

# PDFs van de website 3

## Lijmen & Hechting

De wondere wereld van lijmen en hechten



gecertificeerde  
NLT module  
voor havo

# **Praktische ervaringen met lamineren van hout voor bouwkundige toepassingen**

**Bert Brinks**

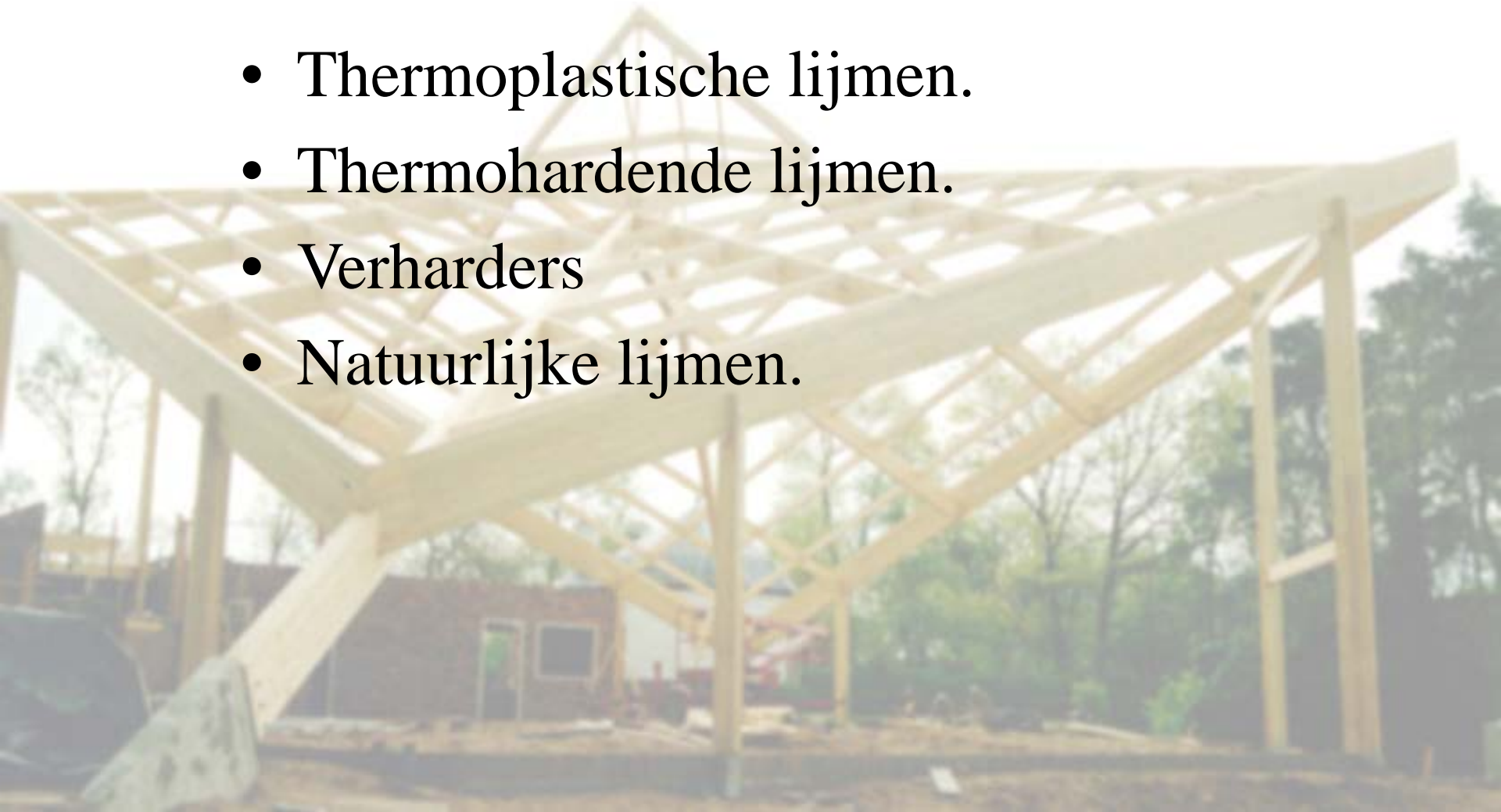
**De Groot Vroomshoop  
Huisvester en Toelieferancier**

# Lamineren van hout.

- Historie van het lamineren.
- Waarom lamineren ?
- Afmetingen.
- Sterkte en stijfheid.
- Vormstabiliteit.
- Vormgeving.

# Welke lijmen?

- Thermoplastische lijmen.
- Thermohardende lijmen.
- Verharders
- Natuurlijke lijmen.



# Welke houtsoorten?

- Naaldhoutsoorten.
- Loofhoutsoorten.

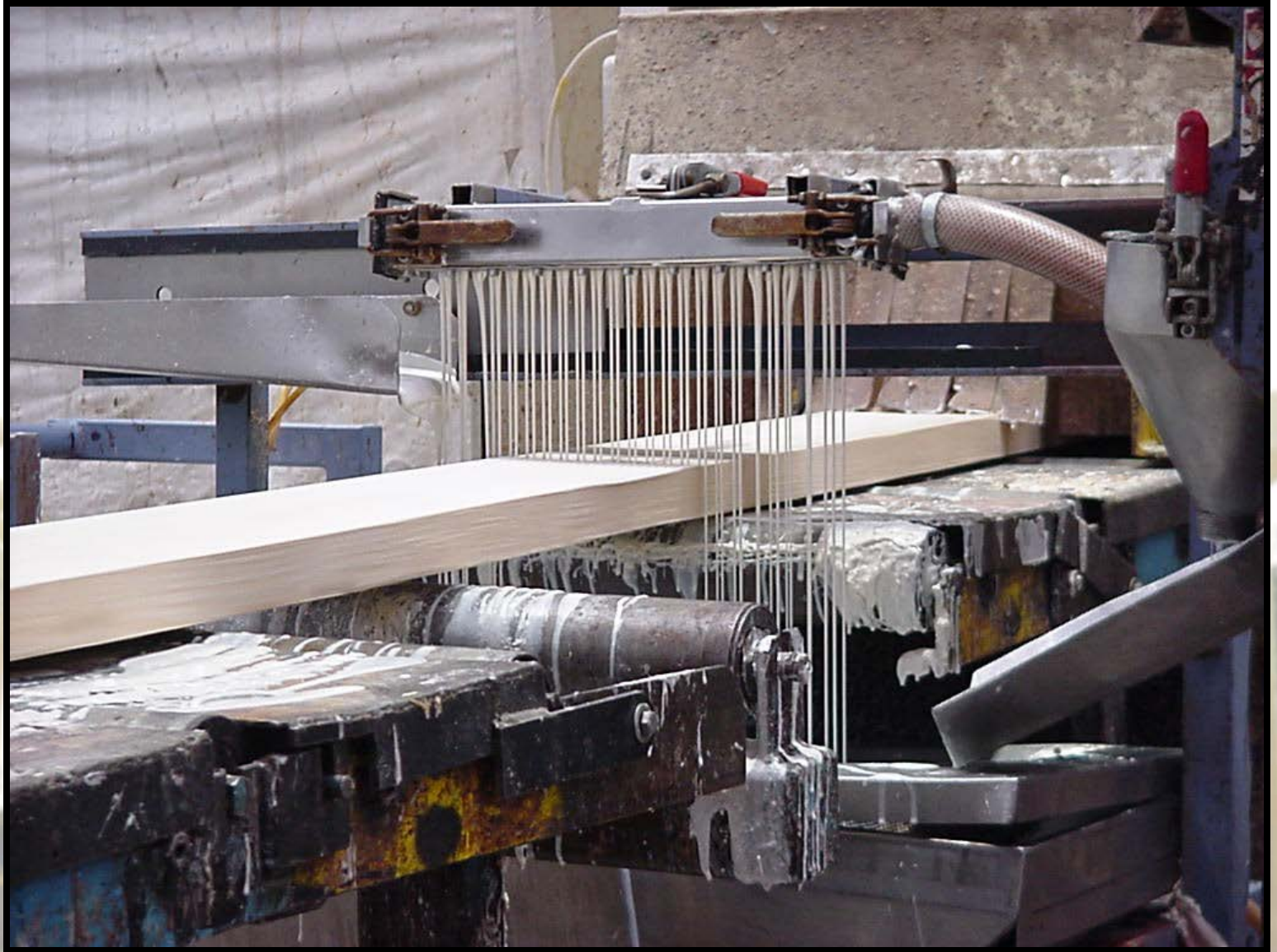


# Regelgeving.

- Houtnormen.
- NEN normen.
- Sterkteklassen.
- BRL's en NPR's.
- EN normen.
- Lijm normen.
- BRL lijmen.
- SKH publicaties.
- EN normen.

# Hout en lijm.

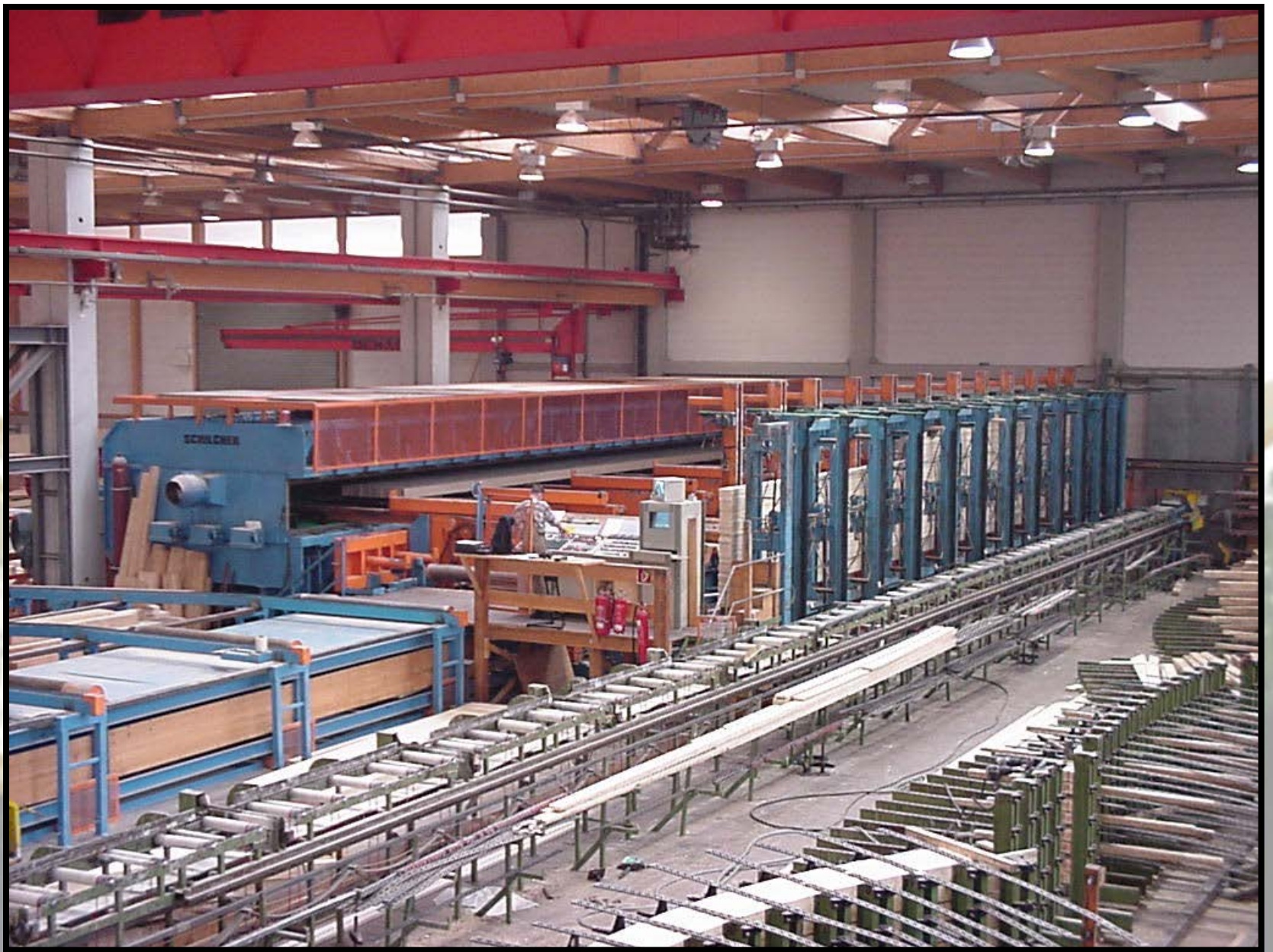
- Mechanische verankering.
- Intermoleculaire krachten.
- Conditie contactvlakken.
- Lijmvoeg.
- Vocht onttrekken.
- Inhoudstoffen.
- Ph waarde hout en lijm





# Productie.

- Drogen van hout.
- temperatuur en RV in de productieruimte.
- Schaven.
- Lijm opbrengen.
- Potlife.
- Persen.
- Uitharden en perstijd.

















# Houten wegportalen voor RWS.

- Waarom houten portalen.
- Welke randvoorwaarden.
- Hoe is de vorm ontstaan.
- Hoe maken?? Bouw van een prototype.
- Houtsoort en kwaliteit.
- Lijmsoort.
- Kwaliteitsborging.

# Houten wegportalen.

- Productie van de koker en de kolommen.
- Hout sorteren.
- Vingerlassen en lamineren segmenten.
- Schaven en vorm van de segmenten.
- Lijmen van de segmenten.
- Persen en togen van de segmenten.
- Uitharden van de lijm.
- Nabewerking van de lijmvoegen.









# Houten wegportalen.

- KOMO / SKH, certificering.
- Afwijkingen van de regelgeving.
- Controle op de productie.
- Testen van de lijmvoegen door SHR.

# Laminieren van geplatoneerd hout.

- Wat is geplatoneerd hout.
- Waarom moeilijk te laminieren.
- Vocht en vaste stoffen.
- Lijmkeuze en andere randvoorwaarden
- Toevoegen van warmte middels HF energie.
- Andere verharders.
- Perstijd



# Testen van geplatoniseerd hout.

- Klooftesten.
- Delaminatie testen.
- IFT testen.
- Buigproeven op vingerlassen.

# Plakken of lamineren.

- Als het plakt dan lijkt het aan elkaar vast te blijven zitten.
- Als het echt vast zit is het gelamineerd



**De Groot**

Postbus 31

7680 AA Vroomshoop

Tel. 0546 - 64 18 45

Fax. 0546 - 64 38 35

## RECTAVIT 210 Witte houtlijm

Snel afbindende witte houtlijm op basis van synthetische harsen

### TOEPASSINGEN

- Voor verlijming van fineer en kunststofplaten op spaanderplaat, meubelplaat, multiplex; voor pen- en gatverbindingen versterkt door drevels of zwaluwstaarten.
- Voor verlijmingen van hard hout en van exotische houtsoorten.

### EIGENSCHAPPEN

Gebruiksklare, sneldrogende dispersielijm • grote eindsterkte • transparant na droging • goede bestendigheid tegen luchtvochtigheid

### GEBRUIKSAANWIJZING

Het te verlijmen materiaal moet droog, schoon en stofvrij zijn. De lijm aanbrengen en binnen de open tijd op elkaar brengen en persen. Het vochtgehalte van het hout moet tussen de 8 - 12% liggen.

### TECHNISCHE GEGEVENS

- Viscositeit : dik vloeibaar
- Vorm : dik vloeibaar
- Geur : nihil
- Kleur : wit
- Dichtheid : ong. 1.1
- Open tijd : ca. 8 minuten.
- Persdruk :
  - bij vlakke materialen : 1 à 2 kg/cm<sup>2</sup> (bv. voor fineerwerk)
  - bij minder vlakke materialen : 3 à 5 kg/cm<sup>2</sup> (bv. voor constructiewerk)
- Perstijd : afhankelijk van verschillende factoren : hoeveelheid aangebrachte lijm per m<sup>2</sup>, temperatuur, vochtgehalte van het hout, absorberingsvermogen van het hout, tijd waarbinnen verdere bewerkingen moeten plaatsvinden
- Reinigingsmiddel : water toevoegen van water als verdunningsmiddel, zal de droogtijd van de lijm merkkelijk doen toenemen
- Verbruik :
  - op ruwe oppervlakken (grof geschuurd en hardboard - rugzijde) : 200 à 250 g/m<sup>2</sup>
  - op gladde oppervlakken (geschaafd of fijn geschuurd) : 125 à 175 g/m<sup>2</sup>
- Verwerkingstemp. : min. +6°C
- Vochtbestendigheid : norm D2 EN 204

## VEILIGHEIDSVOORSCHRIFTEN

Veiligheidsinformatieblad : beschikbaar op aanvraag

## TRANSPORT EN OPSLAG

Transport : geen beperkingen

Houdbaarheid : in gesloten en intact gebleven verpakking, onder normale omstandigheden : 1 jaar

## VERPAKKINGEN

250 g – 500 g – 750 g – 5 kg – 10 kg – 25 kg

De gegevens op dit documentatieblad zijn volgens de laatste stand van de labogegevens samengesteld. Technische karakteristieken kunnen aangepast of veranderd worden. De gebruiker dient zich ervan te vergewissen te beschikken over het meest recent technisch infoblad. Er wordt geen aanspraak gemaakt op volledigheid. Daar de toepassing, de hoedanigheid van de ondergrond en van de omstandigheden bij verwerking buiten onze beoordeling vallen, kan geen aansprakelijkheid aanvaard worden op grond van dit technisch infoblad.

## Soldeerprocessen voor dunne plaat en buis

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van de diverse soldeerprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast de algemene publicatie (TI.03.13) tevens drie andere verbindingstechnieken behandelen, zoals lassen (TI.03.14), lijmen (TI.03.15) en mechanisch verbinden (TI.03.16).

### Inhoud

1	Inleiding	1
2	Indeling soldeerprocessen	1
3	Kenmerken van het solderen	2
4	Toepasbaarheid van het solderen	2
5	Apparatuur ten behoeve van het solderen	3
6	Voorbehandeling en voorbereiding	4
7	Soldeertechnisch construeren	4
8	Soldeerdetails	5
9	Solderen van dunne materialen	6
10	Soldeermaterialen	7
11	Activeren en beschermen van het te solderen oppervlak	7
12	Automatisering van het solderen	8
13	Kwaliteitsaspecten bij het solderen	9
14	Nabehandeling en nabewerking	9
15	Economische aspecten van het solderen	10
16	Arbo- en milieuaspecten van het solderen	10
17	Normering	11

### 1 Inleiding

Bij de afweging van de keuze van een geschikte verbindingstechniek voor dunwandige materialen kan solderen een optie zijn. Het solderen van constructiestaal, roestvast staal, koper en aluminium, vooral als dunwandige materialen, vindt dagelijks in ruime mate plaats. Hierbij kan men denken aan toepassingen in de automobiel-, (petro)chemische, voedingsmiddelen- en zuivelindustrie, koeltechniek, energie-opwekkingssystemen, rijwiel- en kantoormeubelindustrie, enz.

Solderen is het verbinden van (al dan niet onderling verschillende) metalen met behulp van een gesmolten toevoegmetaal met een lager smeltpunt of smelttraject dan de te verbinden metalen. Solderen is een verbindingstechniek die in het Midden-Oosten al enkele duizenden jaren voor de jaartelling in zwang was bij de vervaardiging van gouden of zilveren sieraden.

