatuur: Temperaturen boven 80°C moeten vermeden worden.

Toepassingen: Lichte constructies die snel geassembleerd dienen te worden zoals instrumenten en elektronische en optische units. Ook zachte niet-poreuze materialen, hout, glas,

keramiek, rubber, leer en vele soorten plastics.

Sterkte: Afhankelijk van de uithardingstijd en het lijmwerkstukmateriaal.

Afschuifspanning: Staal-staal; 10 (15 minuten), 19 (2 dagen), 22 (1 week) MPa.

Trekspanning: Aluminium-aluminium; 9 (15 minuten), 17 (2 dagen), 21 (1 week) MPa.

Opmerking: Vrij dure lijm met het voordeel dat er geen warmte nodig is voor het proces en dat het lijmproces weinig tijd kost; ideaal voor zeer snelle assemblage.

Epoxide-lijmen.

Type: Thermohardende synthetische producten verkregen uit de reactie van een polyepoxide-hars en een basische of zure component (harder).

Fysische vorm: Één-component; vloeibare hars zonder oplosmiddel, oplossingen in oplosmiddel, vloeibare hars-pasta's, poeders, sticks, films.

Twee-componenten; De hars en het hechtingsmiddel worden vlak voor gebruik gemixed; vloeibaar of vloeistof met hardingspoeder.

Houdbaarheid (20°C): 3 maanden tot 1 jaar. Koeling verlengt de houdbaarheid.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Afhankelijk van de samenstelling. Één-componentssystemen; onbepaald, twee-componentssystemen; variërend van enige minuten tot enkele uren.

Assembleertijd: Bepaald door de bruikbaarheidsduur; 5 minuten tot 4 uur.

Hechtingsproces: Polymerisatie.

Procescondities: Deze worden bepaald door de toevoeging. Bestudeer altijd eerst de gebruiksaanwijzing. In het algemeen worden twee-componentensystemen gemixed, aangebracht en dan uitgehard op kamertemperatuur (tot 24 uur) of op hogere temperaturen om de uithardingstijd te verkleinen (3 uur bij 60°C tot 20 minuten bij 100°C). Één-componentensystemen hebben meestal een harder die warmte nodig heeft om te hechten (30 minuten bij 100°C).

Veel gebruikte toevoegingen zijn alifatische en aromatische aminen, polyamides en zure anhydrides. Elke toevoeging geeft de lijm zijn eigen karakter.

Duurzaamheid: Afhankelijk van de toevoeging. In het algemeen zeer goede hechting onder haast alle condities. De sterkte neemt slechts weinig af na enkele jaren blootstellen aan weersinvloeden of contact met oliën, vetten, hydrocarbonate brandstoffen, alkalies, aromatische oplosmiddelen, zuren, alcoholen en heet of koud water. De weerstand tegen esters en ketonen is meestal slecht. Sommige epoxide-lijmen zijn wel gevoelig voor vetten, oliën en koud en vooral warm water. Maar bijvoorbeeld polyamide-types zijn bestand tegen temperaturen tot -200°C.

Toepassingen: De toepassingen zijn zeer divers voor vele materialen gebaseerd op metalen, glas en keramiek, hout, beton en thermohardende plastics. Enige voorbeelden van toepassingen:

Vliegtuigbouw; lijmen van aluminium met zichzelf of andere materialen, honingraat-constructies, fiber-glas polyester brandstoftanks.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Automobieliindustrie; vervangen van lasverbindingen waar deze schade kunnen aanrichten, lijmen van accu's en kunststofdelen.

Elektronica-industrie; het lijmen van elektromotoren, transformatoren, printplaten, etcetera.

Bouw; keramische tegels, muren, vloeren, beton, reparatie van bruggen en wegen.

En verder; reparatielijmset voor huishoudelijk gebruik, schuurpapier.

Sterkte: De schuifspanningen variëren tussen 7 en 50 MPa afhankelijk van de samenstelling. De afpelsterkte en splijtsterkte zijn slecht. Door toevoegingen kan dit verbeteren.

Opmerkingen:

Epoxy-harsen hebben verschillende voordelen ten opzicht van andere polymeer-lijmen:

1. Hoge oppervlakte-activiteit en goede bevochtigingseigenschappen.
2. Grote cohesie-sterkte.
3. Geen vluchtige stoffen die vrijkomen; geen krimp, grote lijmvlakken kunnen gemakkelijk verwerkt worden zonder aandrukken.
4. Minder spanningen in de lijmlaag.
5. Weinig kruip onder belasting.
6. Kan aangepast worden door keuze van basishars en harder en toevoegingen (vulmiddel, andere polymeren).

Epoxy-nylon.

Type: Thermohardend mengsel van epoxyhars met passende nylon.

Fysische vorm: 100% vast, tape of film gesteund door gaas of pasta.

Houdbaarheid: Gekoeld 6-8 weken bij 0°C tot 6 uur bij 20°C.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Tot 1 uur, bij kamertemperatuur treedt vloeï op.

Assembleertijd (20°C): Wordt meestal direct aangebracht en binnen 30 minuten geassembleerd.

Hechtingsproces: Polymerisatie.

Procescondities: Uitharden; 3 dagen bij 20°C tot 1 dag bij 150°C onder een druk van 160-320 kPa.

Er komen geen vluchtige stoffen vrij zodat grote vlakken gelijmd kunnen worden zonder ventilatie.

Duurzaamheid: Slechte weerstand van de lijmmaad onder spanning tegen vocht.

Gebruikstemperatuur: Van -75°C tot 95°C met snel verlies van sterkte boven de maximum temperatuur.

Toepassingen: Constructies met hoge afpelspanningen. Het lijmen van aluminiumplaten op honingraatconstructies, lage temperatuurtoepassingen voor metalen.

Sterkte: Zie tabel 1. De afschuifsterkte voor staal is gewoonlijk iets lager dan voor aluminium; 20 MPa bij -40°C.

Temperatuur (°C)	-90	24	82	121	149
Afschuifspanning (MPa)	45	41,3	25	17,9	9,7
Afelspanning (N/mm)	0,2	20	8,8	4,4	0,9

tabel 1: Sterkte van epoxy-nylon bij aluminium.

Opmerking: De lijm is speciaal ontwikkeld voor de vliegtuigindustrie.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Epoxy-polyamide.

Type: Synthetisch thermohardend produkt van de reactie van epoxyhars met een polyamide-hars.

Fysische vorm: Tweedelige produkten bestaande uit vloeibaar epoxyhars en polyamide-hars. De substantie varieert tussen visceus vloeibaar tot semi-vast.

Houdbaarheid (20°C): 6 maanden of langer (gekoeld).

Bruikbaarheidsduur (20°C): Afhankelijk van de verhouding epoxy tot polyamide, temperatuur, totale hoeveelheid en vulmiddelen. Voor een gel (200 gram) 2-4 uur.

Assembleertijd (20°C): Componenten worden vlak voor gebruik gemengd. De lijm wordt aangebracht binnen de bruikbaarheidsduur.

Hechtingsproces: Exotherme polymerisatie.

Procescondities: Uitharden bij kamertemperatuur of hogere temperaturen, afhankelijk van het mengsel. Meestal wordt er eerst een proefstuk gelijmd om de juiste procescondities te bepalen. Uitharden; 36-48 uur bij 20°C of 3 uur bij 65°C tot 20 minuten bij 150°C. Licht aandrukken van de verbinding is voldoende.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen aromatische en alifatische oplosmiddelen, brandstoffen, oliën en smeermiddelen, water, alkalies en oxiderende zuren. Goede thermoschokbestendigheid.

Gebruikstemperatuur: Van -70°C tot 200°C.

Toepassingen: Constructielijm voor metalen met een gelijk of ander metaal, glas, keramiek, leer, hout, plastics en rubber. Reparatielijm voor huishoudelijk gebruik en bouwtoepassingen. Toepassingen in de vliegtuig- en auto-industrie. Lage temperatuur-toepassingen.

Sterkte: Afschuifsterkte: Zie tabel 2.

Temperatuur (°C)	4	25	177	260
Aluminium	11,7	15,5	0,38	0,17
Staal	12,7	12,6	0,41	0,30

tabel 2: Afschuifsterkte (MPa) van epoxy-polyamide.

Epoxy-polysulfide.

Type: Produkt van de reactie tussen epoxyhars en vloeibaar polysulfide-polymeer.

Fysische vorm: Tweedelig produkt gebaseerd op de componenten in vloeibare vorm.

Houdbaarheid (20°C): 6 maanden tot 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): 15 minuten tot 1 uur.

Assembleertijd (20°C): Binnen de bruikbaarheidsduur.

Hechtingsproces: Polymerisatie.

Procescondities: Uitharden; 24 uur bij 20°C tot 20 minuten bij 100°C. Druk; 70-160 kPa. Bij het uitharden komt een penetrante geur vrij, ventilatie is beslist nodig.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen water, zout, hydrocarbonate brandstoffen, alcoholen en ketonen. Weersinvloeden hebben geen effect.

Gebruikstemperatuur: Van -100°C tot 50 °C.

Toepassingen: Constructies waar enige veerkracht van de lijmlaag nodig is; lijmen van betonnen

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

vloeren, startbanen op vliegvelden, bruggen en andere betonnen constructies. Ook voor het lijmen van metalen, glas, keramiek, hout, rubber en sommige plastics.

Temperatuur (°C)	-200	-80	20
Aluminium-aluminium	-	-	17
Aluminium-platina	6,5	6	6
Staal-platina	6	8	10

tabel 3: Afschuifsterkte (MPa) van epoxy-polysulfide.

Sterkte: Afschuifspanning: Zie tabel 3.
 Afpelsterkte: 1,4-3,2 N/mm.

Epoxy-polyurethaan.

Type: Epoxyhars gemend met urethaan-polymeer.

Fysische vorm: Één-component pasta met een katalysator en een aluminium vulmiddel.

Houdbaarheid (20°C): Meer dan 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Onbepaald.

Assembleertijd (20°C): Onbepaald.

Hechtingsproces: Polymerisatie.

Procescondities: Uitharden op 182°C gedurende 1 uur onder een druk van 140-200 kPa.

Duurzaamheid: Nog niet bekend. Afnemende flexibiliteit bij lagere temperaturen leidt tot zeer een goede afpelsterkte.

Toepassingen: Constructielijm voor metalen zoals roestvrij staal, aluminium, koper en titaan waar hoge lijmsterktes nodig zijn.

Sterkte: Zie tabel 4.
 Stootbelasting: 0,043 J/mm.

Temperatuur (°C)	-73	25	82	121
Afschuifspanning (MPa)	26	38,7	30	8,6
Afpeelspanning (N/mm)	4	15	7	2,2

tabel 4: Sterkte van epoxy-polyurethaan.

Fenol-epoxy.

Type: Samenstelling van thermohardende fenol- en epoxy-harsen.

Fysische vorm: Visceuze vloeistof (met eventuele oplosmiddelen) of een glas-mat met daarop een lijmfilm of tape.

Houdbaarheid: 3 weken (20°C) tot 3 maanden (0°C).

Bruikbaarheidsduur (20°C): Afhankelijk van de mengverhouding en samenstelling (enkele uren tot onbepaald).

Assembleertijd (20°C): Tot 30 minuten.

Hechtingsproces: Vorming van een thermoharder door warmte-uitdaging.

Procescondities: Geforceerd drogen bij 80-90°C gedurende 20 minuten. Dan de werkstukken assembleren. Uitharden gedurende 30 minuten bij 95°C en aandrukken, daarna 30 minuten tot 2 uur bij 165°C en een druk van 7-400 kPa.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen weersinvloeden, veroudering, water, zwakke zuren, aromatische brandstoffen, glycol en hydrocarbonate oplosmiddelen.

Gebruikstemperatuur: Van -60°C tot 260°C, sommige lijmen zelfs tot -260°C.

Toepassingen: Hoge temperatuur constructielijmen voor metaal, glas en keramiek. Het lijmen van honingraat constructies in de vliegtuigbouw.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Sterkte: Afpelsterkte en stootbelastbaarheid zijn slecht. Afschuifspanning: Zie tabel 5.

Opmerkingen: Vrij duur materiaal met uitstekende afschuif en trek eigenschappen over een breed temperatuurgebied.

Temperatuur (°C)	-75	25	260	400
Aluminium	24	22	10	4,8
Staal	17	16	9	2,5

tabel 5: Afschuifsterkte (MPa) van fenol-epoxy.

Fenol-formaldehyde (warm-hechtend).

Type: Synthetische thermohardende hars.

Fysische vorm: 1. Gedroogd poeder dat gemixed wordt met water 2. Vloeibare oplossingen van water, aceton of alcohol. 3. Lijmfilm.

Houdbaarheid (20°C): Poeders en harsen; 1-2 jaar, film; tot 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Poeders en harsen; 1-24 uur, film; onbepaald.

Assembleertijd (20°C): 24 uur of meer.

Hechtingsproces: Condensatie polymerisatie met verwijdering van water.

Procescondities: Uitharden; harsen tot 15 minuten bij 100-150°C en 700-1700 kPa, film tot 15 minuten bij 120-150°C en 700-1400 kPa.

Duurzaamheid: Bestand tegen weersinvloeden, kokend water en biochemische afbraak. De temperatuurstabiliteit is beter dan bij zuur-katalysator fenolformaldehyde, de vuleigenschappen zijn slecht. De verbinding is vrij bros; gevaar voor breuk bij schokken en trillen.

Toepassingen: Fabricage van weervast multiplex, glas met metaal lijmen bij lampen fabricage.

Fenol-neopreen.

Type: Thermohardende fenol-hars gemengd met polychloropreen (neopreen) rubber.

Fysische vorm: Vloeibaar of film (met glas- of nylon-mat).

Houdbaarheid (20°C): Vloeibaar; 6 maanden tot 1 jaar in afgesloten pot. Film; tot 6 maanden bij koeling.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Vloeibaar; 2- 60 minuten open tijd.

Assembleertijd (20°C): Minder dan 1 uur.

Hechtingsproces: Formatie van een thermoharder op basis van warmte-uitharding.

Procescondities: Film; uitharden bij 150-260°C gedurende 15-30 minuten bij een druk van 350-1800 kPa. Vloeistof; drogen bij 80°C en uitharden gedurende 15-30 minuten bij 90°C onder contactdruk tot een druk van 700 kPa. De verbinding kan losgenomen worden als de lijm nog warm is.

Duurzaamheid: Excellente weerstand tegen biochemische afbraak, water, glycol, petroleum en andere gewone chemicaliën. Goed bestand tegen kruip en koude vloeel. De verbinding kan lang zware een belasting doorstaan.

Gebruikstemperatuur: Van -50°C tot 93°C.

Toepassingen: Constructielijm voor metalen zoals aluminium, magnesium en roestvrij staal. Gebruikt in constructies zoals honingraat materialen, plastic-laminaten, hout met metaal

verbindingen.

Sterkte: Weerstand tegen stoot en vermoeling is goed. Afschuifspanning bij metalen: zie tabel 6.

	Vloeibaar	Film
Afschuifspanning	1,3-4,8	14-35
Trekspanning	1,3-6	17-35
Afpelspanning	1,7-10	0,8-5

tabel 6: Sterkte (MPa) van fenol-neopreen.

Fenol-nitril.

Type: Thermohardende fenol hars gemengd met acrylo-nitril butadien rubber.

Fysische vorm: Vloeibaar of film (met glas- of nylon-mat).

Houdbaarheid (20°C): Vloeibaar; 6 maanden tot 1 jaar in afgesloten pot. Film; tot 6 maanden bij koeling.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Vloeibaar; 2-15 minuten. Film; 2-90 minuten.

Assembleertijd (20°C): Van 10 minuten (vloeibaar) tot 60 minuten (film).

Hechtingsproces (20°C): Formatie van een thermoharder op basis van warmte-uitharding.

Procescondities: Film; uitharden op 150-260°C gedurende 15-30 minuten met een druk van 120-1800 kPa. De vloeibare vorm; drogen bij 80°C en daarna uitharden gedurende 15-30 minuten bij 90°C met aandrukken tot drukken van 200 kPa.

Duurzaamheid: Uitmuntende weerstand tegen biochemische afbraak, water, oliën, plastificeerders, zouten en vele oplosmiddelen. De lijm met de beste bestendigheid tegen zouten.

Gebruikstemperatuur: Bestand tegen continue temperaturen van 150°C; kort blootstellen tot 250°C zonder problemen. Bros bij -57°C wat leidt tot afname van de stoot en afschuifsterkte.

Toepassingen: Constructielijm voor metalen, rubbers, plastics, hout, glas en keramiek. Hoge gebruikstemperaturen zoals bij autoremmen en koppelingsplaten.

	Vloeibaar	Film
Afschuifspanning	2-14	14-38
Trekspanning	3,5-14	20-55
Afpelspanning	3,5-8	10-13

tabel 7: Sterkte (MPa) van fenol-nitril.

Sterkte: Zie tabel 7. Afschuifspanning: 14 MPa (150°C) tot 7 MPa (250°C).

Fenol-polyamide.

Type: Mengsel van fenol thermoharder en polyamide harsen.

Fysische vorm: Twee-componentenlijm. Fenolhars met polyamidefilm.

Houdbaarheid (20°C): Onbepaald.

Bruikbaarheidsduur (20°C): 15-30 minuten open tijd voor de fenolhars.

Assembleertijd (20°C): Tot 40 minuten.

Hechtingsproces: Formatie van een thermoharder op basis van warmte-uitharding.

Procescondities: De voorbehandelde lijmvlakken worden geprimerd met fenolhars en gedurende 15-30 minuten gedroogd. De polyamide film wordt gesandwiched tussen de lijmvlakken en gehard gedurende 2-3 minuten bij 220°C en 70-700 kPa.

Duurzaamheid: Gelijk aan vinylacetal-fenolhars. Bestand tegen weersinvloeden, oliën, petroleum en

koude.

Gebruikstemperatuur: Van -60°C tot 150°C .

Toepassingen: Constructielijm voor toepassingen bij hoge temperaturen voor het verbinden van metalen en materialen voor sandwich-constructies. Wordt het meest gebruikt in de vliegtuigindustrie. Deze lijm is niet zo gewild omdat het lijmp proces vrij omvangrijk is en de reproduceerbaarheid laat te wensen over.

Fenol-vinylbutyral.

Type: Mengsel van fenolhars (thermohardend) en polyvinylbutyral (thermoplastisch) welke voornamelijk thermohardend is.

Fysische vorm: Vloeibaar of film (met kunststof-mat).

Houdbaarheid (20°C): Meer dan 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Minstens 2 dagen.

Assembleertijd (20°C): Tot 1 uur bij $50-70^{\circ}\text{C}$ is meestal wel toegestaan voordat het oplosmiddel uit de lijm verdampst.

Hechtingsproces: Formatie van een thermoharder op basis van warmte-uit harding.

Procescondities: Film; uitharden gedurende 15-30 minuten bij 150°C en een druk van 100-200 kPa.

Voor de vloeistof geldt een soortgelijk proces.

Duurzaamheid: Gelijk aan fenol-vinylformal. Zeer goede weerstand tegen biochemische afbraak, water, oliën en aromatische brandstoffen en weersinvloeden. De afschuifsterkte neemt snel af als de thermoplastische temperatuur van het vinyl genaderd wordt.

Toepassingen: Metaal en geavanceerde plastics met papier, honingraatconstructies, kurk, staal met ge vulcaniseerd rubber, ongevulcaniseerde en cyclische rubbers, elektrische toepassingen.

Sterkte: Afschuifspanning: 14-35 MPa.

Trekspanning: 7-28 MPa.

Afpelspanning: 1,3-2 N/mm.

Fenol-vinylformal.

Type: Mengsel van fenol (thermoharder) en polyvinyl-formal hars (thermoplast) welke overwegend thermohardend is.

Fysische vorm: Vloeibaar of plastic-tape met lijm aan beide zijden. Twee-componentenlijm gebaseerd op vloeibaar fenolhars en vinylformal-poeder.

Houdbaarheid (20°C): Tape; 1 jaar. Vloeistof/poeder; niet minder dan 1 jaar (koel en droog bewaren).

Bruikbaarheidsduur (20°C): Vloeibare types meer dan 3 dagen.

Assembleertijd (20°C): Tot 1 uur bij $50-70^{\circ}\text{C}$ is meestal wel toegestaan voordat het oplosmiddel uit de lijm verdampst.

Hechtingsproces: Formatie van een thermoharder op basis van warmte-uit harding.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Procescondities: Film; uitharden 5 minuten bij 177°C tot 30 minuten bij 150°C met een druk van 350-3500 kPa.

Duurzaamheid: Afhankelijk van het type. Deze lijmen behouden hun sterkte bij blootstelling aan weersinvloeden, roestvorming, zouten, vochtigheid en chemische stoffen zoals water, oliën en aromatische brandstoffen. Goede kruip-eigenschappen onder de 90°C. Vermoeiingsweerstand is formidabel; vermoeiing komt eerder voor in het werkstuk.

Gebruikstemperatuur: -60°C tot 100°C.

Toepassingen: Constructielijm voor het lijmen van metaal met metaal in de vliegtuigindustrie. Wordt ook gebruikt voor het lijmen van koperfolie op plastic printplaten. Dit is één van de beste lijmen voor het lijmen van hout met metaal en voor honingraatconstructies.

Sterkte: Afschuifspanning: 20-35 MPa.

Trekspanning: 7-28 MPa.

Afpelspanning: 6 N/mm.

Fenoxxy.