Edele metalen laten zich betrekkelijk eenvoudig door het gesmolten soldeer bevochtigen hetgeen wil zeggen dat het soldeer goed over het metaaloppervlak uitvloeit. Door capillair werking kan het soldeer dan in een nauwe spleet (0,05 - 0,2 mm), gevormd tussen de te verbinden delen, vloeien en deze vullen. Tijdens het afkoelen hecht het stollende soldeer zich aan de te verbinden delen en komt zodoende de verbinding tot stand.

Belangrijke voorwaarde voor bevochtiging is dat het te verbinden metaaloppervlak vrij is van vet, vuil en oxiden. Een geschikt vloeimiddel is in staat deze oxiden te reduceren aan het metaaloppervlak, terwijl vet en vuil met een ontvettingsmiddelen zijn op te lossen. Vloeimiddelresten zijn hygroscopisch en kunnen corrosie veroorzaken; grondig verwijderen van deze agressieve resten is dan ook noodzakelijk. De kans op achterblijven van vloeimiddelresten is in de praktijk van het zacht- en hardsolderen groot.

Solderen kan voor sommige metalen ook zonder vloeimiddelen worden uitgevoerd. Het solderen vindt dan plaats bij hoge temperatuur en in een beheerste atmosfeer: het z.g. hoogtemperatuursolderen. De beheerste atmosfeer, gevormd door een reducerend of inert gas of vacuüm, vervangt bij hoge temperatuur (>800 °C) de werking van het vloeimiddel. De kwaliteit van dergelijke gesoldeerde producten is vergelijkbaar met die van gelaste producten.

De warmte-inbreng speelt een belangrijke rol bij het lassen en solderen van dunwandige materialen. Vervorming ten gevolge van deze warmte-inbreng kan dan optreden in het materiaal. Wat dat betreft is solderen gunstiger dan lassen, vanwege de lagere warmte-inbreng. Om die reden is het zachtsolderen gunstiger dan het hard- of hoogtemperatuursolderen; een beperking is de lagere toelaatbare bedrijfstemperatuur van de verbinding.

De soldeerprocessen die in meer of mindere mate geschikt worden geacht voor het verbinden van dunne materialen zijn het bout-, vlam-, inductief-, weerstand-, laserstraal-, elektronenstraal-, infrarood-, soldeerbad-, zoutbad-, ultrasoon- en ovensolderen.

Het bout-, vlam-, inductief- en weerstandssolderen laten zich handmatig toepassen, terwijl laser- en elektronenstraal-, infrarood-, soldeerbad-, zoutbad- en ovensolderen meestal gemechaniseerd worden uitgevoerd.

Naast kwaliteitsverbetering en lagere loonkosten kan mechanisering ook een verbetering van de arbeidsomstandigheden opleveren.

### 2 Indeling soldeerprocessen

Men onderscheidt binnen het solderen het zacht- en hardsolderen. Heeft het soldeer een smeltpunt onder 450 °C, dan spreekt men van zachtsolderen, daarboven van hardsolderen.

Het solderen wordt uitgevoerd met behulp van een vloeimiddel. Wordt het hardsolderen uitgevoerd boven 800 °C in een beheerste atmosfeer, zijnde een reducerend of inert gas, of in vacuüm, dan spreekt men van hoogtemperatuursolderen.

De soldeerprocessen kunnen worden ingedeeld naar de wijze van verhitting van het werkstuk tijdens het solderen. Men onderscheidt:

- ▶ processen waarbij plaatselijke verhitting van het werkstuk wordt toegepast;
- ▶ processen waarbij het gehele werkstuk wordt verhit.

Tot de eerste categorie behoren het bout-, vlam-, weerstand-, inductief-, ultrasoon-, laser- en elektronenstraal-solderen. Onder de tweede categorie vallen het soldeerbad-, zoutbad-, infrarood- en ovensolderen. Afhankelijk van grootte en vorm van het werkstuk kunnen de eerste categorie processen ook als tweede categorie processen worden toegepast.

Varianten binnen deze processen worden gevormd door:

- a. de manier waarop het werkstukoppervlak tijdens het solderen wordt beschermd tegen oxidatie, opdat bevochtiging van het soldeer kan optreden;
- b. de wijze waarop het soldeer wordt toegevoerd of aangebracht op het werkstukoppervlak.

Ter verduidelijking het volgende:

Ad a. bescherming tegen oxidatie kan worden geboden door:

- ▶ een vloeimiddel toe te passen op het te solderen oppervlak of door het werkstuk in een bad met gesmolten vloeimiddel te dompelen;
- ▶ een beheerste atmosfeer, bijv. een reducerend of inert gas, of vacuüm. Verbijzonderingen van dit vloeimiddellessolderen zijn het solderen van koper 'aan-de-lucht' met koperfosforsoldeer, waarbij het fosfor de oxiden reduceert, en het vloeimiddellessolderen

ultrasoonsolderen van aluminium waarbij ten gevolge van de opgewekte trillingen oxidelagen 'loslaten'.

Ad b. afhankelijk van de aanbreng- of toevoerwijze onderscheidt men:

- ▶ vooraf aangebracht of tijdens het verhitten toegevoerd soldeer, het z.g. 'reflow' solderen;
- ▶ het verhitten van het werkstuk door gesmolten soldeer, dat zich in een bad bevindt, waarbij het werkstuk in het bad wordt gedompeld en zo van soldeer wordt voorzien.

Samengevat kunnen deze soldeerprocessen als volgt worden ingedeeld (zie tabel 1):

- ▶ Zachtsolderen: bout-, vlam-, inductief-, weerstand-, laserstraal-, infrarood-, oven-, soldeerbad- en ultrasoonsolderen;
  - ▶ Hardsolderen: vlam-, inductief-, weerstand-, laserstraal-, infrarood-, oven- en soldeerbadsolderen;
  - ▶ Hoogtemperatuursolderen: inductief-, laser- en elektronenstraal-, infrarood- en ovensolderen.
- (Meer details in de Procesomschrijvingen of de FME voorlichtingspublicaties VM 44 'Hard- en zachtsolderen 1, algemeen' en VM 82 'Hoogtemperatuursolderen').

### 3 Kenmerken van het solderen

Aan een gesoldeerde verbinding worden bepaalde eisen gesteld. Deze eisen kunnen liggen op het gebied van de mechanische of thermische belastbaarheid, de elektrische of warmtegeleidbaarheid, de corrosiebestendigheid, lekdichtheid en duurzaamheid van de verbinding. Aan deze eisen kan worden voldaan, mits een juiste keuze wordt gemaakt voor soldeer, soldeerproces en spleetvorm van de constructie, en voorop gesteld dat kennis van en ervaring met het solderen, kortom vakmanschap, aanwezig is. Solderen heeft, net als andere verbindingprocessen, een aantal kenmerken die als voor- of nadeel gelden.

Bij het solderen worden - in tegenstelling tot bij het lassen - de te verbinden werkstukdelen niet tot smelten gebracht. Dit heeft de volgende voordelen:

- ▶ een lagere warmte-inbreng in het werkstuk;
- ▶ daardoor lagere inwendige spanningen, waardoor minder kans op vervorming;
- ▶ geringere kans op het optreden van structuurveranderingen;
- ▶ en minder energieverbruik.

Door de capillaire werking van het soldeer is het mogelijk verbindingen op moeilijk bereikbare plaatsen in het werkstuk te maken. Met solderen is het mogelijk onderling verschillende materialen (bijv. metaal-keramiek) te verbinden, terwijl meervoudige verbindingen gelijktijdig te maken zijn (bijv. ovensolderen), zowel dun- als dikwandig.

Een nauwkeurige voorbereiding van de te verbinden werkstukdelen is een vereiste, hetgeen als een nadeel kan gelden.

Als bij het solderen vloeimiddelen worden toegepast, kunnen vloeimiddelinsluitingen en -resten optreden c.q. achterblijven, waardoor de verbinding wordt verzwakt, respectievelijk corrosiegevoelig wordt. Voor het verwijderen van vloeimiddelresten is vaak een nauwkeurige nabehandeling of nabewerking noodzakelijk. Is er gevaar voor het optreden van galvanische corrosie, dan moet het soldeer in ieder geval edeler zijn dan het werkstukmateriaal.

Daar het soldeer bij een lagere temperatuur smelt dan het werkstukmateriaal, zal bij verhoogde temperatuur de sterkte van een gesoldeerde verbinding snel afnemen.

### 4 Toepasbaarheid van het solderen

Op grote schaal vindt het solderen van dunwandige materialen als constructiestaal, roestvast staal, koper en aluminium plaats. Hierbij kan men denken aan toe-

passingen in de automobiel-, (petro)chemische, voedingsmiddelen- en zuivelindustrie, koeltechniek, energieopwekkingssystemen, rijwiel- en kantoormeubelindustrie, enz.

tabel 1 Indeling van soldeerprocessen naar smeltemperatuur en verhittingswijze

Indeling solderen (vrij naar DIN 8505 Teil 3)		
smeltemperatuur	verhittingswijze	proces
zacht-solderen < 450 °C	vast lichaam	boutsolderen
		bloksolderen
		rolsolderen
	vloeistof	soldeerbadsolderen
		golfsolderen
		sleepsolderen
		ultrasoonsolderen
		dampfase solderen
		vlamsolderen
	gas	heetgassolderen
		gasovensolderen
	straling	infraroodsolderen
		laserstraalsolderen
elektrische stroom	inductiefsolderen	
	weerstandssolderen	
	ovensolderen	
hard-solderen > 450 °C	vloeistof	soldeerbadsolderen
		zoutbadsolderen
	gas	vlamsolderen; gasovensolderen
	gasontlading	boogsolderen
	straling	infraroodsolderen
		laserstraalsolderen
	elektrische stroom	inductiefsolderen
weerstandssolderen		
ovensolderen in lucht		
reducerend gasovensolderen		
hoogtemperatuursolderen > 800 °C	straling	infraroodsolderen in reducerend gas
		infraroodsolderen in inert gas
		infraroodsolderen in vacuüm
		laserstraalsolderen in reducerend gas
		laserstraalsolderen in inert gas
		laserstraalsolderen in vacuüm
		elektronenstraalsolderen
	elektrische stroom	inductiefsolderen in reducerend gas
		inductiefsolderen in inert gas
		inductiefsolderen in vacuüm
		ovensolderen in reducerend gas
		ovensolderen in inert gas
		ovensolderen in vacuüm
		ovensolderen in vacuüm

De warmte-inbreng speelt een belangrijke rol bij het verbinden van dunwandige materialen met behulp van thermische verbindingprocessen, zoals lassen en solderen. Vervorming ten gevolge van deze warmte-inbreng kan dan optreden in het materiaal. Wat dat betreft is solderen gunstiger dan lassen, vanwege de lagere warmte-inbreng, en is binnen het solderen het zachtsolderen gunstiger dan het hard- en hoogtemperatuursolderen. Een andere beperking vormt de lagere toelaatbare bedrijfstemperatuur van gesoldeerde verbindingen, terwijl het optreden van corrosie een probleem kan zijn.

De soldeerprocessen die in meer of mindere mate geschikt worden geacht voor het verbinden van dunne plaatmaterialen zijn het bout-, vlam-, inductief-, weerstand-, laserstraal-, elektronenstraal-, infrarood-, soldeerbad-, zoutbad-, ultrasoon- en ovensolderen. Hierbij onderscheiden het bout-, vlam-, inductief-, weerstand-,

laser- en elektronenstraal- en ultrasoonsolderen zich van de overige processen, door een gerichte, plaatselijke warmte-inbreng. Bij de overige processen wordt het gehele werkstuk of product verwarmd. Dit laatst kan consequenties hebben voor bijv. de mechanische eigenschappen van het materiaal waaruit het werkstuk of product is vervaardigd.

Een ander onderscheid wordt gevormd door de wijze van activeren van het door soldeer te bevochtigen oppervlak. Bij het bout-, vlam-, inductief-, weerstand-, laserstraal-, infrarood-, soldeerbad-, zoutbad- en ovensolderen worden vloeimiddelen gebruikt; de na het solderen achterblijvende resten kunnen corrosie veroorzaken. Door het soldeerproces in een beheerste atmosfeer (reducerend of inert gas of in vacuüm) uit te voeren, wordt dit probleem voorkomen. Dit is ook het geval voor de processen die (naast met vloeimiddel) ook in een beheerste atmosfeer worden toegepast zoals inductief-, laserstraal-, infrarood- en ovensolderen; elektronenstraalessolderen wordt altijd in een beheerste atmosfeer (vacuüm) uitgevoerd.

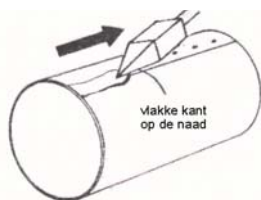
Bij het solderen wordt veelal in de constructie met een soldeerspleet van capillaire afmeting gewerkt. Ten gevolge van de capillaire werking kan het solderen zowel in horizontale als verticale positie worden uitgevoerd. Het spleetbreedte gebied ligt in het algemeen tussen 0,05 - 0,2 mm; dit betekent dat nauwe toleranties op de voorbereiding zijn vereist. Bij voorkeur wordt als constructievorm de overlapverbinding toegepast, zowel voor plaat-plaat-, pijp-pijp- als complexere verbindingsgeometrieën.

Als kwaliteit van de gesoldeerde verbinding een belangrijke eis is, verdient het vaak aanbeveling het handmatig solderen te vervangen door een gemechaniseerd proces, bijv. door een soldeerautomaat of een transportbandoven. Uiteraard nemen de investeringskosten dan aanzienlijk toe; eenvoudige soldeerbouten of -branders zijn reeds voor enige honderden euro's aan te schaffen, terwijl geavanceerde vacuümovens een investering eisen die de vijfhonderdduizend euro overschrijdt. Daarbinnen ligt een heel gamma aan mogelijkheden. Een bijkomend voordeel is, dat gemechaniseerde soldeerprocessen vaak minder belastend zijn voor mens en milieu.

## 5 Apparatuur t.b.v. het solderen

De apparatuur die bij het solderen wordt toegepast, dient primair voor het verhitten van het te solderen materiaal tot soldeertemperatuur. Zoals eerder gezegd, kan men daarbij een onderscheid maken tussen apparatuur waarmee het te solderen werkstuk slechts plaatselijk of geheel wordt verwarmd. Het soldeer kan handmatig of machinaal worden toegevoerd.

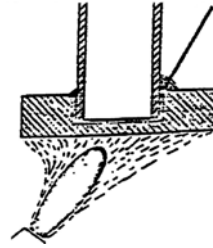
Het boutsolderen wordt gekenmerkt door plaatselijke warmte-overdracht aan het werkstuk door middel van een (voor)verwarmd blok of stift (zie figuur 1). Het voorverwarmen van de bout kan geschieden door een vlam of een oven. Het continu verwarmen van de bout is mogelijk, door een daarin aanwezig elektrisch verwarmings-element.



figuur 1 Boutsolderen

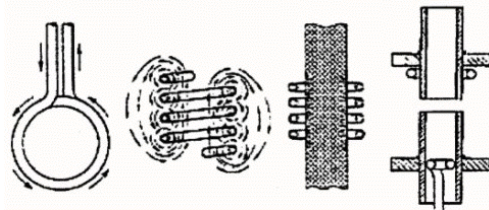
Het vlamsolderen kenmerkt zich door plaatselijke of gehele warmtetoevoer aan het werkstuk met behulp van een **brander** (zie figuur 2). Hierbij wordt gebruikgemaakt

van de verbrandingswarmte van een gasmengsel bijv. acetyleen-lucht of propaan-zuurstof. Het benodigde gas wordt betrokken via gascilinders of een leidingsysteem.



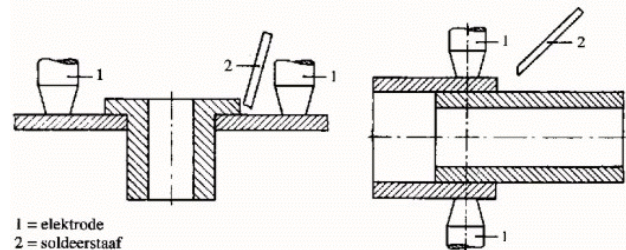
figuur 2 Principe van het vlamsolderen

Het inductiefsolderen wordt gekenmerkt door een snelle plaatselijke warmtetoevoer door middel van een **inductor** of **werkspoel** (zie figuur 3). De benodigde energie in de vorm van een snel wisselend elektromagnetisch veld, waarin het werkstuk wordt geplaatst, wordt opgewekt door een hoogfrequent wisselstroomgenerator.



figuur 3 Inductiefsolderen (principe en werkspoelplaatsing)

Het weerstandsolderen heeft als kenmerk een snelle, plaatselijke verwarming, hetzij door elektrische stroomdoorgang door het werkstuk bij plaatsing van twee **koperchroom elektroden** op dat werkstuk (directe verwarming; zie figuur 4), hetzij door warmte-ontwikkeling door twee **koolstofelektroden** (indirecte verwarming). De benodigde spanning voor de stroomdoorgang c.q. de warmte-ontwikkeling wordt opgewekt door een weerstandsoldeermachine respectievelijk een puntlasmachine.



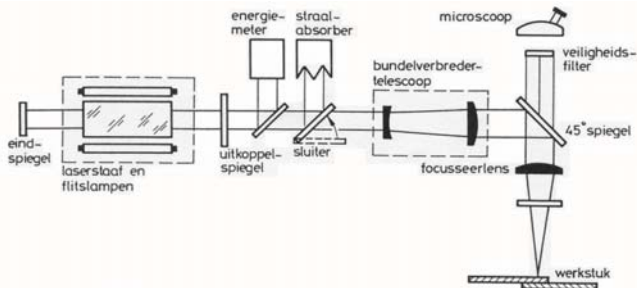
figuur 4 Principe van weerstandsolderen

Het laserstraalsolderen kenmerkt zich door een snelle, plaatselijke verhitting van het werkstuk door een **coherente, monochromatische lichtbundel met hoge energiedichtheid**, opgewekt door een Nd:YAG of CO<sub>2</sub>-laserbron. Geprogrammeerde sturing van de laserbundel maakt het snel en reproduceerbaar vervaardigen van een groot aantal verbindingen mogelijk (zie figuur 5).

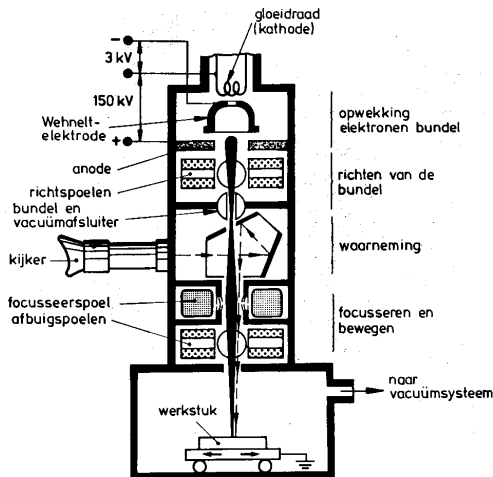
Het elektronenstraalessolderen onderscheidt zich door snelle, plaatselijke verhitting van het werkstuk in vacuüm met behulp van een **gedefocusseerde elektronenbundel** opgewekt door een elektronenstraalessmachine. Geprogrammeerde sturing van de elektronenbundel maakt het snel en reproduceerbaar vervaardigen van een groot aantal verbindingen mogelijk (zie figuur 6).