Type: Synthetische thermoplast, polyhydroxy-ether.

Fysische vorm: Één-componentlijm in poedervorm, film of pastilles. Kan opgelost worden of in een speciale vorm gemaakt worden.

Houdbaarheid (20°C): Meer dan 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Onbepaald; beperkte stabiliteit bij smelttemperatuur.

Assembleertijd (20°C): Binnen enkele minuten.

Hechtingsproces: Hot-melts, hechting door afkoelen.

Procescondities: Uit de vloeibare vorm moet eerst het oplosmiddel verwijderd worden door te drogen. Tijd en temperatuur spelen een belangrijke rol bij het verkrijgen van de maximale sterkte, de druk is niet belangrijk (contactdruk tot 170 kPa). Hechting bij 192°C gedurende 30 minuten of 2-3 minuten bij 260°C tot 10 seconden bij 300-350°C.

Duurzaamheid: Bestand tegen weersinvloeden en biochemische afbraak. Zeer goede weerstand tegen anorganische zuren, alkalies, alcoholen, zouten, koud water en alifatische hydrocarbons. De oppervlaktebehandeling is vrij kritisch. Voor een thermoplast unieke kruip- en vloe-eigenschappen.

Gebruikstemperatuur: Van -62°C tot 82°C.

Toepassingen: Constructielijm voor de snelle assemblage van metalen en stijve materialen. Continue laminatie van metaal op metaal of hout. Ook voor flexibele materialen zoals papier, metaalfolie en plastics. Toepassingen bijvoorbeeld het verbinden van pijpen en voor het assembleren van autocomponenten. Wordt ook veel gebruikt voor het verbinden van verschillende kunststoffen.

Sterkte: Afschuifspanning: Metaal algemeen; 17-27 MPa, aluminium; 21 (-55°C), 24 (25°C), 19 (82°C), 9 (104°C) MPa.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Stootbelasting: 1,33 N/mm.

Kruip: Minder dan 0,0013 mm bij 8 dagen belasten bij 11 MPa.

Furanen.

Type: Synthetische thermohardende hars.

Fysische vorm: Donker gekleurde heet of koud hechtende vloeistoffen.

Procescondities: Uitharden door toevoegen van katalysator. Weinig verdamping, licht aandrukken is voldoende.

Duurzaamheid: Bestand tegen kokend water, organische oplosmiddelen, oliën en zwakke zuren en alkalies. Sterk oxiderende zuren grijpen in op de furanen.

Gebruikstemperatuur: Afhankelijk van de gebruikte katalysator kan het oplopen tot 150°C.

Toepassingen: Furaanharsen worden meestal gebruikt als bindmiddel voor andere lijmen. Verder gebruik bij het lijmen van tegels, chemicaliën-tanks en als bindmiddel voor explosieven en lijmen voor de raket-bouw (temperaturen tot 1250°C met afschuifsterktes tot 40 MPa). Furaanlijmen hebben goede vuleigenschappen; de sterkte blijft behouden bij brede lijmnaden.

Hot-melt lijmen.

Grof vertaald; smelt-lijmen. De lijmen worden gesmolten aangebracht. Na afkoelen worden ze vast en krijgen ze hun sterkte.

Type: Thermoplasten die smelten tussen 65-180°C.

De volgende types worden veel toegepast: Alkyden, asfalt en kool-teer bitumen, coumaron-indeenhars, fenolhars, terpeenhars en wassen (mineraal, plantaardig en petroleum). Veel synthetische polymeren worden tegenwoordig ook als hot-melt lijmen toegepast zoals butyl-methacrylaat, ethylcellulose, ethyleen-vinylacetaat, polyethyleen, polyvinylacetaat en derivaten, polystyreen, polypropyleen, polyisobutyleen, polyamides, polyesters, fenoxiharsen en polyisopreen.

Hot-melt lijmen bestaan in het algemeen uit drie basismaterialen:

1. Een hoog-moleculair polymeer voor de viscositeit en de cohesiesterkte.
2. Een synthetische elastomeer voor de plakkerigheid, de elasticiteit en de sterkte.
3. Een hars voor de verbetering van de bevochtiging.

Er zijn twee groepen hot-melt lijmen:

1. Vinyl-polymeren; dit is de grootste groep.
2. Polyamides, polyesters en polyurethanen.

Fysische vorm: Zeer divers; tapes, touwvorm, pastilles, blokjes, cilindertjes.

Houdbaarheid (20°C): Onbepaald.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Onbepaald en afhankelijk van het type.

Assembleertijd (20°C): Enkele seconden.

Hechtingsproces: Stollen door afkoelen.

Procescondities: Afhankelijk van de lijmsamenstelling. Hot-melt lijmen zijn hoofdzakelijk lijmen voor

de massaproductie. Zodoende is er speciale apparatuur ontwikkeld voor het zeer snel en simpel aanbrengen van de lijm. Er zijn twee manieren van aanbrengen:

1. Smelten in een reservoir en met behulp van een pomp en een spuit wordt de lijm aangebracht.

2. De vaste lijm wordt in een koordvorm toegevoerd aan een hete spuitmond die de lijm aanbrengt.

De smeltemperatures lopen op tot 180°C en de gebruikte drukken variëren van licht aandrukken tot 700 kPa.

Duurzaamheid: Deze is afhankelijk van het type. Sommige hot-melt lijmen geven hoge sterkten en flexibele schokbestendige verbindingen.

Gebruikstemperatuur: Thermisch stabiel tot 50-70% van de smeltemperatuur. Sommige lijmen blijven veerkrachtig tot -100°C.

Toepassing: Snelle assemblage van materialen die gebruikt worden in de boekbind-, verpakings-, schoenen- en plastics-industrie.

Eigenschappen: Voordelen; goedkoop, ideaal voor snelle, eenvoudige assemblage, onbrandbaar, niet-giftig, niet bros, goed te bewaren en eenvoudig op te slaan, eenvoudig te gebruiken bij veel materialen. Nadelen; speciale apparatuur nodig, viscositeit beïnvloed de sterkte, afbraak boven de smeltemperatuur, slechte controlebaarheid over de aangebrachte hoeveelheid lijm, zachter worden bij hogere temperaturen (glasovergangstemperatuur $\pm 90-150^\circ\text{C}$ [zie Schouten 1988]).

Ionomeerharsen.

Ionomeren is een verzamelnaam voor thermoplastische polymeren die ionische cross-links in de inter-moleculaire structuur bevatten. Ze worden hoofdzakelijk toegepast bij het extruderen en omvormen. Enkele harsen kunnen gebruikt worden als verbindingsmiddel.

Ionomeren hebben enkele unieke eigenschappen. Ze zijn flexibel en veerkrachtig, taai (tot -200°C) en zeer transparant ($\mu = 1,51$). De diëlektrische eigenschappen zijn goed over een breed frequentiegebied, ze zijn onoplosbaar in alle organische oplosmiddelen.

Deze lijmen worden toegepast bij het verbinden van elektrische buizen en kabels. De afschuifspanning is minstens 8 MPa voor staal-staal.

Isocyanaten.

Lijmen gebaseerd op isocyanaten zijn zeer reactieve materialen die sterk hechten met een verscheidenheid aan materialen zoals metalen, rubbers, plastics, glas, leer en textiel.

Isocyanaten kunnen op drie manieren als lijm materiaal gebruikt worden:

1. Alleen of met een elastomeer als toevoeging voor het lijmen van kunststof of rubber met metaal.

Deze lijmen gaan uit van isocyanaat (in een oplosmiddel) als een primer, die op één lijmvlak wordt aangebracht en gedroogd. De verbinding is goed bestand tegen warmte, oplosmiddelen, stootbelasting en vermoeling.

2. Isocyaanaten als toevoeging voor op rubber gebaseerde lijmen. Na het aanbrengen wordt de lijm gedroogd, de lijmvlakken worden op elkaar gedrukt (contact-hechting) en uitgehard. Ze worden gebruikt voor het lijmen of primeren van rubber met kunststoffen.

3. Isocyaanaten als reactant met polyester of polyether voor het maken van polyurethaan-lijmen.

Emulsiepolymeer-isocyaanaten (EPI).

Type: Op water gebaseerd.

Fysische vorm: Twee-componentensysteem; Emulsie-polymeer en een toevoeging voor het maken van de cross-links die isocyaanaten bevat.

Bruikbaarheidsduur(20°C): Enige uren.

Hechtingsproces: Het water migreert uit de lijm laag in het werkstukmateriaal waarna de cross-links vrijkomen om te reageren met het emulsiepolymeer om zo een goede verbinding te maken.

Procescondities: Na het mengen en aanbrengen kan de lijm uitharden bij temperaturen onder 4°C.

Duurzaamheid: Het gedrag op de lange termijn is nog onbekend. De bindingssterkte is zeer goed.

Toepassingen: Vervanging voor formaldehydhar-lijm.

Keramische lijmen.

Deze lijmen zijn 25 jaar geleden ontwikkeld om het solderen te vervangen.

Eigenschappen: De grootste nadelen van keramische lijmen zijn de slechte schokbestendigheid als gevolg van de brosheid, kruip (een keramisch materiaal is een vloeistof met extreem hoge viscositeit) en de zeer intensieve oppervlaktebehandeling van de lijmwerkstukken. De sterkte van de lijmverbinding is goed (tot 28 MPa) en de gebruikstemperatuur kan extreem hoog zijn (tot 2900°C).

Toepassingen: Fabricage van televisie- en radiobuizen.

Sterkte: Afschuifspanning: Tot 28 MPa bij kamertemperatuur.

Melamine-formaldehyde.

Type: Synthetische thermohardende hars.

Fysische vorm: Film, vloeistof of poeder. Het poeder wordt gemixed met water en/of alcohol.

Houdbaarheid (20°C): Film; 3 maanden, poeder; tot 2 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Film; 3 maanden, poeder; tot 24 uur.

Assembleertijd (20°C): Film; 3 maanden, poeder; tot 24 uur.

Hechtingsproces: Condensatie-polymerisatie met verwijdering van water.

Procescondities: Geschikt voor gebruik met radio-frequentie apparatuur. Uitharden; 10 uur bij 50°C tot 2 minuten bij 90°C, druk; 700-1000 kPa.

Duurzaamheid: Excellente weerstand tegen water en zeer goede temperatuurstabiliteit. Weerstand tegen biochemische afbraak is goed. Voor dunne lijm lagen is de lijm laagsterkte groter dan de sterkte van het hout.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Toepassingen: Lichte hout-samenstellingen voor buitengebruik, multiplex-fabricage bestand tegen kokend water.

Nitril-rubbers.

Type: Synthetische thermoplastische elastomeren.

Fysische vorm: Visceuze vloeistof gebaseerd op acrylonitril-butadien copolymeer in oplosmiddel of latexschuim met toevoegingen. Verkrijgbaar als brandbaar en onbrandbaar materiaal, licht of donker gekleurd.

Houdbaarheid (20°C): 3 maanden tot 1 jaar in afgesloten pot.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Gelijk aan de houdbaarheid.

Assembleertijd (20°C): 10 tot 20 minuten voor natte hechting. Onbepaald wanneer gedroogde lijmfilms worden opgeslagen voor het later oplos- of warmte-reactiveringshechten.

Hechtingsproces: Verwijderen van het oplosmiddel uit de aangebrachte lijmlaag, warmte- of oplos-reactiveren van gedroogde filmlagen (warmte-reactiveren bij 85°C).

Procescondities: Poreuze materialen; natte hechting waarbij het oplosmiddel door het lijmvlak wordt geabsorbeerd. Niet-poreuze materialen; verwijderen van de grote hoeveelheid oplosmiddel door verdamping (20 minuten tot enige uren). Daarna worden de plakkerige lijmvlakken op zacht elkaar gedrukt. Eventueel vulcanisatie door verwarmen of toevoegen van een katalysator om de sterkte en de warmtebestendigheid te verbeteren.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen oliën, water, vele zuren en organische oplosmiddelen.

Gebruikstemperatuur: Minimaal -50°C, maximaal 120-150°C.

Toepassingen: Plastics en geplastificeerde vinyl-materialen en vele rubbers voor lage temperatuurflexibiliteit. Voor het lijmen van rubbers met metaal, kunststof, hout, papier, etcetera. Een speciale toepassing is het lijmen van geschilderde metalen en dunne plastic-films.

Sterkte: De sterkte is zeer afhankelijk van de samenstelling. Niet geschikt voor constructies met een continue belasting van meer dan 0,7 MPa.

Afschuifspanning: 1-14 MPa.

Afpelspanning: Hoog.

Nylon-lijmen.

Nylons zijn synthetische thermoplastische polyamides van relatief hoog moleculair gewicht. Zij worden gebruikt als basis voor verschillende lijmsorten.

Oplos-lijmen.

Gesubstitueerde nylons zijn oplosbaar in enige alcoholen en alcohol/water mengsels en worden gebruikt voor het maken van oploslijmen. De hittebestendigheid is goed terwijl de water- en oplosmiddelbestendigheid slecht is. (zie ook epoxy-nylon).

Hot-melts.

Nylons kunnen als hot-melt lijm gebruikt worden voor het lijmen van metalen, hout en andere vaste materialen. De nylons moeten verwarmd worden tot boven hun smeltpunt (tussen 186°C (nylon 11) en 260°C (nylon 6:6)) om te kunnen hechten.

fenol-nylon.

De hechting van een nylon aan metaal wordt verbeterd door het gebruiken van een fenol-formaldehyde hars als primer. De fenol-hars wordt dun aangebracht en gedroogd (30 minuten) waarna de nylon-lijm wordt aangebracht. Het geheel wordt 2 tot 3 minuten verwarmd boven het smeltpunt bij een druk van 7-700 kPa. Sterkte: Voor fenol met nylon-6; afschuifspanning 35 (20°C), 20 (150°C) MPa, melamine met nylon-6; afschuifspanning 30 (20°C), 13 (150°C) MPa.

Polyamides.

Er zijn twee types polyamide-lijmen:

1. Lineaire polymeren welke neutrale en chemisch niet actieve vaste stoffen zijn.
2. Vertakte polymeren met aminogroepen. Dit zijn zeer reactieve vloeistoffen of semi-vaste stoffen (zie epoxy-polyamide).

Het eerste type wordt hier besproken.

Type: Thermoplastische reactieproducten van een dubbelzuur met diaminen.

Fysische vorm: Vaste stoffen met een smeltemperatuur tussen 100°C en 190°C. In cake, pil, blok, film, granulaat en stickvorm. Verkrijgbaar als vloeibare oplossing.

Houdbaarheid (20°C): Meer dan 1 jaar.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Onbepaald.

Assembleertijd (20°C): De gesmolten lijm wordt direct aangebracht en hecht binnen enkele seconden door te stollen. Er is geen beperking op de assembleertijd indien de lijm vloeibaar blijft.

Hechtingsproces: Stollen van de gesmolten lijm door koelen.

Procescondities: Oplos-types; Verwijderen van het oplosmiddel door verdamping en daarna warmte-activering van de droge lijmfilm. Vaste types; Smelten en daarna aanbrengen. De smeltemperaturen liggen om en nabij de 200°C. Voor het aanbrengen van deze lijmen wordt gebruik gemaakt van speciale apparatuur. Deze methode is uiterst geschikt voor zeer snelle assemblage.

Duurzaamheid: Polyamide lijmen zijn taai, hebben een hoge cohesiesterkte en een sterke adhesie. De goede spannings- en rek-eigenschappen blijven bewaard gedurende lange blootstelling aan hoge temperaturen. Weerstand tegen water, plantaardige en minerale oliën, vetten en weersinvloeden is matig tot goed, maar slecht tegen alcoholen, hydrocarbonaten, ketonen, oxiderende zuren en alkalies.

Toepassingen: Snelle assembleerprocessen waar hoge produktiesnelheden nodig zijn bijvoorbeeld in de schoenenfabricage, de autofabricage (radiatoren), de elektronica-industrie, de

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

drukkerij (lijmen van aluminium met lood voor pintscreens), de papier- en verpakings-industrie en voor het lijmen van kunststoffen.

Sterkte: Trekspanning: Aluminium; 26 (-198°C), 22 (-80°C), 7,7 (20°C) MPa.

Polyaromaten.

De laatste twee decennia is er een grote vooruitgang geboekt op het gebied van de thermische en oxidatieve stabiliteit van organische lijmen bij hoge temperaturen. Er zijn hittebestendige polymeren en harsen ontwikkeld die als lijm gebruikt worden in de lucht- en ruimtevaart-industrie. Deze lijmen welke sommige bestand zijn tot wel 400°C zijn opgebouwd rond een aromatische verbinding (benzeen-ring). Hieronder worden de meest gebruikte hitte-bestendige organische lijmen beschreven.

Polyimides (PI).

Type: Synthetische thermohardende hars; reactieproduct van een diamine en een dianhydride.

Fysische vorm: Vloeibare oplossing van de polyimide pre-polymer of een film met een glasvezelmat.

Houdbaarheid (20°C): Minder dan 1 maand. Bij gekoeld bewaren (0°C) tot 3 maanden.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Onbepaald, onstabiel bij kamertemperatuur.

Hechtingsproces: Polycondensatie bij hoge temperaturen.

Procescondities: Het is zeer belangrijk de gebruiksaanwijzingen nauwkeurig op te volgen.

Vloeibaar; verwijderen van het oplosmiddel door middel van warmte en druk en voorharden tot een gewenst niveau (B-staat) bij 100-150°C. Het uiteindelijke uitharden (C-staat) gebeurt in verschillende etappes in het gebied van 150-300°C of meer. Film; in 90 minuten verwarmen tot 250°C en dan gedurende 90 minuten houden op 250°C. Na-harden gebeurt op nog hogere temperaturen (tot 300°C). De druk ligt tussen 260 en 650 kPa.

Duurzaamheid: Polyimide-lijmen zijn uitzonderlijk goed bestand tegen hoge temperaturen en atoomstraling (elektronen en neutronen). Verder zijn ze goed bestand tegen zouten, organische oplosmiddelen, brandstoffen en oliën, sterke zuren maar ze zijn slecht bestand tegen alkalies.

Gebruikstemperatuur: Van -196°C tot 260°C. Voor kortere perioden kan de temperatuur nog hoger worden; 350°C gedurende 200 uur of 377°C gedurende 10 minuten.

Toepassingen: Constructielijm voor lage en hoge temperatuurtoepassingen; metaal met metaal (roestvrij staal, titaan, aluminium, etcetera). Wordt vooral gebruikt in de vliegtuigindustrie en voor het lijmen van keramiek.

Sterkte: Afschuifspanning: Film (uitgehard bij 260°C) voor het lijmen van staal; 29 (-196°C), 19 (24°C), 12 (204°C), 6 (427°C), 3 (540°C) MPa, titaan; 9-14 MPa.

 Afpelspanning: 4,3-5,3 N/mm.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Polybenzimidazolen (PBI).

Type: Synthetisch thermohardend hetero-cyclisch lineair polymeer.

Fysische vorm: Film, samengesteld uit glasvezelmatten geïmpregneerd met hars.

Houdbaarheid (20°C): 90 dagen.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Onbepaald, onstabiel bij kamertemperatuur.

Hechtingsproces: Polycondensatie bij hoge temperaturen.

Procescondities: De assemblage wordt in een voorverwarmde pers geplaatst (370°C) en geperst op 30 kPa gedurende 30 seconden. Daarna wordt de druk opgevoerd tot 600-1400 kPa en de temperatuur wordt gedurende 3 uur op 370°C gehouden. Daarna wordt de temperatuur verlaagd tot 260°C of minder en de assemblage wordt uit de pers gehaald. Als alternatief kan deze lijm gehard worden in een lijm-autoclaaf. Als laatste wordt de lijm nog na-gehard gedurende 8 uur bij temperaturen tussen 316°C en 427°C.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen zouten, 100% vochtigheid, aromatische brandstoffen, hydrocarbonaten en hydraulische oliën. De elektrische weerstand tot 200°C is goed.

Gebruikstemperatuur: Van -250°C tot 300°C. Voor korte periodes kan de temperatuur nog hoger worden; 260°C gedurende 1000 uur tot 540°C gedurende 10 minuten.

Toepassingen: Hoge temperatuur-constructielijm hoofdzakelijk gebruikt in de ruimtevaartindustrie voor het lijmen van honingraatconstructies en metalen (roestvrij staal, titaan, aluminium en berilium). Deze lijm is extreem duur en de proceskosten zijn zeer hoog. Daarom wordt deze lijm niet veel toegepast.

Sterkte: Afschuifspanning: Staal (gehard 1 uur bij 221°C daarna 1 uur bij 332°C) gemeten bij 260°C (in uren); 19 (1), 21 (200), 13 (500), 0 (1000) MPa.

Polybenzothiazolen (PBT).

Deze polymeren hebben dezelfde eigenschappen als de polybenzimidazolen. De spanningseigenschappen bij hoge temperaturen zijn uitzonderlijk goed; compressiesterkte 210 MPa bij een verwarming op 288°C gedurende 1000 uur. Ook bij nog hogere temperaturen blijft de sterkte bewaard; 210 Mpa bij 430°C gedurende 6 uur.

Polyfenyleen.

Polyfenyleen blijkt de grootste thermische stabiliteit te hebben van de familie van organische polymeren. Poly-p-fenyleen is stabiel tot 530°C. Deze materialen worden nog niet als lijm gebruikt maar zijn nog in ontwikkeling.

Polychloropreen-rubber (neopreen).

Type: Synthetische thermoplastische elastomeren.