Het infraroodsolderen kenmerkt zich door zowel plaatselijke als algehele verhitting van het werkstuk met behulp van z.g. kwartsstralers, die specifiek **infrarode (warmte)straling** genereren.



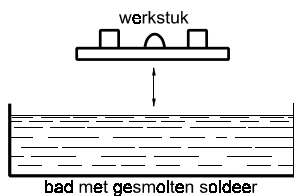


figuur 5 Principe van het laserstraalsolderen



figuur 6 Principe van het elektronenstraalsolderen

Het soldeerbad solderen wordt gekenmerkt door warmte-overdracht aan het gehele werkstuk door **gesmolten soldeer**, dat zich in een gietijzeren, hittevast stalen of keramische bak bevindt, waarin elektrische verhittings-elementen zijn aangebracht. Een vloeimiddellaag boven het gesmolten soldeer biedt bescherming tegen oxidatie (zie figuur 7).



figuur 7 Principe van het soldeerbad solderen

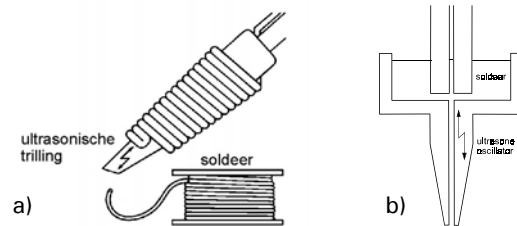
Het zoutbad solderen kenmerkt zich door warmte-overdracht aan het gehele werkstuk door het **gesmolten zout** (eventueel met toegevoegd vloeimiddel), dat zich in een keramische bak bevindt; de op een elektrische spanning aangesloten grafietelektroden in deze bak dragen zorg voor stroomdoorgang en dientengevolge warmte-ontwikkeling (zie figuur 8).



figuur 8 Principe van het zoutbad solderen

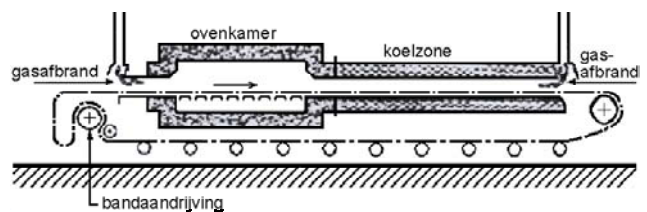
Het ultrasoondsolderen kan worden uitgevoerd zowel met behulp van een **elektrisch verhitte bout**, waarvan de **punt hoogfrequent ultrasoon trilt** en tevens het oppervlak plaatselijk verwarmt (figuur 9a), als in een **bad met ge-**

**smolten soldeer**, dat het gehele werkstuk verwarmt, terwijl in het bad met behulp van **transducers** hoogfrequente ultrasone trillingen worden opgewekt (figuur 9b).

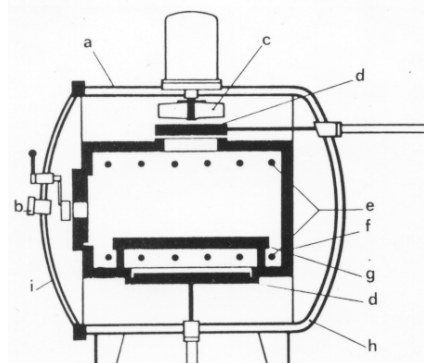


figuur 9 Werkingsprincipe van ultrasoondsolderen

Het ovensolderen kenmerkt zich door warmte-toevoer aan het gehele werkstuk, dat zich in een **(semi) afgesloten ruimte (de retort)** bevindt. De warmte-overdracht vindt plaats door straling, stroming en geleiding van de warmte die wordt ontwikkeld door het verbranden van gassen of die door elektrische verhitting ontstaat (zie figuur 10 en 11).



figuur 10 Principe van een transportbandoven



figuur 11 Schematisch overzicht van een kamervacuümoven (Toelichting: a.: vacuümvat; b.: kijkopening; c.: ventilator; d.: beweegbaar schot; e.: verwarmingselementen; f.: isolatie; g.: haard; h.: watergekoelde wand; i.: deur)

## 6 Voorbehandeling en voorbereiding

Te solderen delen eisen een nauwkeurige voorbereiding. Deze voorbereiding kan inhouden het op maat brengen van de te solderen delen, het scheppen van een juiste oppervlaktegesteldheid zoals ruwheid en vlakheid en het vet- en oxidevrij maken van de soldeerplaats.

Het op maat brengen kan geschieden door mechanische bewerkingen, zoals zagen, snijden en slijpen. Deze bewerkingen brengen spanningen in het materiaal, die tijdens het solderen kunnen leiden tot vormveranderingen en maatafwijkingen op de soldeerspleet. Vooraf spanningsarm gloeien kan dergelijke problemen voorkomen.

Door schuren, slijpen of polijsten kan een juiste ruwheid en vlakheid van het oppervlak worden verkregen; de na te streven oppervlakteruwheid ligt tussen 1 en 6  $\mu\text{m}$ . Een te glad oppervlak leidt meestal tot bevochtigingsproblemen.

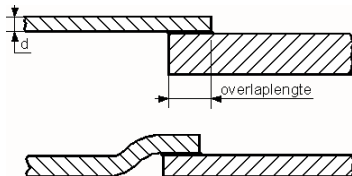
Het is noodzakelijk het te solderen oppervlak vooraf te ontdoen van vet, vuil en oxiden. Ontvetten geschiedt meestal met organische ontvettingsmiddelen (milieu-

problemen) of alkalische ontvettingsmiddelen en **niet** door het toegepaste vloeimiddel! Het vooraf verwijderen van (oude) oxidelagen kan door middel van beitsen worden uitgevoerd en verlicht de taak van het vloeimiddel of de beheerste atmosfeer.

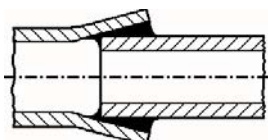
## 7 Soldeertechisch construeren

Bij het ontwerpen van te solderen constructies in dunne plaat- of pijpmaterialen moet met een aantal aspecten rekening worden gehouden, zoals de functionaliteit, bedrijfsomstandigheden en vervaardigingswijze. Deze aspecten bepalen in belangrijke mate de keuze van het werkstukmateriaal, het soldeer, de verbindingmethode en de spleet- of naadvorm.

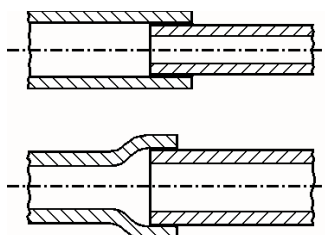
De meeste toegepaste spleet- of naadvorm bij het solderen is de overlapverbinding zowel voor de plaat-plaat-, pijp-pijp-, als pijp-plaatverbinding (zie figuren 12 t/m 15).



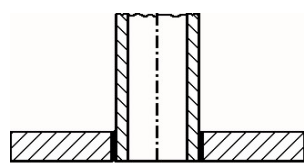
figuur 12 Plaat-plaatverbinding



figuur 13 Pijp-pijpverbinding (niet capillaire spleet)



figuur 14 Pijp-pijpverbinding



figuur 15 Pijp-plaatverbinding

De toe te passen overlappende lengte bij plaat-plaat- en pijp-pijpverbindingen kan met de volgende formules worden bepaald:

$$L = \frac{V \times R \times d}{T} \quad (\text{plaat-plaatverbinding})$$

$$L = \frac{V \times R \times d \times (D - d)}{T \times D} \quad (\text{pijp-pijpverbinding})$$

Hierin is :

L = overlappende lengte (mm)

V = veiligheidsfactor (> 1)

R = trekspanning in de dunste of zwakste wanddikte (MPa)

d = dunste of zwakste wanddikte (mm)

T = afschuifsterkte van het soldeer (MPa)

D = afschuifdiameter (mm)

Bij kamertemperatuur is de overlappende lengte voor zacht-soldeerverbindingen 3 - 4 maal de dunste of zwakste wanddikte, terwijl bij hard- en hoogtemperatuursoldeerverbindingen 2 - 3 maal de dunste of zwakste wanddikte in het algemeen wordt aangehouden.

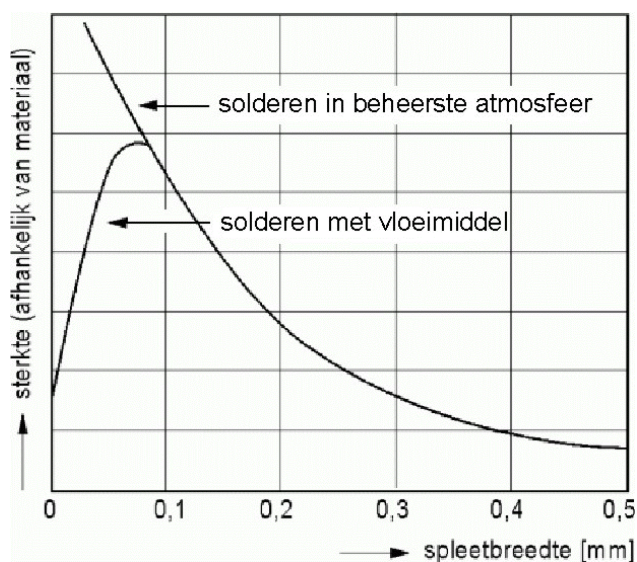
In de installatietechniek daarentegen worden voor de overlap in pijp-pijpverbindingen, afhankelijk van de pijp-diameter, lengtes aangehouden die een factor 10 à 20 groter zijn dan de pijpwanddikte.

Uiteraard zijn stompe verbindingen in principe mogelijk, zeker als er geen al te hoge eisen aan de verbinding worden gesteld qua sterkte of lekdichtheid. De stompe verbinding is echter geen gebruikelijk verbindingstype bij het solderen van dunne materialen. Stompe soldeerverbindingen op trek belast kunnen, indien de spleetbreedte klein is, bezwijken in het basismateriaal. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door het optreden van het verhinderen van vormverandering; echter bij toename van de spleetbreedte zal breuk in het soldeer ontstaan.

De sterkte van een soldeerverbinding hangt onder meer af van de intrinsieke sterkte van het soldeer, de microstructuur van het soldeer in de naad, de spanningstoestand waarin de verbinding verkeert en de soldeerspleetbreedte. Vaak raken bij zacht- en hard-soldeerverbindingen vloeimiddelresten in de naad ingesloten; deze resten benadelen de sterkte, terwijl zij ook de lekdichtheid op negatieve wijze kunnen beïnvloeden.

De sterkte van de soldeernaad in relatie tot de spleetbreedte wordt gegeven in figuur 16. Bij zeer kleine spleetbreedten speelt het ingesloten raken van vloeimiddelresten een negatieve rol, terwijl bij zeer grote spleetbreedten de sterkte wordt bepaald door de eigen, intrinsieke sterkte van het soldeer.

Het ingesloten raken van vloeimiddelresten is in de praktijk nauwelijks te voorkomen, waardoor de reproduceerbaarheid afneemt, tenzij flinke veiligheidsmarges worden genomen (zie ook de opmerking over de overlappende lengte zoals deze wordt toegepast in de installatietechniek). Bij het vloeimiddelloos hoogtemperatuursolderen speelt deze problematiek geen rol; de reproduceerbaarheid is dan ook hoog.



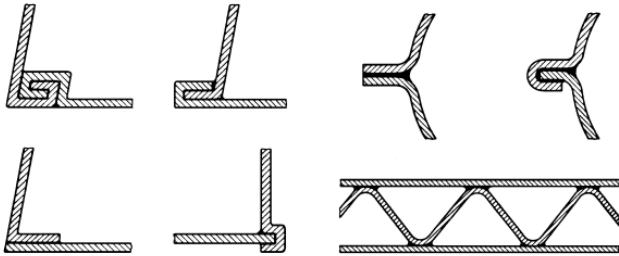
figuur 16 Sterkte van de soldeerverbinding afhankelijk van de spleetbreedte

## 8 Soldeerdetails

Zoals eerder aangegeven hangt de sterkte van een soldeerverbinding van een aantal aspecten af. Door toename van het soldeerooppervlak, zoals bij de overlapver-

binding het geval is, bouwt men een veiligheidsmarge in, waardoor de kans op falen in de soldeerverbinding wordt beperkt.

Om die reden past men bij verbindingen in dunne materialen, die in de praktijk sterk of lekdicht moeten zijn, vergroting van het soldeeroppervlak toe. Zo worden plaatranden omgefelst vóór het solderen ter vergroting van het oppervlak, terwijl het soldeer ter sterkte en af-dichting fungeert. Zie ook de voorbeelden in figuur 17.



figuur 17 Voorbeelden verbinden van dunne plaat

Bij het solderen moet het gesmolten soldeer ongehinderd in de soldeerspleet kunnen vloeien. Als tijdens het verhitten naar de soldeertemperatuur vloeimiddelresten ingesloten dreigen te raken, of drukopbouw in de naad ten gevolge van ingesloten lucht door het dichtknijpen van de soldeerspleet kan ontstaan, zal dit een onvolledige vulling van de naad opleveren. Door een geschikte doseerplaats voor vloeimiddel en soldeer te kiezen, of door afstandsfolies in de naad te plaatsen, kunnen dit soort problemen voorkomen of beperkt worden.

## 9 Solderen van dunne materialen

Het beheersen van de procesparameters, zoals temperatuur, tijd, opwarm- en afkoelsnelheid, is van belang bij het solderen van dunwandige materialen. Dit is zeker het geval als hoge(re) soldeertemperaturen worden toegepast en er strenge eisen aan de deugdelijkheid van de verbinding worden gesteld (lekdicht, sterk, vormvast e.d.). Deze procesparameters kunnen het gedrag van het vloeibare soldeer en van het werkstukmateriaal op negatieve wijze beïnvloeden. Zo kan het soldeer het werkstukmateriaal aantasten ten gevolge van overmatige erosie-, penetratie- of diffusieverschijnselen. Ook moeten structuur- en vormveranderingen van het werkstukmateriaal worden voorkomen of beperkt.

Onder erosie verstaat men het in oplossing gaan van het werkstukmateriaal in het vloeibare soldeer. Ten gevolge van dit oplossen neemt de effectieve wanddikte af, hetgeen de sterkte en de lekdichtheid van het dunwandig materiaal negatief beïnvloed. Penetratie is het inlopen van vloeibaar soldeer op de korrelgrenzen, waardoor de samenhang tussen de korrels wordt verstoord. Door het vervolgens optreden van korrelgrens- en vaste stofdiffusie in de korrels kunnen intermetallische verbindingen op de korrelgrenzen en in de korrels ontstaan die de corrosiegevoeligheid en de kans op lekkage vergroten.

Structuurveranderingen van het werkstukmateriaal kunnen bestaan uit korrelgroei, hardings- of ontstevigingsverschijnselen, precipitatieharding e.d., terwijl vormveranderingen zich uiten in vervormingen ten gevolge van een te grote opwarm- of afkoelsnelheid, optredende spanningen of relaxerende restspanningen, fasetransformaties of verschillen in uitzetting. Ongelijkmatige verwarming van het werkstuk is vaak debet aan deze problemen.

Om bovengeschetste problemen bij het solderen van dunwandige materialen te vermijden, is het zaak de hoeveelheid soldeer te beperken, de soldeertemperatuur en -tijd zo laag c.q. zo kort mogelijk te houden en op verantwoorde wijze op te warmen en af te koelen.

In het kort wordt het solderen van onderstaande dunne materialen besproken. (Voor meer informatie wordt verwezen naar de FME voorlichtingspublicaties VM 45 en VM 82; voor de aangegeven processen wordt verwezen naar hoofdstuk 2 "Indeling soldeerprocessen").

### Ongelegeerd staal

Ongelegeerd staal is in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

### Organisch bekleed staal

Organisch bekleed staal is met geen van de beschreven processen soldeerbaar (tenzij op de soldeerplaats de bekleeding vooraf wordt weggenomen en plaatselijk wordt verhit).

### Verzinkt staal

Verzinkt staal is vanwege de aanwezige zinklaag met alle beschreven zacht- en hardsoldeerprocessen met plaatselijke warmte-inbreng soldeerbaar. Bij gehele verwarming van het verzinkte staal zal de zinklaag smelten en verloren gaan. Verzinkt staal is met geen van de beschreven hoogtemperatuursoldeerprocessen soldeerbaar; vanwege smelten en sterke verdamping van de zinklaag wordt het proces verstoord.

### Gealuminiseerd staal

Gealuminiseerd staal is vanwege de aanwezige aluminiumlaag met alle beschreven zacht- en hardsoldeerprocessen met plaatselijke warmte-inbreng soldeerbaar. Bij gehele verwarming van het gealuminiseerde staal zal de aluminiumlaag smelten en verloren gaan. Zo is gealuminiseerd staal met de beschreven hoogtemperatuursoldeerprocessen soldeerbaar, mits smelten en sterke verdamping van de aluminiumlaag wordt voorkomen. Dit is het geval indien geëigende aluminiumsoldeersoorten voor het solderen van aluminium worden toegepast.

### Vertind staal (blik)

Vertind staal is vanwege de aanwezige tinlaag met alle beschreven zachtsoldeerprocessen met plaatselijke warmte-inbreng soldeerbaar. Bij gehele verwarming van het vertinde staal zal de tinlaag smelten en verloren gaan. Vertind staal is met geen van de beschreven hard- en hoogtemperatuursoldeerprocessen soldeerbaar; vanwege smelten en sterke verdamping van de tinlaag wordt het proces verstoord.

### Verchroomd staal

Verchroomd staal is in principe met alle beschreven processen soldeerbaar, behalve met zoutbadsolderen.

### Laaggelegeerd staal

Laaggelegeerd staal is in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

### Austenitisch roestvast staal

Austenitisch roestvast staal is met uitzondering van het zoutbadsolderen in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

### Aluminium

De aluminiumsoorten 1xxx, 3xxx en 6xxx zijn in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

De aluminiumsoort 2xxx is in principe met de beschreven zachtsoldeerprocessen soldeerbaar.

De aluminiumsoort 4xxx ( $Si < 7\%$ ) is in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

De aluminiumsoort 4xxx ( $Si \geq 7\%$ ) is vanwege het lage smeltpunt/-traject met geen van de beschreven processen soldeerbaar.

De aluminiumsoort 5xxx ( $Mg < 1\%$ ) is in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

De aluminiumsoort 5xxx ( $Mg \geq 1\%$ ) is vanwege het lage smeltpunt/-traject met geen van de beschreven processen soldeerbaar.