Fysische vorm: Visceuze vloeistof bestaande uit polychloropreen-rubber in oplossing met toevoegingen. De lijm is wit, bruin of geel-bruin en kan transparant of ondoorschijnend zijn. De

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

laatst ontwikkeling is een polychloropreen-rubber latex-emulsie.

Houdbaarheid (20°C): 3 maanden tot 1 jaar in afgesloten pot.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Gelijk aan houdbaarheid indien er geen vochtverlies optreedt.

Assembleertijd (20°C): 10-20 minuten nat-hechten. Onbepaald indien gedroogde lijmvlakken worden opgeslagen en daarna oplos- of warmte- gereactiveerd.

Hechtingsproces: Verdampen van het oplosmiddel gevolgd door het assembleren van de plakkerige lijmvlakken of het warmte- of oplos-activeren van reeds gedroogde lijmvlakken.

Procescondities: Poreuze materialen; natte-hechting, het oplosmiddel migreert in het werkstukmateriaal. Poreuze materialen; de grote hoeveelheid oplosmiddel wordt verwijderd door verdamping met behulp van warmtetoevoer. Hierna worden de lijmvlakken geassembleerd en zachtjes aangedrukt gevolgd door harden gedurende 20 minuten bij 80°C en een druk van 390 kPa.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen water, zouten, biochemische afbraak, alifatische hydrocarbonaten, aceton en ethyl-alcohol, smeermiddelen, zwakke zuren en alkalies. Niet bestand tegen aromatische en gechloreerde hydrocarbons, bepaalde ketonen en sterk oxiderende stoffen.

Gebruikstemperatuur: Van -50°C tot 95°C.

Toepassingen: De lijm wordt algemeen toegepast voor een brede range van materialen; plastics, rubbers, leer en rubber met metaal, aluminium met staal, linoleum, textiel en hout. Deze lijm wordt bijvoorbeeld gebruikt in de automobiellndustrie voor het lijmen van rubbers, sierstrips, in de vliegtuigindustrie voor het lijmen van ge vulcaniseerd rubber met metaal en in de bouw voor het lijmen van gevelplaten en decoratieve kunststoffen.

Sterkte: Niet geschikt als constructielijm voor toepassingen met een schuifspanningen groter dan 2 MPa omdat er koude vloei op kan treden. Voor constructietoepassingen worden de neopreenrubberlijmen gemengd met synthetische harsen om de mechanische sterkte en de warmtestabiliteit te verbeteren. Voor sterkten zie tabel 8.

Resin component	Resin (phr)*	Peel strength (N/mm width)		Shear strength (MPa)	
		Cotton duck – mild steel	Cotton duck – cotton duck	Formica – mild steel	Formica – mild steel
Alkyl phenolic	20	2.8	7.5	2.05	3.06
	30	3.7	7.6	1.94	3.00
	40	4.1	8.7	2.20	3.20
	50	4.6	6.6	2.0	2.77
	100	5.7	6.3	1.42	1.85
Heat-reactive phenolic	20	2.8	6.4	2.34	2.15
	30	3.0	5.8	2.77	2.61
	40	4.0	6.2	2.23	3.60
	50	5.4	7.1	2.42	2.84
	100	4.6	6.4	2.02	2.14

* parts resin per hundred of rubber

tabel 8: Sterkte van neopreen-rubber.

Polyesters.

Polyesters bevatten een grote sortering van synthetische thermohardende en thermoplastische harsen met een breed toepassingsgebied. Afhankelijk van het voorkomen van een dubbele binding is een polyester verzadigd dan wel onverzadigd (met dubbele binding). Verzadigde polyesters worden niet als lijm gebruikt. Het gebruik van onverzadigde polyesters als lijm is beperkt voornamelijk door hun hoge kosten en de hoge krimp bij harden. Hieronder worden de onverzadigde polyesterlijmen beschreven.

Type: Synthetische thermohardende hars.

Fysische vorm: Hars in oplosmiddel met een hardener.

Houdbaarheid (20°C): 3 maanden tot onbepaald.

Bruikbaarheidsduur (20°C): 5 minuten tot 24 uur.

Assembleertijd (20°C): 5 minuten tot 1 uur.

Hechtingsproces: Co-polymerisatie van de hars en het oplosmiddel.

Procescondities: Afhankelijk van de formulering. Harden gedurende 5 tot 60 minuten bij 20-110°C en een druk tot 120 kPa. Met een katalysator toegevoegd gaat het harden nog sneller en is drogen niet nodig.

Duurzaamheid: Bestand tegen weersinvloeden, water, biochemische afbraak en normale temperaturen. De weerstand tegen vuur, temperaturen boven 100°C en bepaalde chemicaliën is slecht.

Toepassingen: Fabricage van glas-fiber composieten en het lijmen van keramiek, enige metalen en rubber. Allyl wordt gebruikt voor het lijmen van elektrische componenten en bijvoorbeeld alkyd voor het lijmen van elektromotoren en transformatoren. Beide hebben een goede elektrische isolatie.

Sterkte: Afhankelijk van de formulering kunnen schuifspanningen van 2 tot 22 MPa worden weerstaan.

Polysulfide (thiokol).

Type: Synthetische thermoplastische elastomeer.

Fysische vorm: Hoog-viskeuze vloeistof, twee-componentenlijm bestaande uit de samengestelde elastomeer en een hechtingsmiddel. Vaak met toevoegingen.

Houdbaarheid (20°C): Tot 6 maanden.

Bruikbaarheidsduur (20°C): 15 minuten tot enig uren na het mengen.

Assembleertijd (20°C): Binnen de bruikbaarheidsduur.

Hechtingsproces: Polymerisatie in een elastomeer met behulp van een katalysator (loodoxide).

Procescondities: Uitharden op kamertemperatuur. Na 3 tot 7 dagen wordt de volledige sterkte bereikt. Het aanbrengen gebeurt meestal met een lijmpistool. Het licht aandrukken is voldoende.

Duurzaamheid: Bestand tegen water, organische oplosmiddelen, vetten, oliën, zout, veroudering en weersinvloeden.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Gebruikstemperatuur: Van -62°C tot 70-94°C.

Toepassingen: Polysulfiden worden meer als afdichtingsmiddel en toevoeging (voor het kalken van muren) gebruikt dan als lijm. Toepassingen; het lijmen van perspex ramen met aluminium of stalen kozijnen in de vliegtuig en autoindustrie, voor het lijmen van instrumentenbehuizingen, benzinetanks, periscopen en elektrische componenten.

Sterkte: Afschuifspanning: 0,4-2 MPa.
Afpelspanning: 3,4-12 N/mm.

Polyurethaan.

Polyurethaanlijmen kunnen ingedeeld worden in drie klassen:

1. Oplosmiddel-gebaseerd.
2. waterige-dispersie (polyurethaan ionomeren).
3. Reactieproducten.

1. Oplosmiddel-gebaseerd.

Verkrijgbaar als één-component- en twee-componentenlijm. De formulering wordt gemaakt door reactieproducten van di-isocyanaten met polyester diolen en gemengd met ketonen.

Houdbaarheid (20°C): 3 tot 6 maanden.

Bruikbaarheidsduur (20°C): Open tijd 30 minuten of meer.

Assembleertijd (20°C): Binnen 30 minuten.

Hechtingsproces: Één-component; verwijderen van het oplosmiddel en uitharden bij kamertemperatuur. Twee-componenten; polymerisatie met katalysator.

Procescondities: Contact-hechten van de plakkerige lijmvlakken gevolgd door het verwijderen van het oplosmiddel (lage kristaliniteit) of warmte-reactivering van de gedroogd lijmvlakken (hoge kristaliniteit).

Eigenschappen: Zie tabel 9.

Toepassingen: Één-componentlijmen worden hoofdzakelijk in de schoenenindustrie gebruikt voor het lijmen van PVC-laarzen. De twee-componentlijmen worden gebruikt voor het lijmen van kunststoffen, urethaanschuim, textiel, verbinden van aandrijfriemen, polyester film op elektrische componenten voor isolatie.

<i>Property</i>	<i>Medium crystallinity (500 MPa.s)</i>	<i>High crystallinity (1300 MPa.s)</i>
Hardness (Shore A)	90	100
Elongation (%)	680	650
300% modulus (MPa)	3-2	9
Tensile strength (MPa)	22	47
Peel strength from polyvinyl chloride for 1 kg/inch (25.4 mm) ASTM-D816 after 1 wk.	0.9 (200 MPa.s) to 2.7 (500 MPa.s)	3.5-7

tabel 9: Eigenschappen van polyurethaan (oplosmiddel gebaseerd).

2. Waterige dispersie.

Één-componentlijm, op water gebaseerd urethaanverbinding welke gemaakt wordt door de reactie van isocyanaat pre-polymeer en een diamine-carboxylaat of -sulfonaat in een watervrij oplosmiddel.

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

Het gevormde polyurethaan ionomeer in waterige dispersie wordt ontdaan van het oplosmiddel door distillatie.

Houdbaarheid (20°C): Tot 1 jaar.

Hechtingsproces: Hechten door verwijderen van water bij kamertemperatuur.

Procescondities: Natte hechting van de werkstukken als één van de werkstukken poreus is of het drogen van de lijmlaag en daarna warmte-activeren en contact-hechten onder druk (3,5 kPa).

<i>Property</i>	<i>Low crystallinity (50 w/w solids)</i>	<i>High crystallinity (40 w/w solids)</i>
Hardness (Shore A)	46	93
Elongation (%)	850	610
300% modulus (MPa)	3	10
Tensile strength (MPa)	11	48
Peel strength from polyvinyl chloride for 1 kg/inch (25·4 mm) ASTM-D816 after 1 wk. softening point (°C)	9 to 27	36 to 60
	130	90

Eigenschappen: Zie tabel 10.

Toepassingen: Ter vervanging van organische lijmen; polyurethaan in deze vorm is goedkoper, niet giftig en onbrandbaar. Hoofdzakelijk toegepast voor het lijmen van plastics, rubbers en wordt gebruikt als toevoeging in andere lijmen.

tabel 10: Eigenschappen van polyurethaan (waterige dispersie).

het lijmen van plastics, rubbers en wordt gebruikt als toevoeging in andere lijmen.

3. Reactieproducten.

Fysische vorm: Één-component en twee-componentenlijmen in de vorm van hoog viskeuze vloeistoffen.

Houdbaarheid (20°C): Tot 1 jaar in afgesloten pot.

Hechtingsproces: Één-component; hard uit door de vochtigheid in de lucht. Twee-componenten; harden uit bij kamertemperatuur, dit kan versneld worden door een katalysator.

Procescondities: Één-component; verwijderen van het oplosmiddel indien dit aanwezig is (meestal niet), de meeste zijn (semi)hot-melt types met een smeltemperatuur van 90°C en worden aangebracht met een roller. Het uitharden duurt enige dagen.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen water en de meeste chemicaliën, oplosmiddelen, oliën, vetten, zouten, ozon, straling, biochemische afbraak en weersinvloeden. Goede elektrische isolatie.

Gebruikstemperatuur: Van -200°C tot 177°C. Excellente afschuifsterkte tot -200°C.

Toepassingen: Één-componenten worden gebruikt voor het lamineren van plastics films (polyamides, polyesters, cellofaan, polyolefinen) voor flexibele verpakkingsmaterialen. Twee-componentenlijm wordt gebruikt voor dikke lijmnaden (goede vuleigenschappen) bij constructie en niet-constructietoepassingen over een breed gebied; brandstof- en oliefilters, gevelplaten, bedrijfsvloeren en het lijmen van metaal met plastic in auto's.

Sterkte: Afschuifspanning: Staal; 30 (-200°C), 8 (25°C) MPa.

Trekspanning: Staal; 50 (-200°C), 8 (25°C) MPa, aluminium; 60 (-200°C), 16 (25°C) MPa.

Afpelspanning: 2-7 N/mm.

Opmerkingen: Duur, giftig, gevaar voor de huid.

Polyvinyl-acetal.

Deze thermoplastische synthetische harsen zijn de produkten van de reactie tussen polyvinyl-alcohol en aldehydes. De belangrijkste zijn formaldehyde (polyvinyl-formal) en butyraldehyde (polyvinyl-butylal) welke beperkt gebruikt worden als lijmen. De eerste wordt gebruikt voor het lijmen van hout, metaal en elektrische draden. De tweede wordt gebruikt voor het lijmen van veiligheidsglas omdat de transparantie en de ongevoeligheid voor zonlicht zeer goed is, evenals de afpelsterkte en de flexibiliteit. Afschuifspanning: Aluminium; 4-22 MPa, afhankelijk van de lijmsamenstelling.

Resorcinol-formaldehyde en fenol-resorcinol-formaldehyde.

Type: Synthetische thermohardende harsen.

Fysische vorm: Rood-bruine hars en een harder (vloeibaar of poeder), eventueel een toevoeging.

Houdbaarheid (20°C): 1 jaar, poeder; onbepaald.

Bruikbaarheidsduur (20°C): 3-4 uur, 1 uur bij 38°C.

Assembleertijd (20°C): 30 minuten tot 2 uur.

Hechtingsproces: Condensatie polymerisatie met verwijdering van water.

Procescondities: Voor algemene toepassingen; uitharden 4-8 minuten bij 100°C of 8-10 uur bij 20°C en een druk van 350-1000 kPa. Voor hout; (hardhout) 8-15 uur bij 20-40°C en 1000 kPa, (zacht-hout) 8-15 uur bij 20-40°C en 700 kPa. De vochtigheid van het hout mag niet meer dan 15% bedragen. Plastics dienen bij het uitharden niet zacht te worden (harden bij lagere temperaturen), de druk varieert van contact tot 350 kPa. De perstijd neemt af bij hogere temperaturen; 1 uur bij 45°C tot 3 minuten bij 90°C.

Duurzaamheid: Vergelijkbaar met warm-hechtende fenol-lijmen. De weerstand tegen zware weersinvloeden, vochtigheid, kokend water en biochemische afbraak is formidabel.

Toepassingen: Voor het lijmen van multiplex voor buitengebruik, scheepsconstructies en andere maritieme constructies en voor houten constructies zoals daken, bruggen en skeletbouw. Verder voor het lijmen van metaal met hout en voor het lijmen van acryl, polyamide en fenol-plastics.

Siliconen.

Siliconen zijn semi-anorganische polymeren die vloeibaar, elastomeer of een hars zijn, afhankelijk van het type organische groepen op de silicium-atomen en de mate van cross-linking. Siliconen worden niet veel als constructielijm gebruikt maar meer als toevoeging in andere lijmen (epoxy- en fenol-lijmen) om de warmtestabiliteit te verbeteren.

Siliconen-harsen.

Fysische vorm: Waterige, aromatische, vloeibare oplossing. De kleur is wit tot geel-wit.

Houdbaarheid (20°C): Meer dan 6 maanden.

Procescondities: Druk-gevoelige tape; Oplosmiddel verwijderen door 15 tot 30 minuten te drogen bij 70-100°C. De lijmvlaak wordt plakkerig welke via contact-hechting op een ander

CONSTRUCTIELIJMSOORTEN

lijmvlak geplaatst kan worden zonder verdere behandeling. Sommige tape-grondmaterialen (anders dan glas-vezel) moeten eerst geprimered worden. Voor normale lijmtoeepassingen; drogen met lucht gevolgd door 1 uur verwarmen bij 100°C om het oplosmiddel te verwijderen en dan 1 uur uitharden bij 250°C.

Duurzaamheid: Goede weerstand tegen vochtigheid, weersinvloeden, zonlicht, ozon, biochemische afbraak, hitte, oxydatie, vele oliën en chemicaliën. De weerstand tegen organische oplosmiddelen is slecht. De diëlektrische weerstand is groot.

Gebruikstemperatuur: Van -60°C tot 250°C.

Toepassingen: Voor de fabricage van drukgevoelige tape. Deze tape wordt gebruikt voor het lijmen van elektrische spoelen, mica met asbest. De normale lijm wordt gebruikt voor het lijmen van magnesium.

Sterkte: Afpelspanning: 1 (-70°C), 1 (-20°C), 0,5 (100°C), 0,45 (200°C), 0,35 (254°C) N/mm.

Siliconen-rubbers.

Fysische vorm: Oplossingsmiddel-vrije witte pasta als één-component of twee-componentenlijm.

Houdbaarheid (20°C): 6 tot 12 maanden.

Procescondities: Één-component; hard uit op kamertemperatuur bij blootstelling aan de luchtvochtigheid. De lijmlagen (0,6 mm) harden in 90 minuten terwijl dikke lijmlagen (13 mm) 7 dagen nodig hebben. Twee-componenten; harden uit door katalytische reactie. Enige typische gegevens; 1% katalysator: houdbaarheid; 10 uur, bruikbaarheidsduur; 65 uur, uithardingstijd; 1 week en bij 5% katalysator: houdbaarheid; 3 uur, bruikbaarheidsduur; 22 uur, uithardingstijd; 1 week.

Duurzaamheid: Hoge weerstand tegen vochtigheid, heet water, oxydatie, ozon, weersinvloeden en vele chemicaliën. Uitgeharde flexibele silicone elastomeren (silastomeren) zwellen bij de aanwezigheid van hydrocarbonate oplosmiddelen en brandstoffen.

Gebruikstemperatuur: Van -75°C tot 250°C.

Toepassingen: Algemeen gebruikt voor het afdichten en lijmen van elektrische en mechanische assemblages, lasnaden in auto's, voor het lijmen van metaal, glas, keramiek, hout en plastics, voor het isoleren van elektrische kabels. Uitermate geschikt voor het lijmen van fluorsilicone met elk schoon oppervlak.

Sterkte: Afschuifspanning: Staal; 1-1,7 MPa, aluminium; 1,2-2 MPa.
Afpelspanning: 1,7-3,2 N/mm.

Thermoplastische harsen (de rest).

De meeste thermoplastische lijmen zijn al beschreven. Enige andere lijmen van dit type vinden toepassing in specifieke gevallen. Hieronder zijn deze lijmen in het kort beschreven.

Coumaron-indeed.

Fysische vorm: Aromatische vloeibare oplossing.

Eigenschappen: Vormt stijve, taai films die zachter worden bij hogere temperaturen. Bestand tegen water en alkalies maar niet tegen oliën en vetten. De bindingssterkte is laag.

Toepassingen: Lijmen van hout, weefsels en vilt. Component in hot-melt lijmen. Wordt meer als toevoeging gebruikt dan als lijm.

Shellac.

Fysische vorm: Alcoholische, vloeibare oplossing of hot-melt kneedmassa.

Eigenschappen: Goede elektrische isolatie. Zeer inflexibel. Bestand tegen water oliën en vetten.

Wordt zacht door verwarming en is onoplosbaar in vele oplosmiddelen. De bindingssterkte is matig.

Toepassingen: Poreuze materialen, metaal, keramiek, kurk en mica. Wordt gebruikt als afdichtmiddel, als hot-melt component en als lijm. Wordt het meest gebruikt in de elektronica industrie. Is vrij duur.

Hars (colofony; hars van dennebomen).

Fysische vorm: Vloeibare oplossing of hot-melt kneedmassa.

Eigenschappen: Slechte weerstand tegen oplosmiddelen en oliën, goede weerstand tegen water. Kan oxyderen en heeft last van ouderdomsverschijnselen. De bindingssterkte is matig.

Toepassingen: Papier, component voor lijmen gebaseerd op styreen-butadieen en component voor hot-melt lijmen.

Bitumen (inclusief asfalt).

Fysische vorm: Waterige emulsie, hot-melt of vloeibare oplossing.

Eigenschappen: Donker gekleurde materialen met slechte sterkte-eigenschappen. Afhankelijk van de samenstelling zacht en plakkerig of hard en bros. Bestand tegen water, zuren en alkalies maar niet tegen oliën en vele oplosmiddelen. Slechte bestand tegen hoge (boven 45°C) en lage temperaturen.

Toepassingen: Beton, glas, vilt, papier, tegels, waterbestendig maken van muren, wegen. Hot-melt component. Geschikt voor lage spanningen waar duurzaamheid is gewenst.

LITERATUUR.

- Bragt, J.M. van; Projectstrategie in de innovatie.
Eindhoven, Technische Universiteit, 1987.
- Defrayne, Garry; High performance adhesive bonding.
Dearborn, Michigan, Society of Manufacturing Engineers, 1983.
- DIN 8580; Fertigungsverfahren, Einteilung.
- DIN 8593, teil 8; Fertigungsverfahren Fügen; Kleben.
- DIN 16920; Klebstoffe; Klebstoffverarbeitung, Begriffe.
- Fauner, Gerhard, Endlich, Wilhelm; Angewandte Klebtechnik.
München, Hanser-Verlag, 1979.
- Habenicht, Gerd; Kleben, Grundlagen, Technologie, Anwendungen.
Berlin, Springer-Verlag, 1986.
- Johnson, W.S.; Adhesively bonded joints.
Philadelphia, ASTM, 1988.
- Kinlock, A.J.; Adhesion and adhesives, science and technology.
Cambridge, University press, 1987.
- Lees, W.A.; Adhesives in engineering design.
Londen, Springer-Verlag, 1984.
- Mittal, K.L.; Adhesion measurements, recent progress.
In: Adhesin measurements of thin films, thick films and bulk coatings.
Philadelphia, ASTM technische publikatie, 1976.
- Odendaal, J.H.; Fysische bewerkingen en verbindingstechnieken.
Eindhoven, Technische Universiteit, dictaat 4512, 1986. Vijfde druk.
- Satas, Don; Handbook of pressure-sensitive adhesive technology.
Ontario, Van Nostrack Reinhold, 1982.
- Schliekelmann, R.J.; Gelijmde metalen constructies.
Amstelveen, Agon Elsevier, 1970.
- Schneberger, Gerald L.; Adhesives in manufacturing.
New York, Marcel Dekker, 1983.
- Schouten, E.A., Vegt, A.K. van der; Plastics.
Overberg, Delta press, 1988. Achtste druk.
- Shields, John; Adhesives handbook.
Londen, Butterworths, 1984. Third edition.
- Swaray, Paul; Surface coatings.
New York, John Wiley and sons, 1986.