De aluminiumsoorten 7xxx Cu vrij en 7xxx Cu houdend zijn met uitzondering van de hoogtemperatuursoldeer-

processen (vanwege de aanwezigheid van zink in de legering) in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

### Koper

De kopersoorten, koper zuurstofhoudend en zuurstofvrij, zijn met uitzondering van het zoutbadsolderen in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

**N.B.:** *Bij het solderen in waterstof (of ammoniak/waterstofmengsel) komt alleen koper zuurstofvrij in aanmerking; zuurstofhoudend koper ondervindt hinder van waterstofziekte (brosheid, scheuren).*

De kopersoorten koper-zink(messing) en koper-tin(brons) zijn met uitzondering van het zoutbadsolderen en de hoogtemperatuursoldeerprocessen in principe met alle beschreven processen soldeerbaar.

Samengevat leidt het bovenstaande tot het overzicht in tabel 2.

## 10 Soldeermaterialen

Afhankelijk van hun smeltpunt/-traject worden de soldeermaterialen als volgt ingedeeld:

- ▶ zachtsoldeersoorten met een smeltpunt/-traject onder 450°C;
- ▶ hardsoldeersoorten met een smeltpunt/-traject boven 450°C.

De hoogtemperatuursoldeersoorten worden gekenmerkt door een soldeertemperatuur die in het algemeen boven 800°C ligt. Zowel zacht-, hard- als hoogtemperatuursoldeersoorten kunnen voor het solderen van dunne materialen worden toegepast; uiteraard zal de keuze worden bepaald door de eisen die aan de verbinding worden gesteld.

Zachtsoldeersoorten zijn veelal legeringen op basis van elementen als gallium, bismut, indium, tin, cadmium, lood of zink, in volgorde van toenemend smeltpunt. De meest bekende soldeersoort is op tinbasis: tinlood (=verboden; alleen nog toelaatbaar voor elektronica-toepassingen), tinzilver, tinkoper, tinbismutzilver (als vervangers voor tinlood), tinantimoon(toepassing o.a. in de voedingsmiddelenindustrie) en tinzink. Dit laatste soldeer is met de zinkcadmium en zinkaluminiumsoldeersoorten geschikt voor het solderen van aluminium.

Legeringen op basis van aluminium, zilver, koper of nikkel zijn de belangrijkste hardsoldeersoorten. Aluminiumsoldeer wordt toegepast voor het solderen van aluminium, terwijl de (cadmiumvrije)zilversoldeersoorten vooral

toepassing vinden bij het hardsolderen van on- en laaggelegeerd staal, roestvast staal en koper/koperlegeringen. De koperhoudende soldeersoorten worden gebruikt voor het solderen van on- en laaggelegeerd staal, kopernikkel en nikkel; met koperfosforsoldeer kan koper vloeimiddeloor worden hardgesoldeerd. Nikkelsoldeersoorten worden wel toegepast om roestvast staal en hooggelegeerde staalsoorten te solderen.

De hoogtemperatuursoldeersoorten zijn vaak op basis van dezelfde elementen als de hardsoldeersoorten, echter elementen met een hoge dampspanning zoals zink en cadmium zijn taboe bij het solderen in vacuüm. Daarnaast worden soldeersoorten op basis van goud (bijv. goudnikkel) en palladium toegepast indien corrosiebestendige en/of vacuümdichte verbindingen zijn vereist. Voor meer informatie over soldeermaterialen wordt verwezen naar de FME voorlichtingspublicaties VM 44 en 82; voor normering van soldeermaterialen zie hoofdstuk 17 van deze publicatie.

## 11 Activeren en beschermen van het te solderen oppervlak

Ten einde het te solderen oppervlak geschikt te maken voor de bevochtiging van het soldeer moet het oppervlak naast vet- en vuil-, ook oxidevrij zijn. Bovendien moet dit oppervlak tijdens het verhitten naar de soldeertemperatuur oxidevrij blijven. Het activeren( = geschikt zijn voor bevochtigen) en beschermen( = geschikt houden voor bevochtigen) van het te solderen oppervlak kan op twee manieren geschieden:

- ▶ door een vloeimiddel te gebruiken;
- ▶ door een beheerste atmosfeer toe te passen.

### Vloeimiddelen

Het gebruikte vloeimiddel moet aan een aantal eisen voldoen, te weten:

- ▶ werkzaam zijn in het temperatuurtraject van het toegepaste soldeer;
- ▶ een lager smeltpunt hebben dan het soldeer;
- ▶ door het gesmolten soldeer goed verdringbaar zijn;
- ▶ een goede thermische stabiliteit hebben;
- ▶ de vloeimiddelresten moeten goed verwijderd kunnen worden, zeker als de resten corrosie kunnen veroorzaken.

Vormen waarin vloeimiddelen worden toegepast, zijn:

- ▶ vloeistoffen, poeders, pasta's;
- ▶ als bekleding om een soldeerdraad of als kern in een soldeerdraad;
- ▶ fijnverdeeld in soldeerpoeder/-pasta's.

tabel 2 Overzicht van de soldeerbaarheid van diverse materialen

Materiaal	Soldeerbaar met alle processen?
Ongelegeerd staal	ja
Organisch bekleed staal	nee
Verzinkt staal	nee, behalve met zachtsoldeerprocessen, en hardsoldeerprocessen met plaatselijke warmte-inbreng
Gealuminiseerd staal	ja, mits geëigend soldeer wordt toegepast
Vertind staal (blik)	nee, behalve met zachtsoldeerprocessen met plaatselijke warmte-inbreng
Verchroomd staal	ja, behalve met zoutbadsolderen
Laaggelegeerd staal	ja
Austenitisch RVS	ja, behalve met zoutbadsolderen
Aluminium 1xxx,3xxx,6xxx	ja
Aluminium 2xxx	nee, behalve met zachtsoldeerprocessen
Aluminium 4xxx met Si < 7%	ja
Aluminium 4xxx met Si > 7%	nee
Aluminium 5xxx met Mg < 1%	ja
Aluminium 5xxx met Mg > 1%	nee
Aluminium 7xxx Cu vrij/houdend	ja, behalve met hoogtemperatuursoldeerprocessen
Koper zuurstofvrij/houdend	ja, behalve met zoutbadsolderen
Koperzink/kopertin	ja, behalve met zoutbad- en hoogtemperatuursoldeerprocessen

Het zal duidelijk zijn dat voor het zachtsolderen andere vloeimiddelen worden gebruikt dan voor het hardsolderen. Gezien de hogere soldeertemperatuur bij het hardsolderen dan bij het zachtsolderen, zal met name de thermische stabiliteit van het vloeimiddel in het eerste geval beter moeten zijn.

Vloeimiddelen voor het zachtsolderen zijn op een basis van:

- ▶ of anorganische zuren/zouten (bijv. zoutzuur/ammoniumchloride);
- ▶ of organische zuren/zouten (bijv. citroenzuur/ureum);
- ▶ of natuurlijke harsen.

De corrosiviteit van het vloeimiddel c.q. de vloeimiddelrest neemt in bovenstaande volgorde af; dit impliceert dat mildere vloeimiddelen stabiele oxiden (bijv. chroomoxiden) niet of moeilijk verwijderen. Deze vloeimiddelen kunnen in een waterige oplossing of met een organische voorbereiding worden geleverd.

Voor het zachtsolderen van on-, laaggelegeerd en verzinkt staal worden vloeimiddelen op basis van zink- en ammoniumchloriden in een waterige oplossing toegepast, terwijl voor roestvast staal zoutzuur aan het vloeimiddel wordt toegevoegd. Vloeimiddelen met dezelfde samenstelling, maar in een organische voorbereiding, worden aangewend voor het zachtsolderen van vertind staal (blik); dit geldt eveneens voor koper en koperlegeringen. Elektrische en elektronische onderdelen worden alleen met natuurlijke harshoudende vloeimiddelen zachtgesoldeerd.

Vloeimiddelen voor het hardsolderen zijn op basis van hoogsmeltende zouten zoals borax, boraten, fosfaten, silicaten, chloriden, fluoriden e.d. en kunnen worden ingedeeld naar het werkteemperatuurgebied:

Werktemp. gebied	Samenstelling vloeimiddelen
550 - 800°C	boriumverbindingen en fluoriden
750 - 1100°C	boriumverbindingen (borax)
> 1000°C	o.a. boraten, fosfaten, silicaten
600 - 1000°C	o.a. chloriden, fluoriden

Ongelegeerd, laaggelegeerd en verzinkt staal kan worden gehardsoldeerd met zilversoldeer met een boriumverbindingen/fluoridenhoudend vloeimiddel; wordt een messing-soldeer(koperzink) toegepast op deze staalsoorten, dan wordt een boraxhoudend vloeimiddel gebruikt. Voor nikkel-soldeersoorten wordt op deze materialen een vloeimiddel gebruikt dat geschikt is voor > 1000°C. Voor het hardsolderen van roestvast staal worden chloridehoudende vloeimiddelen toegepast. Speciale vloeimiddelen op basis van chloriden en/of fluoriden worden aangewend voor het hardsolderen van gealuminiseerd staal, aluminium en aluminiumlegeringen; de enkel fluoridehoudende geven geen corrosieve resten.

#### Beheerste atmosfeer

De andere wijze van activeren en beschermen van het te solderen oppervlak is het toepassen van een beheerste atmosfeer. De beheerste atmosfeer wordt in principe gekenmerkt door het vrij zijn van zuurstof en waterdamp. Men onderscheidt drie soorten atmosferen:

- ▶ reducerend (bijv. H<sub>2</sub> of CO);
- ▶ beschermend/inert (bijv. Ar of He; soms ook N<sub>2</sub>);
- ▶ luchtledig (vacuüm).

Het solderen in een beheerste atmosfeer is mogelijk door de afwezigheid van zuurstof en waterdamp en het toepassen van een relatief hoge temperatuur: hoogtemperatuursolderen.

Deze hoge temperatuur is noodzakelijk om de oxiden te ontleden; oxiden worden bij hoge temperatuur instabiel en reduceren tot metaal en waterdamp of dissociëren in metaal en zuurstof. Door de waterdamp c.q. zuurstof weg te nemen (afpompen) en het solderen uit te voeren in een beheerste atmosfeer, kan het blanke metaal door het gesmolten soldeer worden bevochtigd en het soldeer in de aldus gereinigde capillaire spleet vloeien. Bij

afkoeling stolt het soldeer en komt de verbinding tot stand; hechting treedt op, doordat op het grensvlak soldeer-basismateriaal - op atomaire schaal - onderling uitwisseling van elementen uit het soldeer en het basismateriaal plaatsvindt.

In de praktijk wordt dit proces nog weleens verstoord; de beheerste atmosfeer blijkt dan niet zo zuiver te zijn als bedoeld. Door inlek van het systeem, waarin het solderen wordt uitgevoerd, komt er toch zuurstof of waterdamp in voor. Het gevolg is dat het blanke metaal opnieuw oxideert of erger nog, dat de ontleding niet of niet volledig plaats vindt. Ook kunnen de reducerende of beschermende gassen een bron van onbedoelde verontreinigingen zijn. Het zijn nu eenmaal slechts technisch zuivere gassen die worden gebruikt: de aanwezigheid van verontreinigingen in het gas in de vorm van zuurstof of waterdamp is niet uit te sluiten.

De zuiverheid van een gas wordt aangegeven met het begrip dauwpunt: hoe lager het dauwpunt des te zuiverder het gas of de atmosfeer c.q. het vacuüm. In de praktijk blijkt dat het zeer kostbaar is technische gassen met een laag dauwpunt te maken; bovendien treden bij het transport van het gas van gastank of -cilinder naar het beheerste atmosfeersysteem (meestal een oven) onderweg lekken op, waardoor het dauwpunt aanzienlijk verslechterd. Kortom, roestvast staal (chromiumoxidehuid!) en koper bijvoorbeeld zijn in een reducerende resp. beschermende atmosfeer soldeerbaar als er aan de hoge eisen van zuiverheid van de atmosfeer op eenvoudige wijze kan worden voldaan.

Het blijkt dat het verkrijgen en behouden van een zuiver vacuüm met zeer lage zuurstofgehalten en een laag dauwpunt van het in het vacuüm aanwezige restgas, eenvoudiger te realiseren is. Afdichten en afpompen van het systeem blijkt gemakkelijker in de praktijk dan het lekvrij toevoeren van reducerend of beschermgas. Dit verklaart waarom het hoogtemperatuursolderen in vacuüm nog steeds in omvang en betekenis toeneemt. Desalniettemin wordt het hoogtemperatuursolderen onder reducerend gas en in mindere mate onder beschermgas nog veel toegepast. In tabel 3 wordt aangegeven in welke soldeeratmosfeer de verschillende materialen te solderen zijn.

tabel 3 Overzicht van te solderen basismateriaal in relatie met de soldeeratmosfeer

	soldeer-atmosfeer	dauwpunt °C	te solderen basismateriaal
a	Gedroogd N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> /CO gas	-40	Ongelegeerd staal, koper, messing
b	Gedisassocieerd NH <sub>3</sub> -gas	-54	Idem als a. + laaggelegeerd staal (Cr < 5%)
c	Zuiver argon/helium	-60	Idem als b. + titaan, zirkoon, wolfram, molybdeen
d	Grofvacuüm (1000 - 1mbar)	-17(!)	Ongelegeerd staal, koper
e	Laagvacuüm (1-10 <sup>-3</sup> mbar)	-74	Idem als d. + laaggelegeerd staal (Cr < 5%)
f	Hoogvacuüm (10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-6</sup> mbar)	-89	Idem als c. (uitgezonderd messing) + RVS, aluminium, superlegeringen, keramiek, gealuminiseerd staal, verchroomd staal

## 12 Automatisering van het solderen

Ter verhoging van de productie (serie-, massafabricage), ter vergroting van de reproduceerbaarheid of ter verbetering van de proceseconomie (vermindering loonkosten) en de arbeidsomstandigheden kan worden overwo-

gen het soldeerproces te mechaniseren, automatiseren of zelfs te robotiseren.

Uitgangspunt moet wel zijn dat het proces zich leent om gemechaniseerd, geautomatiseerd of gerobotiseerd te worden uitgevoerd. Anderzijds wordt een aantal beschreven processen, gezien de verhittingswijze, meestal niet handmatig uitgevoerd, bijv. het inductief-, laser- en elektronenstraal-, infrarood-, soldeer- en zoutbad- en ovensolderen, hetgeen impliceert dat deze processen vaak al geheel of gedeeltelijk gemechaniseerd worden uitgevoerd.

Van de nog niet genoemde processen zijn het vlam-, weerstand- en ultrasoonsolderen, zowel handmatig als gemechaniseerd, goed uitvoerbaar. Het boutsolderen is het enige proces dan niet gemechaniseerd wordt uitgevoerd.

Automatisering van het soldeerproces vergt in het algemeen de nodige hulpgereedschappen. Soldeermallen, fixatiegereedschap, doseerapparatuur, voor zowel soldeer als vloeimiddel, draaitafels, carrousels, transportbanden e.d. zijn voorbeelden van hulpgereedschappen en -middelen.

Wordt tot automatisering van het soldeerproces overgegaan, dan is het voor de processen met plaatselijke warmte-overdracht van belang, dat tijdens het solderen de positie van de soldeernaad ten opzichte van de verhittingsbron (brander, energiebundel) is gewaarborgd.

Meer flexibel zijn de processen waarbij het gehele te solderen werkstuk wordt verwarmd (oven, zoutbad e.d.).

Voorts is het aan te bevelen te komen tot standaardisatie van materialen en afmetingen. Een minder belangrijke rol spelen bij het capillair solderen aspecten als toegankelijkheid van de soldeernaad, en de naad- of spleetvorm. Wel is het aan te bevelen dat de mogelijkheid aanwezig is het soldeerproces vooraf of tijdens de bewerking te kunnen besturen, regelen of corrigeren, hetzij handmatig, hetzij mechanisch of elektronisch.

Vaak zal het product langs het soldeerproces worden bewogen. Dit stelt eisen aan de fixatie van de onderdelen ten opzichte van elkaar: afwijkingen in spleetbreedte vóór het solderen en verstoring van het stollen van het soldeer moeten worden voorkomen. Het valt dan ook te overwegen om in die gevallen waar dergelijke problemen kunnen optreden, het soldeerproces langs het product te voeren (bijv. laser- of elektronenstraalessolderen). Het hoeft - tot slot - geen betoog dat bij het gemechaniseerd uitvoeren van het soldeerproces hoge eisen worden gesteld aan een nauwkeurige voorbereiding.

### **13 Kwaliteitsaspecten bij het solderen**

Zoals bij andere verbindingstechnieken (lassen, lijmen, mechanisch verbinden) het geval is, is het bij het solderen mogelijk kwalitatief goede verbindingen te verkrijgen. Onder kwaliteit verstaat men het geheel aan deugdelijkheid en hoedanigheid van de gesoldeerde verbinding (functie, eigenschappen e.d.).

Het eisen van kwaliteit werkt meestal kostenverhogend, ook bij soldeerverbindingen. M.a.w. dit betekent dat producten waaraan geringe eisen worden gesteld, anders worden benaderd dan producten waaraan hoge eisen worden gesteld. In het algemeen valt het handmatig solderen in de eerstgenoemde categorie eisen, terwijl het gemechaniseerd solderen wordt toegepast als aan laatstgenoemde categorie eisen wordt gesteld. Hetzelfde onderscheid kan worden gemaakt voor het met vloeimiddel of in een beheerste atmosfeer solderen.

Bij industriële soldeerproducties zal men in het algemeen toch de volgende wijze van kwaliteitsbeheersing aanhouden:

- ▶ opstellen van een soldeerprocedurespecificatie;
- ▶ kwalificeren van deze specificatie;

- ▶ controle op de naleving van de soldeerprocedure;
- ▶ keuring van de producten of productiewijze.

(In de FME voorlichtingspublicaties VM 44 en VM 82 wordt uitgebreider ingegaan op deze aspecten).

De soldeerprocedurespecificatie bevat o.a. de soldeermethode, de geometrie van de verbinding, het soort soldeer, vloeimiddel of beheerste atmosfeer, de voor- en nabewerkingswijze, de soldeercyclus en het te solderen werkstukmateriaal.

De controle op de naleving van de soldeerprocedure behelst onder meer naast de controle op de procesuitvoering ook de controle op de soldeerapparatuur, de materialen en de inspectie van de verbindingen.

De keuring van producten kan voor gesoldeerde verbindingen op zowel niet-destructieve als destructieve wijze geschieden, hetgeen tevens tot een uitspraak over de productiewijze kan leiden.

Als niet-destructieve onderzoeksmethoden kunnen worden genoemd: voor oppervlakfouten, het visueel inspecteren en penetrantonderzoek; voor defecten in de soldeernaad, radiografisch en ultrasoon onderzoek (in sommige gevallen ook wervelstroom- en thermografisch onderzoek), terwijl voor de dichtheidscontrole de gangbare lektest- en lekzoekmethoden kunnen worden toegepast.

Metallografisch onderzoek geeft als destructieve onderzoeksmethode een beeld van de vulgraad, aanwezigheid van defecten in en de structuur van de soldeernaad. In afschuif- en trekproeven kan de mechanische sterkte van de gesoldeerde verbinding worden bepaald, zowel bij kamertemperatuur als bij andere beproevingstemperaturen (bijv. kruipproeven). Het dynamisch sterktegedrag van een gesoldeerde verbinding kan met behulp van vermoeiingsproeven worden bepaald.