Bijlage 1: PROJECTSTRATEGIE.

De methode.

Een project bestaat uit een geheel van besluiten en activiteiten die ten doel hebben een van te voren globaal gedefinieerd resultaat op een van te voren vastgesteld tijdstip te verwezenlijken. Projectstrategie is een methode om een project systematisch te benaderen. [Zie Van Bragt 1987]. Het project wordt in hanteerbare stukken verdeeld volgens de drieslag Oriëntatie - Plan - Uitvoering (O-P-U). Elke deelstap kan weer met dezelfde driedeling benaderd worden. Deze onderverdeling wordt voortgezet totdat er handelbare onderdelen overblijven. Binnen een vooraf gestelde tijd laten deze deelprocessen zich oplossen, waarna het resultaat wordt getoetst. De toets wijst uit of het volgende deelproces aangepakt gaat worden, het betreffende deelproces opnieuw gedaan moet worden vanwege een niet voldoende resultaat of dat het project door een bepaalde oorzaak wordt gestaakt.

De toepassing.

Deze Literatuuropdracht is met behulp van de projectstrategie gemaakt. De toepassing is hieronder beschreven.

Projectstrategie bij de literatuurstudie constructielijmen.

ORIËNTATIE

Oriëntatie	Lezen en begrijpen van de opdracht.
Plan	Opdracht bestuderen. Informatie inwinnen: - Waar: - Literatuur zoeken: - Bibliotheek. - Diktaten. - Informeren bij gebruikers. - Informeren bij fabrikanten. - Wat: - Lijm. - Lijmen. - Lijmverbindingen. Tijdsplanning maken.
Uitvoering	Inzicht verkrijgen in de mogelijkheden van de informatiebronnen. Zoeken van relevante informatie.

PLAN

Oriëntatie	De gevonden informatie globaal bestuderen en sorteren.
------------	--

PROJECTSTRATEGIE

Waar moet de nadruk op komen te liggen:

- Werktuigbouwkunde of scheikunde.
- Constructielijmen of lijmconstructies.

Plan Nadruk op werktuigbouwkundige benadering van constructielijmen.
Bepalen van de inhoud van het rapport (de te behandelen onderwerpen).
Zoeken van de juiste literatuur voor elk onderwerp.
Bij eventueel onvoldoende informatie uit de in de oriëntatie gevonden literatuur, dient er naar andere literatuur gezocht te worden.

Uitvoering Vaststellen van de inhoud van het rapport.
Zoeken van de juiste literatuur.
Vergelijken van de in de literatuur gevonden gegevens.

UITVOERING

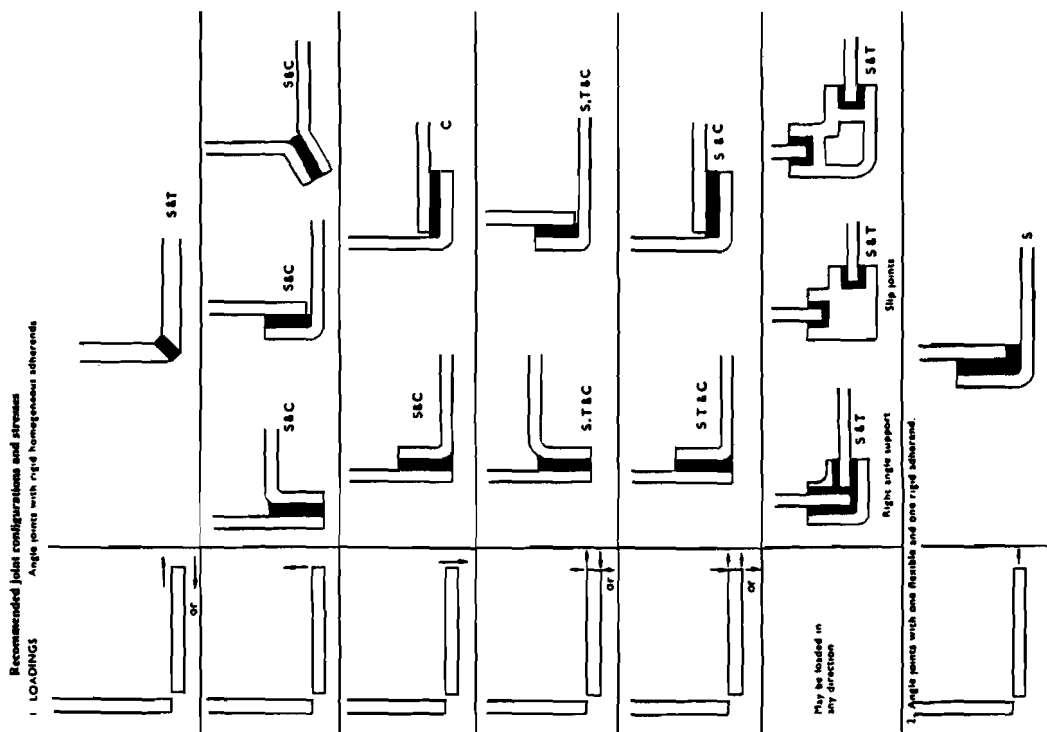
Oriëntatie Bepalen van de volgorde van de te behandelen onderwerpen.
Vaststellen van de uitvoeringsvorm van het rapport.

Plan Direkt invoeren in de computer.
Volgorde: - Lijm.
- Lijmproces.
- Lijmsoorten.

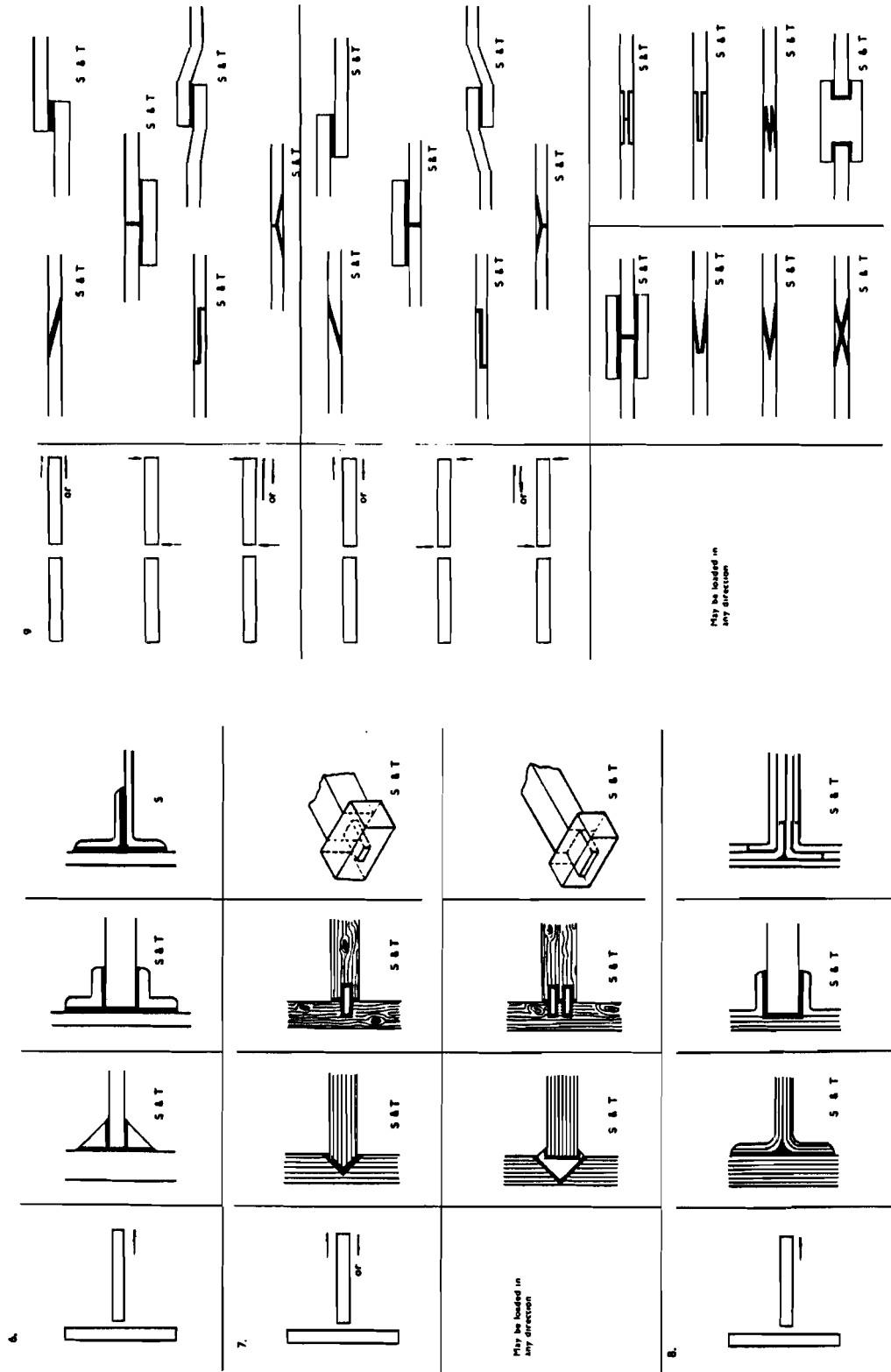
Uitvoering Schrijven van rapport.
Printen verslag en kopiëren van figuren.
Samenstellen.
Laten inbinden.
Inleveren.

Bijlage 2: VOORBEELDEN VAN LIJMCONSTRUCTIES.