Productkeuringen zijn veelal om praktische redenen niet destructief uitvoerbaar, tenzij steekproefsgewijs onderzoek wordt uitgevoerd. Door destructief onderzoek op met de productie mee gesoldeerde proefstukken (product dummy's) uit te voeren, kan een goed beeld worden verkregen van de kwaliteit van de producten of de gevolgde productiewijze.

Een belangrijk kwaliteitsaspect is de corrosiebestendigheid van gesoldeerde verbindingen. Daar per definitie een toevoegmateriaal wordt gebruikt met een van het basismateriaal afwijkende chemische samenstelling, is latent het risico voor galvanische corrosie aanwezig, tenzij een soldeer met een edeler samenstelling dan het basismateriaal wordt toegepast. In het geval dat met vloeimiddel wordt gesoldeerd, zoals bij zacht- en hard-soldeerprocessen gebruikelijk is, bepalen de achtergebleven hygroscopische vloeimiddelresten de gevoeligheid voor optreden van corrosie. Afdoende verwijdering van deze resten voorkomt problemen. Kortom, met een juist uitgevoerde soldering en nabehandeling zijn corrosiebestendige verbindingen te realiseren.

**N.B.:** *Bij verbindingen verkregen met hoogtemperatuur-soldeerprocessen speelt corrosie ten gevolge van vloeimiddelresten uiteraard geen rol.*

### **14 Nabehandeling en nabewerking**

Uit oogpunt van corrosiegevoeligheid is het verwijderen van vloeimiddelresten na het solderen een noodzaak. Deze verwijdering moet bij voorkeur uiterlijk 12 - 24 uur na het solderen plaatsvinden. Vaak is afspoelen met of afschrikken in warm water vergezeld van borstelen en een afdoende remedie. Voor het verwijderen van vloeimiddelresten van zachtsoldeerverbindingen worden ook wel organische of alkalische oplosmiddelen gebruikt. Met beitsvloeistoffen (veelal zuren) worden de vloeimiddelresten van hardsoldeerverbindingen verwijderd; goed naspoelen met water is dan een vereiste.

Hoogtemperatuursoldeerverbindingen behoeven in het algemeen geen nabehandeling; soms moet overmatig uitgevloeid soldeer met een mechanische bewerking worden weggenomen. Dit kan ook het geval zijn voor zacht- of hardsoldeerverbindingen. Om overmatig uitvloeien van soldeer te vermijden, worden wel anti-vloeimiddelen toegepast. Resten van deze anti-vloeimiddelen moeten om esthetische redenen (met borstelen of stralen) worden verwijderd.

Een ongecontroleerde plaatselijke warmte-inbreng tijdens het solderen kan vervorming tot gevolg hebben; controle na afloop van het solderen is dan noodzakelijk. Ook aanwezige restspanningen in het te solderen materiaal kunnen tot vervorming leiden; door vooraf spanningsarm te gloeien, kan vervorming worden voorkomen of beperkt.

## **15 Economische aspecten van het solderen**

In veel gevallen zal niet alleen op technische gronden, maar ook op economische gronden voor solderen worden gekozen. De keuze moet ook op deze gronden verantwoord zijn. In een beknopt overzicht wordt inzicht gegeven in de factoren die de kostprijs van een gesoldeerd product bepalen.

Hiertoe worden de volgende factoren in beschouwing genomen:

1. het soldeermateriaal;
2. de hulpmiddelen;
3. de reiniging;
4. de montage en dosering van soldeer/vloeimiddelen;
5. het soldeerproces;
6. de inspectie;
7. de loonkosten.

Punt 5 'het soldeerproces' kan verder worden onderverdeeld in de factoren:

- 5.1 de apparatuur (afschrijving/rente);
- 5.2 de onderhouds- en reparatiekosten;
- 5.3 het verbruik aan energie/gassen/water.

Bovenstaande factoren worden kort puntsgewijs toegelicht.

### **Ad. 1. het soldeermateriaal**

De prijs van het soldeer kan, afhankelijk van het type, variëren tussen enkele eurocenten en tientallen euro's per gram. Daar de soldeernaad een volume heeft, is vooral de soortelijke massa van het soldeer van belang voor de kosten van het soldeer.

### **Ad. 2. de hulpmiddelen**

Indien een te solderen constructie zelffixerend is, is een soldeertafel of een soldeermal (voor in een bad of oven) het enige benodigde hulpmiddel. Is de constructie echter niet zelffixerend, dan zijn hulpmiddelen als centerstag, centreermal, hechtglas e.d. nodig. Deze middelen eisen investeringskosten, hetgeen apparatuurafschrijving betekent.

### **Ad. 3. de reiniging**

Grondig reinigen kan handmatig met (alkalische of organische) oplosmiddelen gebeuren. Bij grotere productie-aantallen zal vaak een ontvettingsinstallatie (dampontvetten) worden toegepast; afzuiging is dan noodzakelijk. De kosten lopen op van eenvoudig verbruiksgoed tot aanschaf van installaties (ontvetting en afzuigen) en nodig onderhoud.

### **Ad. 4. de montage en dosering van soldeer/vloeimiddel**

Het samenstellen van werkstukdelen is vaak tijdrovend en dan ook een (loon)kostenfactor. Afhankelijk van het soldeerproces kan het soldeer en het eventuele vloeimiddel handmatig vooraf of tijdens het solderen worden aangebracht. Bij het gemechaniseerd solderen worden vaak doseerautomaten voor soldeer en vloeimiddel gebruikt, hetgeen wederom investeren en afschrijven betekent.

## **Ad. 5. het soldeerproces**

### **Ad.5.1 de apparatuur**

Afhankelijk van het gekozen soldeerproces kan de aanschaf van de benodigde apparatuur variëren tussen enkele honderden en vele tienduizenden euro's (voor een prijsindicatie per proces wordt verwezen naar de Procesomschrijvingen). Afschrijving en rente zullen afhankelijk van de productie-aantallen meer of minder van invloed zijn op de kostprijs.

### **Ad.5.2 de onderhouds- en reparatiekosten**

Een bepaald percentage van de investeringskosten moet worden aangehouden voor onderhoud en reparatie van de soldeerapparatuur; dit geldt ook voor de eerdergenoemde hulpmiddelen en apparatuur/installaties.

### **Ad.5.3 het verbruik aan energie/gassen/water**

De kosten van het verbruik aan energie hangen sterk samen met het toegepaste soldeerproces, de omvang van de en het aantal te solderen producten en de wijze van solderen (plaatselijk of geheel verhitten van het werkstuk). De benodigde energie kan worden verkregen door verbranding van gassen of betrokken van het elektriciteitsnet.

Ook worden voor ovensoldeerprocessen (soms) dure koelgassen gebruikt, terwijl water dan eveneens voor koeling wordt toegepast. Opslag van het gas in voorraadtanks en de distributie ervan vergt soms kostbare installaties. Ter beperking van het waterverbruik worden gesloten koelwatercircuits toegepast.

### **Ad. 6. de inspectiekosten**

Soms kan worden volstaan met een visuele inspectie; de kosten zijn dan meestal laag. Echter, moeten de gesoldeerde producten radiografisch of ultrasoon worden onderzocht, dan kunnen de andere flink toenemen. Ook lektesten en lekzoeken zijn vaak omslachtige en tijdrovende procedures, die kostenverhogend werken.

### **Ad. 7. de loonkosten**

Vaak blijkt de post loonkosten veruit de meest kostprijsbepalende, vooral bij handmatig solderen. Mechanisering van het soldeerproces kan deze kosten doen verminderen; het is dan zaak de andere stappen zoals reiniging, montage, dosering van soldeer/vloeimiddel e.d. eveneens te mechaniseren.

## **16 Arbo- en milieuaspecten van het solderen**

Bij het uitvoeren van soldeerwerkzaamheden kunnen emissies vrijkomen in de vorm van soldeerrook, gassen/dampen, straling en geluid, die de gezondheid van de soldeerder kunnen schaden. Bovendien blijven na afloop restanten (soldeer, vloeimiddelen) over, die bij onjuiste afvoer het milieu kunnen belasten.

Bij soldeerrook die schadelijk is voor de gezondheid, valt vooral te denken aan rook die lood- of cadmiumhoudend is. Ventileren en afzuigen naast het dragen van persoonlijke ademhalingsbeschermingsmiddelen (PABM) is dan nodig (zie hiervoor de SZW Arbobeleidsregel 4.9-2).

Bij onvolledige verbranding ontstaat het giftige koolmonoxidegas, zoals bijv. bij het vlamsolderen het geval kan zijn; ook kunnen zich bij het vlamsolderen giftige gassen als stikstofmono- en dioxiden (NO<sub>x</sub>) vormen. Ventileren en afzuigen zijn dan noodzakelijk.

Daar bij de zacht- en hardsoldeerprocessen vloeimiddelen worden gebruikt, kunnen bij het solderen dampen ontstaan die schadelijk voor de gezondheid zijn. Ventileren en afzuigen zijn noodzakelijk.

Straling in de vorm van infrarode(warmte) en ultraviolet straling, alsook fel zichtbaar licht, treedt op bij het laser- en elektronenstralsolderen; deze straling is schadelijk voor de ogen. Bij het autogeen vlamsolderen met een gasflux treedt fel, hinderlijk licht op. Het dragen van oogbescherming in de vorm van brillen met donkere glazen, UV-brillen e.d. is noodzakelijk.

Ook bij soldeerprocessen kunnen geluidsniveaus optreden die de 80 dB(A)-grens overschrijden; voorbeelden zijn het ultrasoonsolderen en onder bepaalde omstandigheden het autogeene vlamsolderen, het ovensolderen (bijv. vacuümvovens) en het elektronenstralsolderen. Bij de laatste twee processen zijn vooral de vacuümpompen hier debet aan. Het dragen van oordoppen, oorkappen of otoplastieken is dan noodzakelijk.

Voor het milieu schadelijke afvalstoffen die bij het solderen vrijkomen, zijn met name de lood-, cadmium- of chroomhoudende soldeerrestanten en de fluoridehoudende vloeimiddelresten. Deze afvalstoffen moeten als gevaarlijk afval worden behandeld en afgevoerd.

Ter bevordering van het veilig werken, gelden de volgende voorzorgsmaatregelen:

- ▶ elektrische soldeerbouten en -pistolen moeten van randaarde zijn voorzien;
- ▶ bij vlamsolderen moeten aansluitingen, slangen en gascilinders regelmatig op lekkage worden gecontroleerd;
- ▶ bij inductiefsolderen moet de soldeerder geen metalen voorwerpen als ringen e.d. dragen, daar deze door de werkspoel worden opgewarmd;
- ▶ bij weerstandsolderen moet men bedacht zijn op hoge spanningen en stromen (pace makers!);
- ▶ bij laser- en elektronenstralsolderen moet oogbescherming worden gedragen;
- ▶ bij infraroodsolderen moet eveneens oogbescherming worden gedragen;
- ▶ bij soldeer- en zoutbadsolderen moet men bedacht zijn op spatten en dienen de werkstukken droog te zijn, voordat ze in het bad gebracht worden, om stoomexplosies te voorkomen;
- ▶ bij ultrasoonsolderen moet gehoorbescherming worden gedragen;
- ▶ bij ovensolderen met waterstofgas moet worden gecontroleerd op lekkages om explosies te voorkomen, terwijl bij het beluchten van vacuümvovens rekening moet worden gehouden met het zuurstofverdringende stikstof- of argongas.

Eten, drinken en roken moeten tijdens soldeerwerkzaamheden worden vermeden.

## 17 Normering

Op de website ([www.nen.nl/servlet/shop.sv](http://www.nen.nl/servlet/shop.sv)) van het Nederlands Normalisatie Instituut (NEN) zijn soldeernormen te vinden. De belangrijkste worden hier weergegeven:

- ▶ NEN-ISO 9453:1994 en Zachtsoldeerlegeringen; Chemische samenstellingen en leveringsvormen
- ▶ NEN-ISO 9454-1:1994 en Vloeimiddelen voor zachtsolderen; Indeling en eisen; Deel 1; Indeling, etikettering en verpakking
- ▶ NEN-EN-ISO 9454-2:2000 en Vloeimiddelen voor zachtsolderen; Indeling en eisen; Deel 2; Prestatie-eisen
- ▶ NEN-(EN)-ISO 9455-1 t/m 16 Vloeimiddelen voor zachtsolderen; Beproevingsmethoden; Deel 1 t/m 16
- ▶ NEN 10068-2-20/44/54 Klimatologische en mechanische beproevingsmethoden voor elektrotechnische producten
- ▶ NEN-EN 1044:1999 en Hardsolderen; Toevoegmaterialen
- ▶ NEN-EN 1045:1997 en Hardsolderen; Vloeimiddelen voor hardsolderen; Indeling en technische leveringsvoorwaarden
- ▶ NEN-EN-ISO 10564:1997 en Materiaal voor hard- en zachtsolderen: Methoden voor monsterneming van zachtsoldeer voor analyse
- ▶ NEN-EN 12797:2000 en Hardsolderen; Destructieve beproeving van hardgesoldeerde verbindingen
- ▶ NEN-EN 12799:2000 en

Hardsolderen; Niet-destructief onderzoek van hardgesoldeerde verbindingen

- ▶ NEN-EN 13133:2000 en Hardsolderen; Kwalificeren van de soldeerder
- ▶ NEN-EN 13134:2000 en Hardsolderen; Goedkeuring van de procedure
- ▶ NEN-EN 14324:2002 Ontw. en Hardsolderen; Richtlijnen voor het toepassen van handgesoldeerde verbindingen
- ▶ NEN-EN-ISO 18279:2001 Ontw. en Hardsolderen; Onvolkomenheden in hardgesoldeerde verbindingen
- ▶ NEN-ISO 2553:1994 nl Las- en soldeerverbindingen; Symbolische weergave op tekeningen
- ▶ NEN-EN-ISO 3677:1995 en Toevoegmaterialen voor zacht- en hardsolderen; Aanduiding
- ▶ NEN-EN 3917 t/m 3948 en Lucht- en ruimtevaart ; Op nikkel gebaseerde legeringen; Toevoegmaterialen voor hardsolderen
- ▶ NEN-EN 3952 t/m 3958 en Lucht- en ruimtevaart ; Op zilver gebaseerde legeringen; Toevoegmaterialen voor hardsolderen
- ▶ NEN-EN 3960 t/m 3962 en Lucht- en ruimtevaart ; Legering op goudbasis; Toevoegmaterialen voor hardsolderen
- ▶ NEN-EN 3963 & 3964 en Lucht- en ruimtevaart ; Koper ;Toevoegmaterialen voor hardsolderen
- ▶ NEN-EN 4103 t/m 4105 en Lucht- en ruimtevaart ; Op nikkel gebaseerde legeringen; Toevoegmaterialen voor hardsolderen
- ▶ NEN-EN 746-5 :2000 en Industriële installaties voor warmtebehandelingsprocessen; Deel 5: Bijzondere veiligheidseisen voor zoutbadinstallaties

**N.B.:** *In de normen over toevoegmaterialen voor hardsolderen zijn ook vaak de toevoegmaterialen voor hoogtemperatuursolderen opgenomen.*



## Auteur

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

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

## Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur H.H. van der Sluis (tel.: 055-3661809)

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

### Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

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

### Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

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

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM  
afdeling Technische Bedrijfskunde  
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer  
telefoon 079 - 353 11 00  
telefax 079 - 353 13 65  
e-mail: [pbo@fme.nl](mailto:pbo@fme.nl)  
internet: <http://www.fme-cwm.nl>



Netherlands Institute  
for Metals Research



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

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

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

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

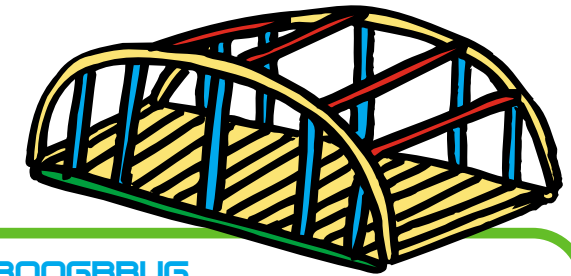
# BRUGGENBOUWEN



## TUIBRUG

Hoewel deze er iets anders uitziet dan de tuibruggen waarover je kan lopen of rijden, zoals de Erasmusbrug, werkt hij wel op dezelfde manier. De vier poten houden de kabels vast, waaraan het wegdek hangt. Zorg wel dat de poten stevig genoeg zijn, anders is het met deze brug snel gedaan.

TOMMIE MOET MET ZIJN VRACHTAUTO BINNEN 10 MINUTEN NAAR DE OVERKANT VAN DE RIVIER. HELP HEM, EN BOUW EEN VAN DEZE BRUGGEN. KAN JIJ TIJNS HELPEN?



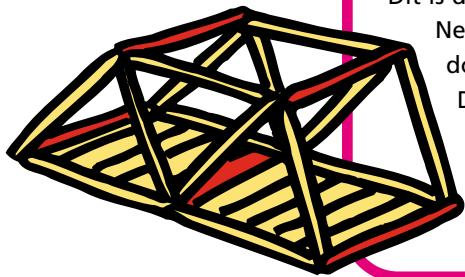
## BOOGBRUG

Deze mooie ronde brug kom je veel tegen in Nederland. De Van Brienoordbrug is een mooi voorbeeld. Hij is vooral goed voor grote, zware bruggen. Daarnaast is het heel makkelijk om hem ergens anders te maken, te verplaatsen en in korte tijd op zijn plaats te zetten.



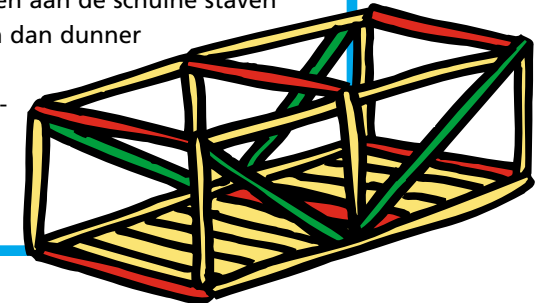
## WARREN-TRUSS BRUG

Dit is de meest toegepaste vakwerkbrug in Nederland. Hij is vrij licht voor een brug, maar door een slim ontwerp is hij wel sterk. Daarnaast is hij vergeleken met de tuibrug en de boogbrug vrij laag, waardoor hij minder opvalt in het landschap. De Warren-truss brug wordt meestal gebruikt voor korte bruggen.



## PRATT-TRUSS BRUG

Dit is ook een vakwerkbrug, maar anders dan de Warren-Truss. Die bestaat uit driehoeken, terwijl de Pratt-truss brug is opgebouwd uit allemaal vierkanten. Hierdoor wordt op de rechtopstaande staven alleen gedrukt en aan de schuine staven getrokken. Die kunnen dan dunner en goedkoper worden gemaakt. Ook de Pratt-truss brug wordt voornamelijk gebruikt voor korte bruggen.



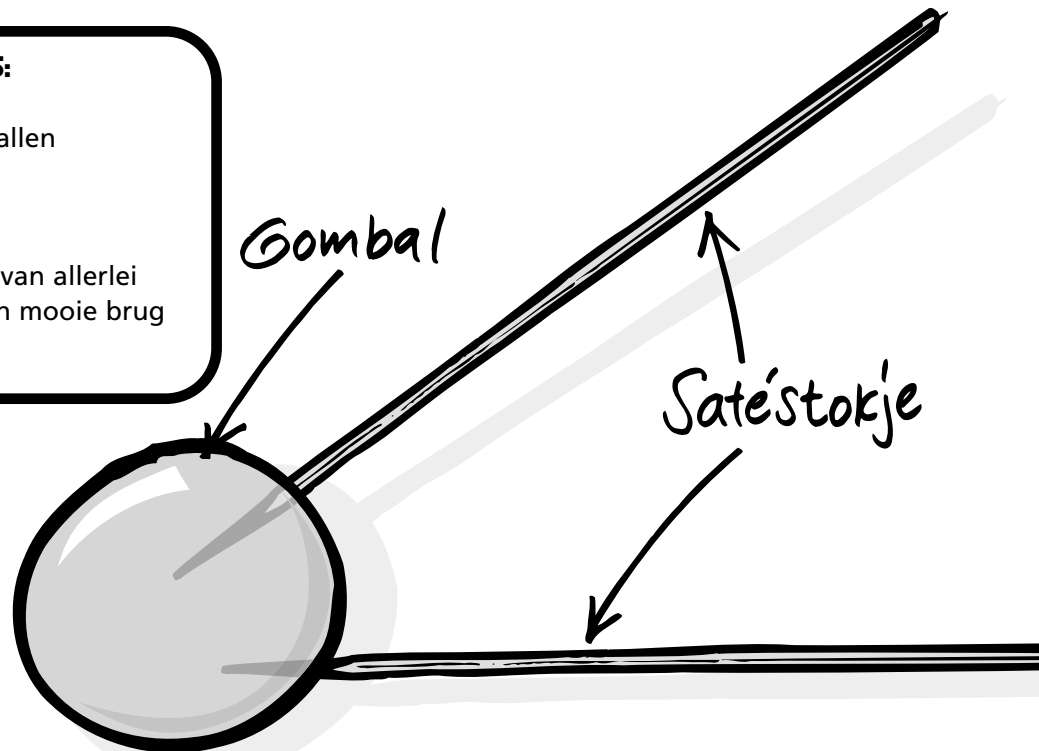
# SLA EEN BRUG NAAR JE TOEKOMST!

# BRUGGEN BOUWEN, OOK LEUK OM THUIS TE DOEN!

## JE HEBT NODIG:

- Satéstokjes
- Winegums of gomballen
- Touw
- Karton

Natuurlijk kun je ook van allerlei andere materialen een mooie brug bouwen.



## VOORBEELD:

Prik de satéstokjes in de gombal om ze aan elkaar te bevestigen.

## PAS OP!

Satéstokjes hebben scherpe punten en zijn niet bedoeld om jezelf of anderen mee te prikken. Kijk uit voor je ogen of voor andermans ogen!

## WIL JE SPANNENDE, ACTIEVE EN LEUKE AVONTUREN MEEMAKEN EN ONDERNEMEN?

Kijk dan op [www.jaarvandebrug.nl](http://www.jaarvandebrug.nl)

Van oktober 2004 tot en met augustus 2005 organiseren we voor iedereen van 8 t/m 14 jaar, in en rondom Delft diverse activiteiten waar je aan deel kan nemen. Alles in het teken van bruggen en bruggenbouwen. Op onze website vind je informatie over de verschillende activiteiten.

Kijk op [www.jaarvandebrug.nl](http://www.jaarvandebrug.nl) voor de activiteitenkalender.

## HET JAAR VAN DE BRUG

Het jaar van de Brug is de gezamenlijke voorlichtingscampagne van de TU Delft (faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen), het Techniek Museum Delft en de Nederlandse Bruggen Stichting.

Het doel van de campagne is jongeren te interesseren voor techniek en een technische opleiding.

[WWW.JAARVANDEBRUG.NL](http://WWW.JAARVANDEBRUG.NL)

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

## 2 INTRODUCTIE

Afb. 1:  
De krachten in een lijmver-  
binding.

### 2.1 Algemene informatie over lijmtechnieken

Omdat lijmen vanaf het begin als een industriële verbindingsmethode werd gezien naast lassen, solderen, klinken, etc. is er veel werk verzet op het gebied van onderzoek, ontwikkeling en techniek om de belangrijkste parameters voor succesvol lijmen te evalueren. Dit hoofdstuk leidt u door de basisprincipes van de lijmtechnologie, met als doel u de terminologie op het gebied van de lijmtechniek uit te leggen en een gemeenschappelijke kennisbasis te leggen voor de volgende hoofdstukken.

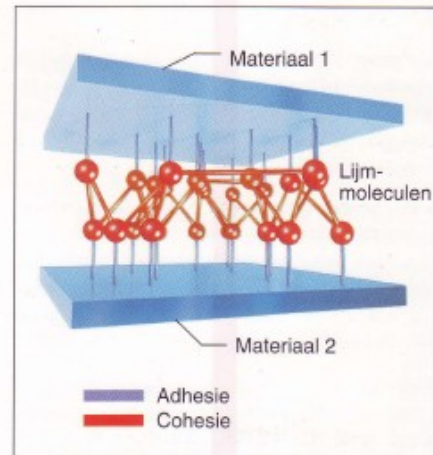
#### 2.1.1 De lijmverbinding

Lijmen zijn verbindingen tussen oppervlakken die uit verschillende substraten bestaan en die uit dezelfde of van elkaar verschillende materialen kunnen zijn opgebouwd. De sterkte van de lijm wordt beïnvloed door twee factoren, te weten:

- De sterkte van de hechting van de lijmlaag aan de lijmvlakken - genaamd adhesiesterkte; en
- De sterkte van de lijmlaag - genaamd cohesiesterkte (zie afbeelding 1).

#### 2.1.2 Adhesie

„Adhesie” is de sterkte van de hechting van de lijmlaag aan de lijmvlakken van twee materialen. De fysische aantrekkings- en absorptiekrachten, die samen worden beschreven als



de „Van der Waals krachten”, zijn de belangrijkste factoren voor hechting. Het bereik van deze intermoleculaire krachten is aanzienlijk lager als het lijm materiaal niet in direct contact komt met de te lijmen delen, bvb. door de relatieve ruwheid van mechanisch bewerkte oppervlakken. Dit is de reden waarom de lijm zo volledig mogelijk moet doordringen in het opgeruwde oppervlak en het volledige oppervlak moet bevochtigen. De sterkte van de lijmkracht hangt dus af van zowel de bevochtiging van het oppervlak (om de grootste intermoleculaire uitwisseling te realiseren) en de adhesie-eigenschappen van het oppervlak. Bij een gegeven oppervlaktespanning van de lijm hangt de bevochtiging af van de oppervlakte-energie van het substraat en de viscositeit van de lijm. De bevochtiging kan ook worden beperkt als er oppervlakcontaminanten zijn.

### 2.1.3 Cohesie

„Cohesie“ is de overheersende kracht tussen de moleculen binnen een lijm die het materiaal samen houdt. Tot deze krachten behoren:

- intermoleculaire aantrekkingskrachten (Van der Waals krachten) en
- de onderlinge vernetting van de polymeermoleculen zelf

Volgens de regel dat een keten slechts zo sterk is als de zwakste schakel moeten de krachten van adhesie en cohesie in een gelijmde verbinding ongeveer even groot zijn.

## 2.2 De uithardingseigenschappen van de lijmen van Loctite

De meeste lijmen van Loctite zijn reactieve polymeren. Deze veranderen van vloeibare vorm naar vaste vorm als gevolg van verschillende chemische polymerisatiereacties. Loctite heeft talloze lijmen ontwikkeld met speciale uithardingseigenschappen voor specifieke situaties. Men kan lijmen verdelen in de volgende groepen, afhankelijk van hun uithardingseigenschappen:

- anaërobe reactie
- blootstellen aan ultraviolet (UV) licht (ook secundaire uithardingsoptie)
- anionische reactie (Cyanoacrylaten)
- activeringssysteem (gemodificeerde acrylaten)
- vochtuitharding (siliconen, urethaan)
- warmteuitharding (epoxy)





### 2.2.1 Lijmen die harden door anaërobe reactie

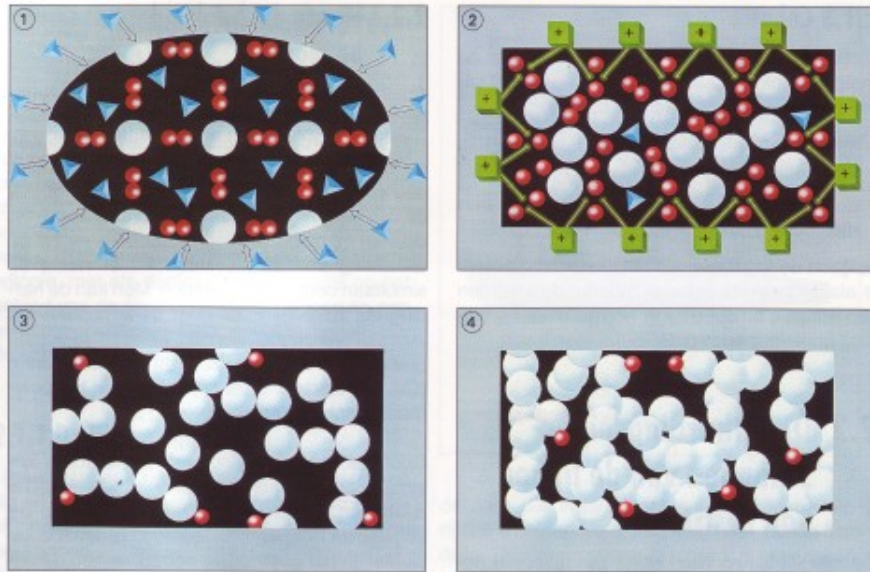
Anaërobe lijmen zijn één-component materialen die bij kamertemperatuur harden als ze van zuurstof worden uitgesloten. De uithardende component in de vloeistof blijft inactief zolang er nog contact is met atmosferische zuurstof. Als de lijm daar niet meer mee in contact komt, bv. doordat de delen in of op elkaar passen, zal de uitharding snel plaatsvinden - met name bij simultaan contact van metalen. Men kan de harding als volgt zien: wanneer de atmosferische zuurstof verdwijnt, worden er vrije radicalen gevormd en onder invloed van de metaalionen (Cu, Fe) starten deze vrije radicalen het polymerisatieproces (zie afbeelding 2).

Door het capillaire effect van de vloeibare lijm verspreidt het zich tot zelfs in de kleinste ruwheden en vult het de hele verbinding. De uitgeharde lijm past dan als een „verankerende sleutel“ in het opgeruwde oppervlak van de delen. Hierdoor worden cilindrische delen samen gehouden. Het uithardingsproces wordt ook bevorderd door het contact tussen de lijm en de metaaloppervlakken, die als katalysators fungeren (zie afb. 3). Passieve materialen hebben slechts weinig of geen katalyserend vermogen, waardoor er activatoren nodig zijn voor een snelle, totale uitharding. In dit geval wordt de vloeibare activator toegepast op één of beide te lijmen oppervlakken voordat de lijm wordt aangebracht. Er hoeven geen componenten te worden gemengd en u hoeft zich geen zorgen te maken over de vraag of de resten wel goed blijven.

## 2 INTRODUCTIE

Afb. 2:  
Het uithardingsproces van lijmen die uitharden door anaërobe reactie: in vloeibare vorm (1) wordt de lijm stabiel gehouden door een voortdurende toevoer van zuurstof. Als de lijm wordt opgesloten in de verbindingsruimte en wordt afgezonderd van de zuurstoftoevoer (2) worden de peroxyden veranderd in vrije radicalen door een reactie met de metaal ionen. De vrije radicalen beginnen daarop met de vorming van polymerenketens (3). In uitgeharde vorm (4) is een solide structuur te zien met „onderling gekoppelde“ polymerenketens.

-  = peroxyden
-  = zuurstof
-  = vrije radicalen
-  = monomeren
-  = metaal ionen



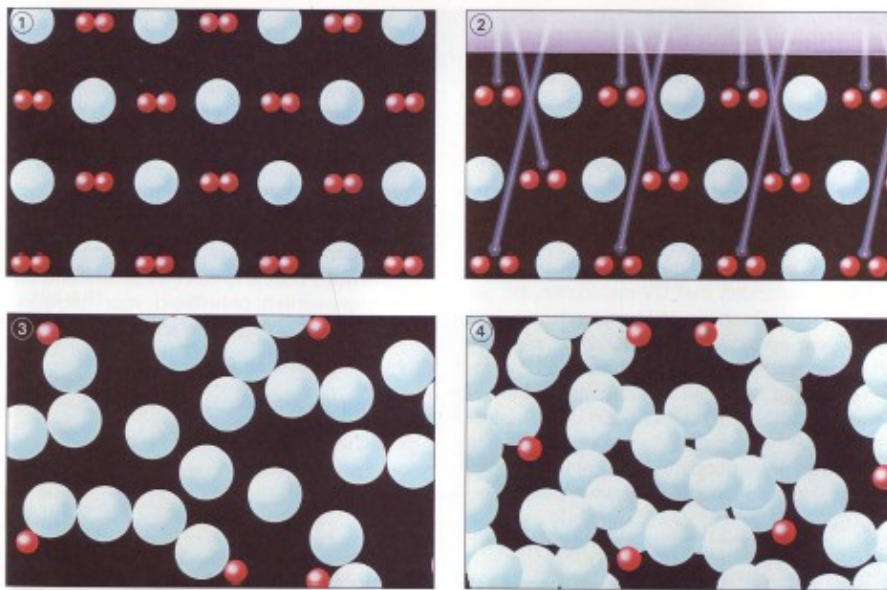
Afb. 3:  
De invloed van passieve en actieve materialen op de anaërobe uitharding.

Lijmen die anaeroob uitharden hebben de volgende kenmerken:

- zeer grote afschuifsterkte
- temperatuurbestendig (van  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  tot max.  $+230\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- snelle uitharding
- eenvoudig te doseren met doseerautomaten
- afwerking van de delen op micro-niveau niet nodig; ruwheid tussen 8 en  $40\text{ }\mu\text{m}$  acceptabel
- gelijktijdige afdichting met zeer goede chemische weerstand
- goede weerstand tegen trillingen
- goede weerstand tegen dynamische belasting

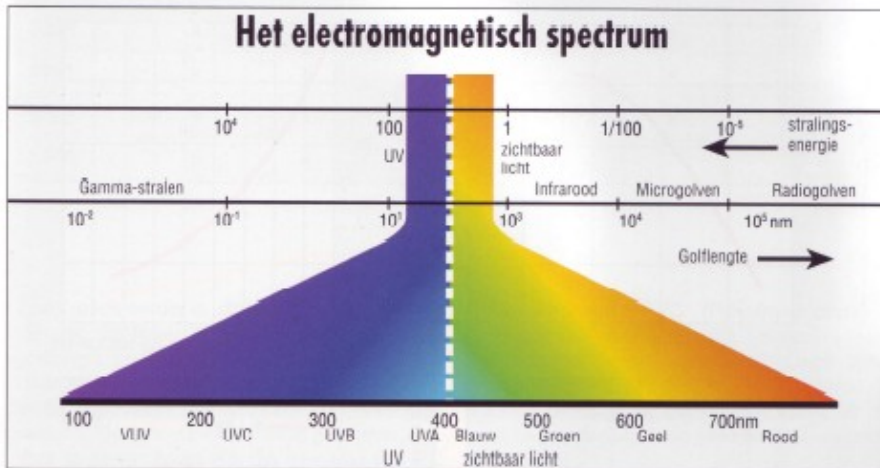
Actieve materialen Snelle uitharding	Passieve materialen Langzamere uitharding*
Messing	Anodische coatings
Brons	Aluminium
Koper	(met laag Cu. gehalte)
IJzer	Keramik
Staal	Chromaatlaag
	Glas
	Hooggeleerd staal
	Nikkel
	Oxyde laag
	Kunststof
	Zilver
	Roestvrij staal
	Tin
	Zink

\* Gebruik activator voor een snelle uitharding



Afb. 8:  
Lijmen die worden uitgehard met ultraviolet (UV) licht: in vloeibare vorm (1) coëxisteren monomeren en fotoinitiators zonder met elkaar te reageren. Bij blootstelling aan UV-licht (2) veranderen de fotoinitiators in vrije radicalen. De vrije radicalen starten de vorming van monomeerketens (3). Onderling verbonden ketens in hun huidige staat (4).

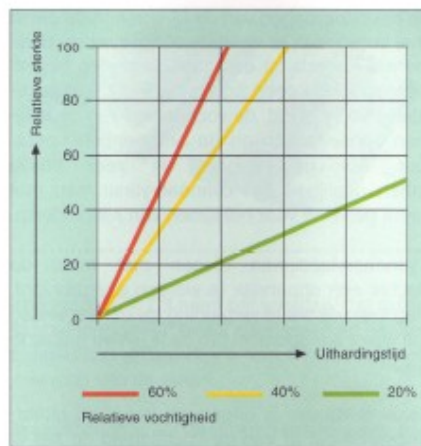
●● = fotoinitiators  
● = vrije radicalen  
● = monomeren



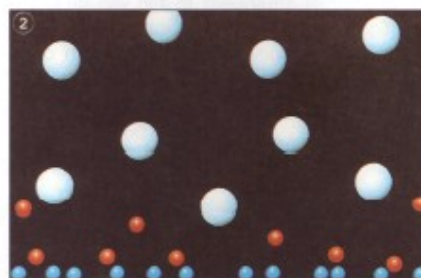
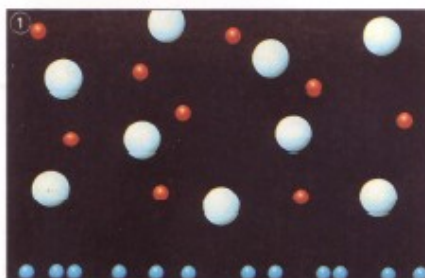
Afb. 9:  
Electromagnetisch spectrum. Deze grafiek geeft een overzicht van de soorten stralingsenergie en de daarbij behorende golflengtes die het elektromagnetische spectrum vormen.



Droge lucht heeft over het algemeen geen gevolgen voor de sterkte van de verbinding. Maar langere uithardingstijden vertragen de productie. Met behulp van een luchtbehandelings-systeem kunnen de vochtigheidsomstandigheden in de lijmwerkplaats optimaal worden gehouden. Zuurrijke oppervlakken (pH-waarde <7) kunnen het uithardingsproces vertragen of zelfs onmogelijk maken, terwijl alkalische oppervlakken (pH-waarde >7) de uitharding versnellen (zie afbeelding 14).



Afb. 13: Het uitharden van cyanoacryaatlijmen als een functie van relatieve vochtigheid.



Afb. 14: Het uithardingsproces van cyanoacryaatlijmen kan worden beschreven als: een zure stabilisator voorkomt dat de moleculen gaan reageren, waardoor de lijm vloeibaar blijft (1). Oppervlakvochtigheid neutraliseert de stabilisator (2), waarna het polymerisatieproces begint (3). Er worden een groot aantal polymerketens gevormd, die onderling verbonden zijn (4).