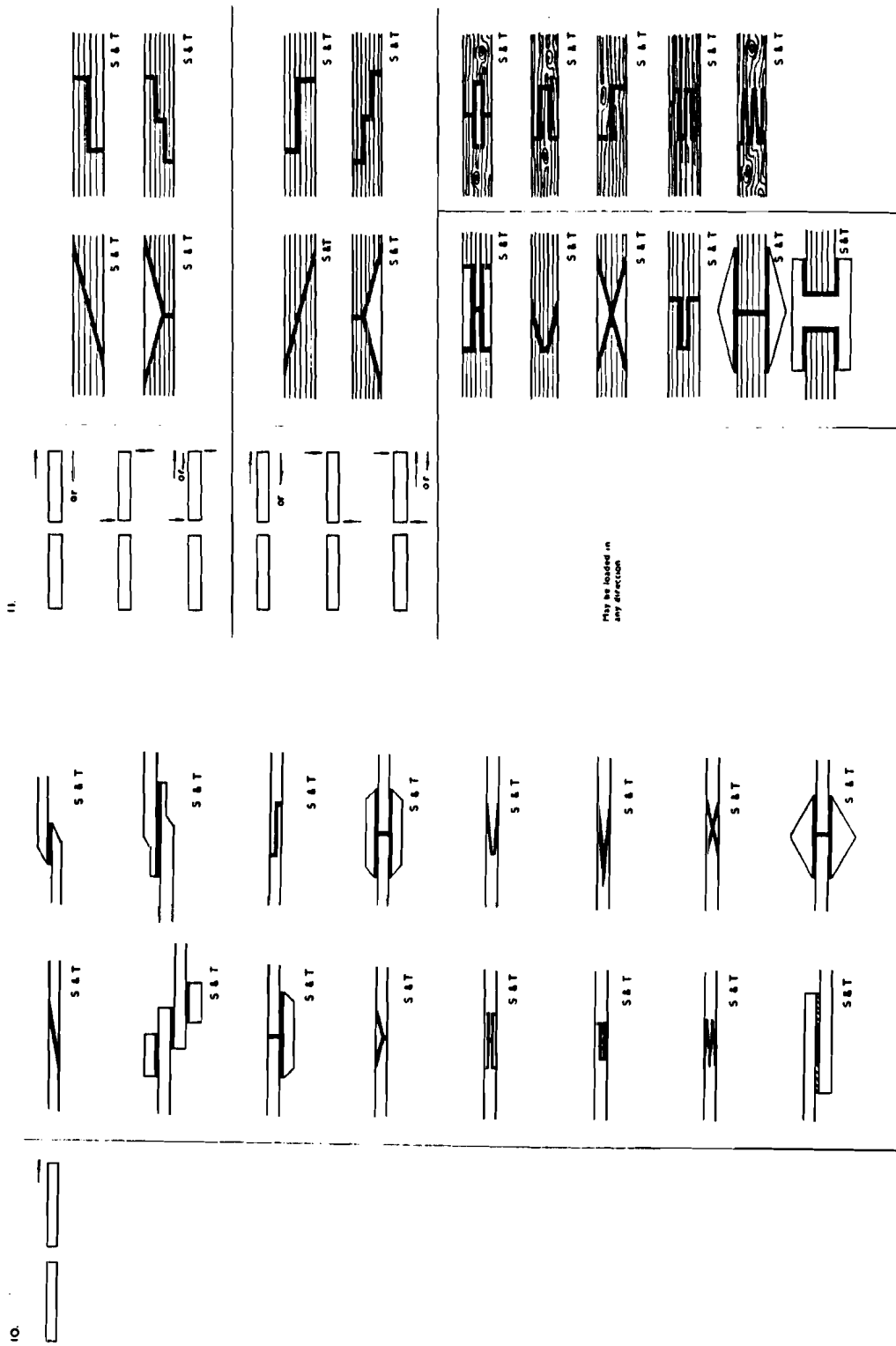
- S = Schuifspanning
- T = Trekspanning
- P = Afpelspanning
- C = Splitspanning



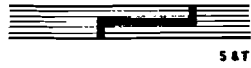
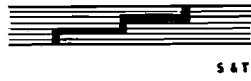
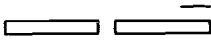
VOORBEELDEN VAN LIJMCONSTRUCTIES



VOORBEELDEN VAN LIJMCONSTRUCTIES

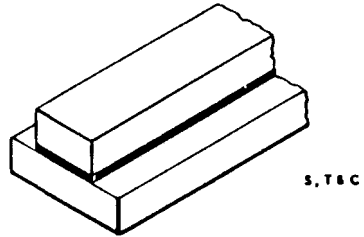


12.

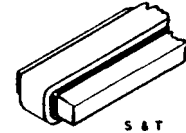
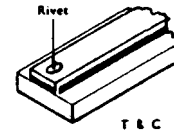
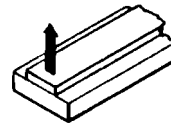
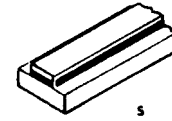
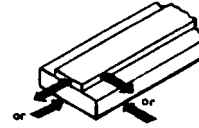


13.

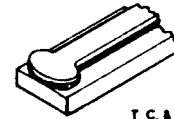
May be loaded in any direction



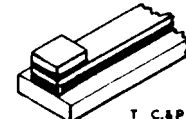
14



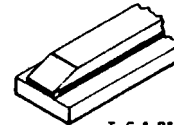
Bead end



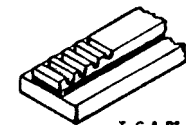
Increase width



Increase stiffness



T, C, & P*



T, C, & P*

Thinned ends

*of low magnitude

These last two designs should only be used where load is not concentrated near the free end.

Bijlage 3: LIJMWERKSTUK-MATERIALEN.

Niet alle vermelde lijmsorten zijn behandeld. Voor meer informatie zie literatuur.

Material	Adhesive	Material	Adhesive
Acrylonitrile butadiene styrene	Polyester Epoxy Alpha-cyanoacrylate Nitrile-phenolic Acrylics	Polycarbonate	Polyesters Epoxy Alpha-cyanoacrylate Polyurethane rubber Acrylics
Aluminum and its alloys	Epoxy Epoxy-phenolic Nylon-epoxies Polyurethane rubber Polyesters Alpha-cyanoacrylate Polyamides Polyvinyl-phenolic Neoprene-phenolic Acrylics	Polyester, glass- reinforced	Polyester Epoxy Polyacrylates Nitrile-phenolic Acrylics Urethanes
Brick	Epoxy Epoxy-phenolic Polyesters	Polyethylene (surface-treated)	Polyester, isocyanate-modified Butadiene-acrylonitrile Nitrile-phenolic Acrylics
Ceramic	Epoxy Cellulose esters Vinyl chloride-vinyl acetate Polyvinyl butyral Acrylics	Polyethylene- terephthalate	Urethanes Polyesters
Chromium	Epoxy	Polyformaldehyde	Polyester, isocyanate-modified Butadiene-acrylonitrile Nitrile-phenolic Acrylics
Concrete	Polyesters Epoxy	Polymethacrylate	Epoxy Alpha-cyanoacrylate Polyester Nitrile-phenolic
Copper and its alloys	Polyesters Epoxy Alpha-cyanoacrylate Polyamide Polyvinyl-phenolic Polyhydroxyether Acrylics	Polyphenylene oxide	Epoxy Acrylics
Fluorocarbon (surface-treated)	Epoxy Nitrile-phenolic Silicone Acrylics	Polypropylene (surface-treated)	Polyester, isocyanate-modified Nitrile-phenolic Butadiene-acrylonitrile Acrylics
Glass	Epoxy Epoxy-phenolic Alpha-cyanoacrylate Cellulose esters Vinyl chloride-vinyl acetate Polyvinyl butyral Acrylics	Polystyrene	Vinyl chloride-vinyl acetate Polyesters
Lead	Epoxy Vinyl chloride-vinyl acetate Polyesters Acrylics	Polyvinyl chloride, flexible	Butadiene-acrylonitrile Polyurethane rubber
Leather	Vinyl chloride-vinyl acetate Polyvinyl butyral Polyhydroxyether Polyvinyl acetate Flexible adhesives	Polyvinyl chloride, rigid	Polyesters Epoxy Polyurethane Epoxy Butadiene-acrylonitrile Urethane rubber
Magnesium	Polyesters Epoxy Polyamide Polyvinyl-phenolic Neoprene-phenolic Nylon epoxy	Rubber, butadiene- styrene	Epoxy Flexible adhesives
Nickel	Epoxy Neoprene Polyhydroxyether	Rubber, natural	Epoxy Flexible adhesives
Paper	Animal glue Starch glue Urea-, melamine-, resorcinol-, and phenol-formaldehyde Epoxy Cellulose esters	Rubber, neoprene	Epoxy Flexible adhesives
Paper	Vinyl chloride-vinyl acetate Polyvinyl butyral Polyvinyl acetate Polyamide Flexible adhesives	Rubber, silicone	Silicone
Phenolic and melamine	Epoxy Alpha-cyanoacrylate Flexible adhesives Acrylics	Rubber, urethane	Flexible adhesives Silicone Alpha-cyanoacrylate
Polyamide	Epoxy Flexible adhesives Phenol- and resorcinol- formaldehyde Polyester Acrylics	Silver	Epoxy Neoprene Polyhydroxyether Acrylics
		Steel	Epoxy Polyesters Polyvinyl butyral
		Steel	Alpha-cyanoacrylate Polyamides Polyvinyl-phenolic Nitrile-phenolic Neoprene-phenolic Nylon-epoxy Acrylics
		Stone	See brick
		Tin	Epoxy
		Wood	Animal glue Polyvinyl acetate Ethylene-vinyl acetate Urea-, melamine-, resorcinol-, and phenol-formaldehyde
		Zinc	Polyulfides Acrylics Epoxy Polyesters

Bijlage 4: BASIS-EIGENSCHAPPEN VAN LIJMSOORTEN.

Niet alle vermelde lijmsorten zijn behandeld. Voor meer informatie zie literatuur.

Physical form	Processing					Resistance ratings																												
	Solid	Film	Paste	Liquid	Emulsion/dispersant	Solvent release	Fusion on heating	Chemical reaction	Cured at room temp	Cured at 65-140°C	Cured at 170-180°C	Cured at +200°C	Vulcanized	Bonding pressure necessary	Bonding pressure unnecessary	KEY: Excellent (e); Good (g); Moderate (m); Fair (f); Poor (p)	Adhesive type	Hot	Cold	Water (hot)	Water (cold)	Abrasion	Hydrocarbons (aliphatic)	Hydrocarbons (aromatic)	Hydrocarbons (chlorinated)	Mineral oil/greases	Ketones	Esters	Alkalis	Alkalies	Biodegradation	Peel stress	Shear stress	
Random rubber	x																Random rubber	m	m	s	s	p	p	p	p	p	p	f	e	f	e	f		
Butyl rubber	x																Butyl rubber	p	p	s	s	p	p	p	p	p	p	f	e	f	e	f		
Polyisobutylene rubber	x																Polyisobutylene rubber	p	p	s	s	p	p	p	p	p	p	f	e	f	e	f		
Nitrile rubber	x																Nitrile rubber	m	f	s	s	p	p	p	p	p	p	f	e	f	e	f		
Polyisoprene rubber	x																Polyisoprene rubber	f	m	s	s	p	p	p	p	p	p	f	e	f	e	f		
Butadiene styrene rubber	x																Butadiene styrene rubber	f	f	m	s	p	p	p	p	p	p	f	e	f	e	f		
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p	s	p	p	p	p	p	p	s	e	e	e	e	m	
Polyurethane rubber	x																Polyurethane rubber	p	f	p														