● = zure stabilisator  
 ● = oppervlakvochtigheid  
 ● = monomeren

## Verbinden van dunne plaat en buis

In deze publicatie wordt ingegaan op het verbinden van dunne plaat en buis met behulp van de diverse verbindingprocessen. Deze publicatie is er een uit een serie van vijf die naast deze algemene publicatie tevens vier verbindingstechnieken behandelen, zoals lassen (TI.03.14), lijmen (TI.03.15), mechanisch verbinden (TI.03.16) en solderen (TI.03.17).

### Inhoud

1	Inleiding	1
2	Verbindingstechnieken	1
	Lassen	2
	Solderen	2
	Lijmen	3
	Mechanisch verbinden	3
	Kosten van het verbinden	4
3	Ontwerpen voor verbinden	4
4	Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het verbinden	6
	Voorbehandeling	6
	Vorbewerking	6
	Niet thermische scheidingstechnieken	6
	Thermische scheidingstechnieken	7
	Keuze van de scheidingstechniek	8
5	Keuze verbindingprocessen	8

### 1 Inleiding

Binnen de Nederlandse metaalverwerkende industrie is de afgelopen jaren een verschuiving gaande van het gebruik van dik naar dun materiaal. Dit is niet in de laatste plaats te wijten aan het teruglopen van activiteiten in vooral de maritieme sector (scheepsbouw, off-shore). Men schat in dat alleen al op jaarbasis (anno 2003) binnen Nederland aan ongelegeerde dunne- staalplaat ruim 500.000 ton wordt verwerkt; 10 jaar geleden was dit nog geen vijfde deel hiervan. Deze toename is met name te danken aan de transportsectoren en wordt veelal ingegeven door de wens te komen tot lichtere constructies. Verder mogen ook materialen als aluminium en roestvast staal zich verheugen in een toenemende belangstelling voor constructieve toepassingen binnen de Nederlandse industrie.

Voor het duurzaam verbinden van materialen is in de loop der tijd een groot aantal technieken ontwikkeld. Lassen, solderen, lijmen en mechanisch verbinden zijn de verbindingstechnieken die elk op hun eigen wijze een rol spelen in de huidige metaalverwerkende industrie.

Een aantal partijen heeft, ingegeven door behoefte vanuit de praktijk om te komen tot een overzicht van verbindingstechnieken, het initiatief genomen tot het opzetten van een aantal zogenaamde Tech-Info-bladen. In deze Tech-Info-bladen is een aantal van de meest voorkomende verbindingstechnieken die bij het MKB worden gebruikt, opgenomen. Hiernaast is een website opgezet waar gebruikers via het interactief invullen van een aantal vragen suggesties krijgen voor één of meerdere verbindingprocessen. Tevens is het mogelijk van elk verbindingproces verdere gegevens op te vragen met onder andere een korte omschrijving van het proces en de belangrijkste kenmerken.

Op dit moment zijn er vijf Tech-Info-Bladen beschikbaar, gericht op het verbinden van dunne (metaal)plaat of buis in dikten van 0,3 tot 3 mm:

- ▶ Verbinden van dunne plaat en buis.
- ▶ Lasprocessen voor dunne plaat en buis.
- ▶ Lijmprocessen voor dunne plaat en buis.
- ▶ Soldeerprocessen voor dunne plaat en buis.
- ▶ Mechanische verbindingprocessen van dunne plaat en buis.

In dit Tech-Info-blad (Verbinden van dunne plaat en buis) wordt een overzicht gegeven van de algemene

aspecten die van toepassing zijn voor alle genoemde verbindingstechnieken.

Dit geldt onder andere ten aanzien van de constructieve aspecten en het voorbereiden en behandelen voorafgaande aan het verbinden.

### 2 Verbindingstechnieken

Wanneer verbindingen worden toegepast vormen deze meestal een essentieel en veelal kritisch onderdeel van een product. De kwaliteit van de verbinding is dus bepalend voor het goed functioneren van een product. Materialen kunnen op veel verschillende manieren worden verbonden.

Belangrijk is hierbij een onderscheid te maken tussen de volgende combinaties van materialen:

- ▶ Metaal aan metaal verbindingen;
- ▶ Metaal aan niet-metaal verbindingen;
- ▶ Niet-metaal aan niet-metaal verbindingen.

De praktijk leert dat sommige verbindingstechnieken alleen geschikt zijn voor één van de hierboven genoemde combinaties, terwijl andere verbindingstechnieken uitstekend kunnen worden ingezet voor twee of zelfs voor alle drie de combinaties. Een veel gebruikte indeling voor de verschillende verbindingstechnieken is de volgende:

1. **Thermisch verbinden**  
Hiervan zijn de groepen lassen en solderen de belangrijkste representanten
2. **Fysisch-chemisch verbinden**  
Waarbinnen het lijmen de belangrijkste plaats inneemt
3. **Mechanisch verbinden**  
Hieronder vallen technieken als bout- en moerverbindingen, felsen, klinken en het drukvoegen.

In het kader van dit Tech-Info-blad is het onmogelijk om voor alle hierboven genoemde groepen en combinaties enerzijds en alle beschikbare verbindingprocessen anderzijds de mogelijkheden te bespreken. Er is dan ook een selectie gemaakt. De Tech-Info-bladen beperken zich tot de combinatie van metaal aan metaal verbindingen. Zelfs deze beperking levert nog zo veel mogelijkheden en varianten op, dat er ook ten aanzien van de keuze van de verbindingprocessen nog beperkingen moesten worden aangebracht.

Uitgangspunt was hierbij dat de verbindingstechnieken/processen die uiteindelijk zijn opgenomen minimaal 90% van de behoefte van de MKB bedrijven in Nederland moesten dekken. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het opnemen van de volgende verbindingstechnieken in de Tech-Info-bladen:

- ▶ Lassen;
- ▶ Solderen;
- ▶ Lijmen;
- ▶ Mechanisch verbinden.

Binnen deze technieken zijn alle verbindingprocessen geselecteerd die geschikt zijn voor het verbinden van dunne plaat en buis in het diktebereik van 0,3 tot 3 mm.

#### Het verbinden van metalen

De keuze van het juiste verbindingproces is voor een constructeur niet altijd eenvoudig en vanzelfsprekend. Een veelheid aan factoren is van invloed op de juiste keuze van een verbindingproces. Keuzes worden

binnen bedrijven vaak gemaakt op basis van de ervaring die de constructeur heeft met de verschillende verbindingprocessen en de beschikbare verbindingprocessen binnen het bedrijf. Dit is op zich een goede uitgangspositie.

Nieuwe materialen en nieuwe verbindingprocessen maken echter dat deze wijze van kiezen ter discussie kan komen te staan, waardoor het niet meer zo vanzelfsprekend is, dat op deze manier tot een verantwoorde keuze kan worden gekomen. Indien men kennis heeft van andere technieken kan men nieuwe kansen creëren!

Hiernaast ontstaat er vanuit de organisatie een steeds grotere druk om efficiënter te produceren tegen lagere kosten. Investerings in nieuwe verbindingprocessen vormen niet langer een drempel, mits de kosten verlaagd en de kwaliteit verbeterd kunnen worden en liefst beiden. Voorwaarde is uiteraard wel dat de investering binnen een acceptabele tijd wordt terugverdiend. Het is echter kortzichtig te veronderstellen dat alleen met het in huis halen van een nieuw verbindingproces de zaak opgelost is. Vaak vraagt het toepassen van een nieuw verbindingproces om aanpassing van het ontwerp, terwijl het ook goed mogelijk is dat er logistieke aanpassingen in de productiewerkplaats of het hele bedrijf noodzakelijk zijn. Het is goed hier van tevoren terdege rekening mee te houden.

De keuze voor een bepaald verbindingproces lijkt ogenschijnlijk eenvoudig en is dit soms ook, zeker als het aantal keuzemogelijkheden beperkt is tot enkele verbindingprocessen. Lastiger wordt het als er meerdere verbindingprocessen bruikbaar zijn uit meerdere groepen van verbindingprocessen.

De veelheid aan verbindingprocessen enerzijds en aan te beschouwen criteria anderzijds maakt het vrijwel onmogelijk om rekening te houden met alle varianten.

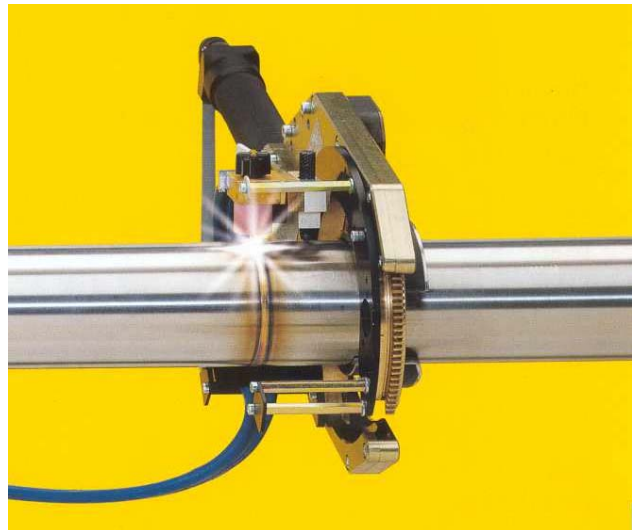
Soms is het mogelijk om op basis van de sterke en zwakke punten van de verschillende processen tot een globale keuze voor een specifieke groep van verbindingstechnieken te komen. Hierna worden kort enige kenmerken van de verschillende groepen van verbindingstechnieken besproken.

### Lassen

Van alle verbindingstechnieken is het lassen in veel gevallen de verbindingstechniek met de laagste kosten per meter, ondanks het feit dat bij vrijwel alle lasprocessen het noodzakelijk is, speciale voorzieningen te treffen met betrekking tot de ARBO- en Milieu-aspecten. Kostenbesparend kan zijn dat veel lasprocessen eenvoudig te mechaniseren zijn (zie figuur 1).

Door middel van het lassen kunnen vrijwel alle metalen worden verbonden, zij het niet met alle lasprocessen. Dit maakt dat lassen een zeer veel gebruikte verbindingstechniek is voor het verbinden van dunne plaat en buis. Uit oogpunt van statische en dynamische sterkte is het lassen vaak een goede keuze; er komt een verbinding tot stand, die bij de meeste materialen vrijwel altijd een gelijke sterkte heeft als de te verbinden materialen. Een belangrijke beperking van lassen is, dat er tijdens het verbinden vrijwel altijd warmte in het materiaal wordt gebracht. De ingebrachte warmte kan aanleiding zijn tot het optreden van ongewenste vervormingen, maar ook, afhankelijk van de te verbinden metalen, tot een afname van de kwaliteit van de verbinding.

Bij het handmatig lassen is er vaak een grote mate van vakmanschap nodig om een goede verbinding tot stand te brengen. Hierdoor is de kwaliteit van de verbinding dus deels afhankelijk van het vakmanschap van de lasser. Een punt van zorg is het teruglopende aantal lassers met voldoende vakmanschap om het lassen handmatig goed te kunnen uitvoeren.



figuur 1 Het gemechaniseerd TIG-lassen van een pijp/pijpverbinding

### Solderen

Ook bij het solderen wordt er warmte in de te verbinden materialen gebracht. Het verschil met het lassen is echter, dat de temperatuur waarbij de materialen worden verbonden, over het algemeen lager is dan bij het lassen; immers het soldeer heeft een lager smeltpunt dan de te verbinden materialen. Hier staat tegenover dat bij het solderen vaak een grotere oppervlakte moet worden verwarmd dan bij het lassen, omdat bij het lassen, wordt gebruikgemaakt van een veel geconcentreerder warmtebron.

Ook bij het solderen is het, evenals bij het lassen, mechanisch verbinden en lijmen, belangrijk dat het ontwerp is aangepast om te komen tot een optimale soldeerverbinding. Het ontwerpen van de verbinding met overlappen is bij op sterkte belaste constructies vaak een noodzaak.

Ook voor het maken van een goede soldeerverbinding is veel vakmanschap nodig. Mechanisatie van het solderen is echter voor sommige processen goed mogelijk, waardoor het proces minder mensafhankelijk wordt.

Het is het vrijwel altijd noodzakelijk de te solderen onderdelen goed voor te bewerken en te behandelen, omdat dit mede de kwaliteit van de soldeerverbinding bepaalt.

Bij het solderen kunnen, evenals bij het lassen en lijmen, vrijwel alle metalen worden verbonden (let op: niet met alle soldeerprocessen!). Door de capillaire werking van het soldeer is het mogelijk verbindingen op moeilijk bereikbare plaatsen in het werkstuk te maken.

Het solderen kan, afhankelijk van het gekozen soldeerproces, zowel statisch als dynamisch sterke verbindingen geven. Soms wordt het solderen, ten onrechte, in dit opzicht wel eens als inferieur gezien ten opzichte van het lassen. Zelfs met een voor het solderen oneigenlijke constructie is het nog mogelijk goede resultaten te behalen ten aanzien van de sterkte van de verbinding, zoals figuur 2 toont.

Het solderen geeft evenals het lassen een metallische verbinding, dat wil zeggen een verbinding met een goede elektrische- en warmtegeleidbaarheid. Er kunnen met het solderen evenals met het lassen en het lijmen vloeistof- en gasdichte verbindingen worden gemaakt.

Evenals bij het lijmen wordt er bij het solderen meestal gebruikgemaakt van overlapverbindingen. De spleet wordt hierbij volledig opgevuld door het soldeer, zodat er geen kans is op spleetcorrosie. Doordat een afwijkend



figuur 2 Vlamgesoldeerde verbinding in aluminium (stompe verbinding in aluminium - EN AW-1050). Na het solderen (links) en na het vervormen van het product (rechts)

toevoegmateriaal wordt gebruikt ten opzichte van de te verbinden metalen, is er wel kans op galvanische corrosie.

De meeste soldeerprocessen maken gebruik van vloeimiddelen. Voor het verwijderen van vloeimiddelresten is vaak een nauwkeurige nabehandeling of nabewerking noodzakelijk.

### Lijmen

Het lijmen is evenals het lassen en het solderen een verbindingstechniek die een continue verbinding geeft, waardoor een regelmatige belastingoverdracht kan plaatsvinden. Hier komt nog bij dat een gelijmd verbinding tot stand komt zonder een wezenlijke beïnvloeding van de materiaaleigenschappen van de te verbinden delen. Als bij het lijmen warmte in het materiaal wordt gebracht (voor het uitharden), is de temperatuur hierbij echter zo laag, dat dit bij de meeste metalen geen teruggang van de sterkte geeft. Dit resulteert veelal in kwalitatief hoogwaardige verbindingen met een hoge statische- en vermoeiingssterkte. Een reden waarom deze techniek steeds meer wordt gebruikt binnen de automobiellindustrie (zie figuur 3).



figuur 3 Lotus Elise: verlijmd aluminium frame

Met het lijmen kunnen gas- en vloeistofdichte verbindingen worden gerealiseerd, indien de spleet tussen de te verbinden delen wordt opgevuld. Dit laatste is ook uit oogpunt van corrosie een voordeel.

Het lijmen kan uitstekend worden gecombineerd met drukvoegen. Hierdoor wordt enerzijds de sterkte van de verbinding verhoogd en anderzijds wordt op deze manier de te lijmen onderdelen gefixeerd tijdens het uitharden. Dit laatste is een noodzakelijke voorwaarde, omdat de meeste gelijmd verbindingen hun sterkte moeten verkrijgen door uit te harden bij kamer- of een verhoogde temperatuur.

Voor het maken van een goede lijmverbinding is, evenals dit bij veel andere verbindingstechnieken het geval is, vakmanschap nodig. Tevens is het noodzakelijk de te verbinden delen goed voor te bewerken en te behandelen. Als dit laatste niet zorgvuldig gebeurt, gaat dit bijna altijd ten koste van de kwaliteit van de lijmverbinding.

Een belangrijk voordeel van het lijmen is dat zeer eenvoudige verbindingen tussen ongelijksoortige materialen kunnen worden gemaakt; dit geldt voor metaal-metaal verbindingen, metaal aan niet-metaal verbindingen en voor niet-metaal aan niet-metaal verbindingen.

Evenals bij de andere verbindingstechnieken, geldt dat bij het ontwerp al rekening moet worden gehouden met het feit dat de onderdelen gelijmd moeten worden.

### Mechanisch verbinden

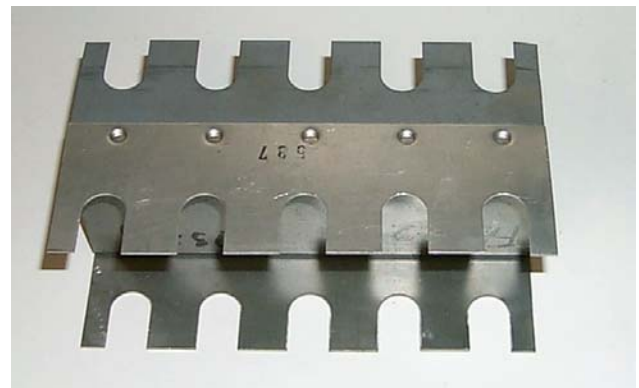
Bij het mechanisch verbinden zijn de verbindingen eenvoudig tot stand te brengen, zonder dat er veel vakmanschap voor nodig is. Dit maakt deze techniek minder mensafhankelijk. Ook is het mechanisch verbinden, evenals het lassen, eenvoudig te mechaniseren. De reproduceerbaarheid van de verbindingen is hoog voor, zowel het gemechaniseerd als het handmatig verbinden.

Een belangrijk voordeel van het mechanisch verbinden is, dat vrijwel alle metalen te verbinden zijn en dat op zeer eenvoudige wijze ook metalen aan niet-metalen kunnen worden verbonden, evenals metalen die zijn voorzien van deklagen.

Doordat er geen warmte in het materiaal wordt gebracht tijdens het mechanisch verbinden, worden de te verbinden onderdelen niet verder beïnvloed (verzwakt). De sterkte van de verbinding is over het algemeen vergelijkbaar met die van de sterkte van de te verbinden basismaterialen. Bij het drukvoegen, een steeds meer toegepast proces, moeten de te verbinden metalen voldoende vervormingscapaciteit hebben, om verbonden te kunnen worden.

Het mechanisch verbinden is een milieuvriendelijke verbindingstechniek, die voor de uitvoerende een beperkte belasting met zich meebrengt.

Een beperking van het mechanisch verbinden is, dat de verbinding altijd zichtbaar blijft (zie figuur 4). Dit maakt dat daar waar hoge esthetische eisen gesteld worden aan het uiterlijk van het product, mechanisch verbinden meestal niet kan worden toegepast. Voor niet-zichtdelen is er echter geen enkele belemmering om het mechanisch verbinden toe te passen.



figuur 4 Indrukkingen in productdelen, die zijn verbonden door middel van het drukvoegen

Een andere beperking van het mechanisch verbinden is, dat er bijna alleen overlapverbindingen kunnen worden gemaakt. Dit maakt dat er tijdens het ontwerp van het product al rekening moet worden gehouden met het feit dat de onderdelen mechanisch verbonden gaan worden. Hiernaast is het zo dat er altijd een spleet aanwezig blijft tussen de te verbinden delen. Dit is uit oogpunt van corrosie minder gewenst. Door het mechanisch verbinden te combineren met bijvoorbeeld het lijmen, kitten of solderen, kan de spleet worden opgevuld en spleetcorrosie op een effectieve manier worden voorkomen. Een andere mogelijkheid is het gebruik van rubber afdichtingen.

In veel gevallen is een voorbereiding noodzakelijk bij het mechanisch verbinden. Deze bestaat normaliter uit het aanbrengen van een gat in het plaatmateriaal.

### Kosten van het verbinden

De keuze voor een verbindingstechniek wordt zowel gemaakt op technische als op economische gronden. De selectiemethodiek (op de Website) voorziet alleen in een technische selectie, omdat de kosten vaak zeer productspecifiek zijn. Dit geldt uiteraard niet voor de investeringskosten, deze zijn rechtstreeks gekoppeld aan het verbindingproces of de gewenste uitvoering hiervan. Een generiek model voor het bepalen van productkosten is echter niet beschikbaar, omdat elk product zijn specifieke eisen en kenmerken kent. Het is aan de gebruiker om de kosten voor het productspecifieke deel zelf nader te beschouwen.

### 3 Ontwerpen voor verbinden

Bepalend voor het succes van de keuze voor een verbindingstechniek is, of er tijdens het ontwerp al rekening is gehouden met de toe te passen verbindingstechniek, met andere woorden of de constructie optimaal is aangepast aan de toe te passen verbindingstechniek. Het is meestal niet mogelijk een constructie, die bijvoorbeeld voor het mechanisch verbinden is geoptimaliseerd, met dezelfde efficiëntie te lassen of omgekeerd. Zondigen tegen deze grondregel verhindert een optimale inzet van de gekozen verbindingstechniek uit oogpunt van technische mogelijkheden en verhoogt bijna altijd de kosten voor de uitvoering en dus de totale productkosten.

Productiegericht ontwerpen staat dan ook in toenemende mate in de belangstelling. Het besef groeit, dat voor een werkelijk efficiënte productie nog een aanmerkelijke inspanning nodig is in het traject waar het product en de wijze van produceren worden gedefinieerd. Optimaliseren van de fabricage en montage begint dus al in de ontwerpfase. Een meer productiegerichte aanpak kan aanzienlijke kostenbesparingen opleveren. In veel gevallen wordt 60 tot 70% van de kostprijs van een product al vastgelegd in het ontwerp. De productie heeft vaak maar een marginale ruimte om de kosten te kunnen beïnvloeden. Door het gemakkelijk toegankelijk maken van kennis van (nieuwe) verbindingstechnieken of het hergebruiken van bestaande informatie, kunnen tijdens de ontwerpfase en de werkvoorbereiding de efficiëntie aanzienlijk verhoogd en dus de kosten verlaagd worden.

Het is voor de constructeur van groot belang bij te blijven ten aanzien van de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van nieuwe materialen en het verbinden hiervan. Het vakgebied "verbindingstechnologie" is voortdurend in beweging, waarbij de volgende aspecten kenmerkend en zelfs soms tegenstrijdig zijn:

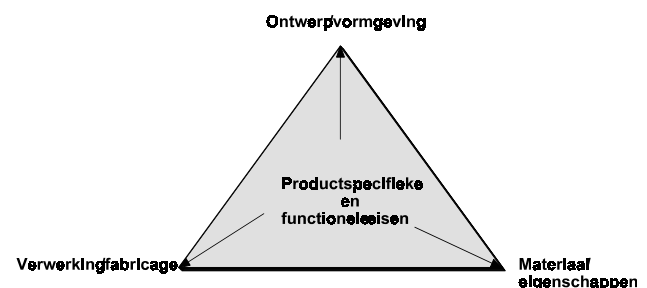
- ▶ Ontwikkelingen op het gebied van nieuwe verbindingstechnieken (lassen, lijmen, mechanisch verbinden, solderen);
- ▶ Ontwikkelingen op het gebied van materialen, zoals kunststoffen, gelamineerde plaat, metallisch en niet-metallisch beklede plaat, vezelversterkte kunststoffen, hybride materialen (composiet materialen) en keramiek, 'complex phase' stalen, microgelegeerde staalsoorten, Bake Hardened (BH) staalsoorten, Dual Phase staalsoorten, TRIP staal, High Strength SS Superaustenieten, Duplex staal, enz.;
- ▶ Ontwikkelingen op het gebied van de scheidings- en omvormtechnologie; bijvoorbeeld het maken van lasergesneden pen-gat/sleuf verbindingen als voorbereiding voor het lassen;
- ▶ De verschuivingen in toepassing van zwaardere naar steeds lichtere constructies; bijvoorbeeld constructies die zijn opgebouwd uit sandwich en hoogsterke materialen.
- ▶ Bij de materiaalselectie en selectie voor een verbindingproces zal de recyclebaarheid van de producten

- een steeds belangrijker plaats in gaan nemen (Design for Disassembly);
- ▶ Een veranderende ontwerpfilosofie; bijvoorbeeld het reduceren van het aantal onderdelen door DFA analyses (Design For Assembly);
- ▶ Het ontwerpen op maakbaarheid krijgt (terecht) in toenemende mate aandacht.

Om op al deze veranderingen in te kunnen blijven spelen, is het van toenemend belang, al in een zo vroeg mogelijk stadium van het ontwerp, de juiste afweging te maken ten aanzien van de keuze voor de meest geschikte verbindingstechniek. Een juiste afweging van verbindingstechnieken vraagt een systematische evaluatie van kenmerken, zoals belastbaarheid en bestendigheid van de verbinding in de constructie en productieconsequenties.

Het ontwerp start meestal vanuit de functionele eisen van het product.

Zijn eenmaal de productspecifieke of functionele eisen bekend, dan spelen voor de constructeur drie aspecten een doorslaggevende rol. Een en ander wordt schematisch weergegeven in de bekende driehoek (figuur 5).



figuur 5 Invloedsfactoren op het ontwerp van een product

In een vroegtijdig stadium moet al worden nagedacht over de toe te passen verbindingstechniek. Een ontwerper/constructeur ziet zich dus voor de vraag gesteld welke verbindingstechniek moet worden toegepast bij het maken van een (nieuwe) constructie en zal (vaak onbewust en iteratief) een gedachtegang doorlopen, zoals aangegeven in figuur 6.

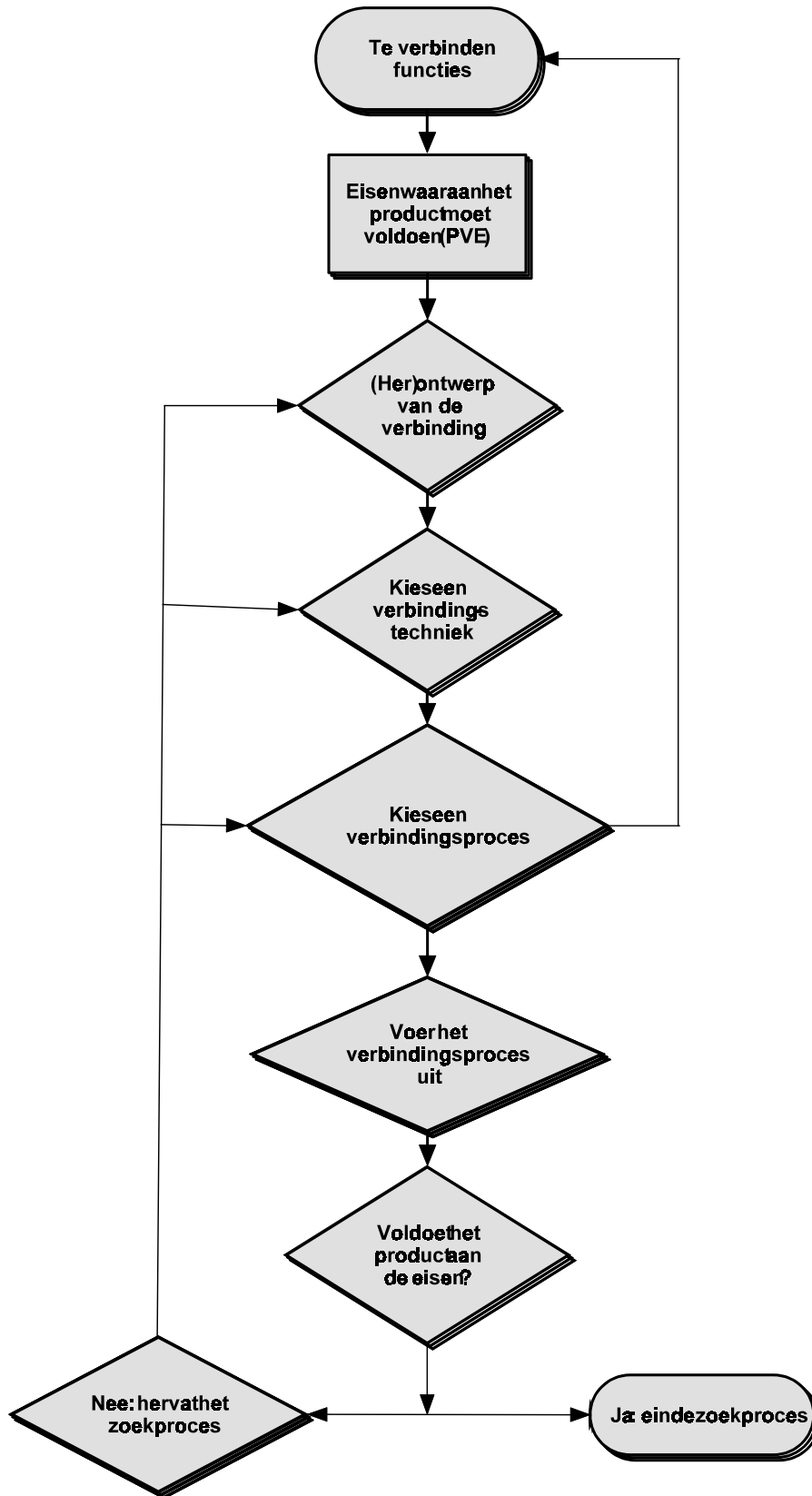
Een dergelijke gedachtegang zal zeker plaatsvinden indien de constructie wordt opgebouwd uit materialen, waarmee de constructeur weinig of geen ervaring heeft.

De wijze van aanbrengen of het tot stand komen van een verbinding hangt sterk af van de gekozen techniek in combinatie met de te verbinden materialen, de vorm, de aard en het toepassingsgebied van het eindproduct, de seriegrootte en de kostprijs. Voor verbindingprocessen gelden dezelfde regels als voor andere productieprocessen ten aanzien van bijvoorbeeld de kwaliteit, kostprijs, uitvoerbaarheid, conserveerbaarheid, levensduur en integrale sterkte.

Bij het eerste conceptontwerp moeten deze elementen al aandacht krijgen, omdat al tijdens deze fase de basis voor de praktische uitvoerbaarheid en productkwaliteit wordt gelegd. Hierbij moet worden opgemerkt, dat vaak vele wegen leiden tot acceptabele oplossingen, die elk hun voor- en nadelen, kritische tijdpad én bijbehorende kosten hebben. Het is aan de ontwerper/constructeur om hieruit een gefundeerde keuze te maken.

### Aandachtspunten vanuit het ontwerp

Hierna volgt een aantal aandachtspunten waarop moet worden gelet bij het ontwerpen van dunne plaatconstructies vanuit het oogpunt van verbinden. Het is belangrijk hierbij te beseffen, dat het rendement van de productie bij dunne plaat producten vaak niet wordt bepaald door de verbindingstijd, maar door de combinatie van de totale cyclustijd van een product en de reproduceerbaarheid van de verbinding.



figuur 6 Schematische weergave van de interactieve gedachtegang die een constructeur doorloopt bij de selectie van een verbindingproces

### Productopbouw

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

- ▶ het verdient aanbeveling reproduceerbare referentiematen of een assenstelsel op te nemen in het product

- of de mal (dit verhoogt de nauwkeurigheid);
- ▶ de eisen die worden gesteld aan het eindproduct, moeten worden vertaald naar de eisen die aan het verbindingproces moeten worden gesteld; de eigenschappen van de gebruikte materialen en de eisen die moeten worden gesteld aan eventuele mallen;

- ▶ het gebruik van monodelen heeft vanuit productie-technisch oogpunt de voorkeur, aangezien deze:
  - eenvoudig te fixeren zijn in mallen;
  - logistiek eenvoudiger te verwerken zijn.
 Voorbeelden van monodelen zijn o.a.: pers-, zet- en kantbankdelen.

Vanuit de functionele eisen die aan het product worden gesteld en die de basis vormen voor het ontwerp, worden altijd afgeleide eisen gedefinieerd, die verder moeten worden ingevuld. Dit kunnen onder andere eisen zijn ten aanzien van het materiaal, de geometrie van de materialen (toleranties), de productvoorbewerking, en eisen aan bijvoorbeeld mallen.

#### 4. Voorbehandeling en voorbereiding van onderdelen voor het verbinden

##### Voorbehandeling

Afhankelijk van de te verbinden metalen kunnen de voorbereiding en -behandeling verschillen. Uitgangspunt is altijd dat de te verbinden materialen metallisch blank en schoon moeten zijn. Dit houdt in, dat er geen vet, vuil en verf ter plaatse van de te verbinden delen aanwezig mogen zijn. Bij lijmen en mechanisch verbinden mag wel verf aanwezig zijn. Via deze technieken zijn ook voorgelakte platen te verbinden. Voor het reinigen van te verbinden delen zijn uitstekende middelen in de handel. Als er zich op de te verbinden delen een (dikke) oxidelaag bevindt (walshuid, roest, aluminiumoxide, enz.), dan moet deze altijd worden verwijderd, bij voorkeur door mechanische middelen als borstelen of slijpen.

Bij het borstelen is het gebruikelijk hiervoor een stalen borstel te gebruiken. Voor roestvast staal en non-ferro metalen moet echter altijd een roestvaststalen borstel worden gebruikt.

Het is aan te raden roestvaststaalborstels alleen maar voor één specifiek materiaal te gebruiken en niet onderling te wisselen voor de verschillende materialen in verband met het overdragen van deeltjes van het ene op het andere materiaal (contaminatie). Met name bij het lijmen is het noodzakelijk een goede voorbehandeling van de te verbinden delen toe te passen, daar er anders een minder goede kwaliteit van de lijmverbinding ontstaat.

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

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

##### Vorbewerking

Afhankelijk van de materiaalsoort, de materiaaldikte, de kwaliteitseisen, de belasting, enz. kan het noodzakelijk zijn de te verbinden delen (bijvoorbeeld bij het lassen) van een afschuiving te voorzien. De ervaring leert echter, dat dit zelden het geval is bij dunne plaat ( $\leq 3$  mm). Dit wil echter niet zeggen dat er geen sprake is van een voorbereiding van de te verbinden delen. Bij sommige verbindingprocessen is het van essentieel belang dat de te verbinden delen nauwkeurig zijn voorbereid. Er moet hierbij vaak een compromis worden gevonden tussen gewenste kwaliteit en de kosten van het aanbrengen. Meestal wordt ten aanzien van het voorbereiden van de te verbinden delen onderscheid gemaakt tussen niet-thermisch (draaien, frezen, schaven, ponsen, nibbelen, knippen, zagen, boren en waterstraalsnijden) en ther-

misch voorbereiden (autogeen snijden, plasmasnijden, lasersnijden).

Alle genoemde technieken zijn in principe geschikt voor het aanbrengen van rechte sneden in dunne plaat, buis of profiel. Opgemerkt moet echter worden dat het autogeen snijden pas vanaf ongeveer 3 - 4 mm mogelijk is (alleen voor ongelegeerd staal) en dus ongeschikt is voor het snijden van kleinere materiaaldikten. Enkele voorbereidingstechnieken voor het voorbereiden van plaat- en buisdelen zullen hierna kort worden besproken. Meer informatie op dit gebied is te vinden in de FME-CWM voorlichtingspublicaties [1].

##### Niet-thermische scheidingstechnieken

Niet-thermische scheidingstechnieken zijn technieken, waarbij geen warmte in het werkstuk wordt ingebracht. De materiaalkundige eigenschappen van het materiaal worden dus niet aangetast. Wel is het zo dat er vaak grote krachten op de te scheiden materialen worden uitgeoefend, waardoor een goede ondersteuning van de te scheiden materialen noodzakelijk is.

##### Ponsen en nibbelen

Ponsen en nibbelen zijn mechanische scheidingstechnieken, waarbij de scheiding tot stand komt door het afschuiven van materialen. Ponsen is een snel scheidingsproces, omdat in één keer de totale contour wordt gesneden.

Voor het ponsen is speciaal gereedschap en een pers nodig. Ten aanzien van het maken van vormspecifieke delen geldt bijvoorbeeld, dat er productgerichte snijstempels noodzakelijk zijn. Het ponsen en nibbelen geven over het algemeen ruwe oppervlakken met kans op microscheurtjes in het oppervlak. De maatvoering is beperkt, terwijl bij bijvoorbeeld het nibbelproces vaak ongewenste scherpe (gehakte) punten of ribbels aanwezig zijn, die later voor de nodige (stel)problemen kunnen zorgen.

De prijs van een pons- en nibbelsysteem is sterk afhankelijk van het type systeem en de bewegings- of manipulatie-apparatuur. De investeringen van een pons- en nibbelsysteem kunnen variëren tussen € 20.000,- voor een zeer eenvoudige tot ca. € 500.000,- voor geavanceerde systemen.

##### Waterstraalsnijden

Het waterstraalsnijden is ook een mechanisch proces, waarbij met name de materiaaldikte en hardheid bepalend zijn voor het snijgedrag en de kwaliteit van de snede. Bij het waterstraalsnijden wordt water onder een druk variërend tussen 500 en 5000 bar door een spuitmond met een doorlaatopening tussen 0,1 en 0,4 mm geperst. Voor het snijden van metalen die een grotere dikte hebben dan 0,05 mm, worden slijpstoffen aan het water toegevoegd om de abrasieve werking van het water te vergroten.

Voor dunne materialen (tot enige millimeters) is de snede nagenoeg recht, voor dikkere materialen begint de snede recht en wordt vervolgens enigszins conisch (divergerend). Hierbij heeft de ruwheid aan de bovenzijde van de snede een waarde van circa  $Ra = 2$  à  $3 \mu m$  en neemt toe tot  $Ra = 5$  à  $10 \mu m$  aan de onderzijde van de snede. In principe kan nagenoeg braamloos worden gesneden. Het waterstraalsnijden van dunne materialen kan bij onvoldoende ondersteuning van de productdelen problemen opleveren door de grote reactiekrachten van de waterstraal.

De breedte van de snede bedraagt voor zachte en dunne materialen, zonder toevoeging van abrasief ongeveer 0,1 mm. Bij dikkere materialen die met toevoeging van abrasief gesneden worden, varieert de snedebreedsheid tussen 1,5 en 2 mm. De nauwkeurigheid, die met het waterstraalsnijden kan worden bereikt, is zowel afhankelijk van de stabiliteit van de straal karakteristiek als

van de nauwkeurigheid van het bewegingssysteem. Een nauwkeurigheid van  $\pm 0,05$  mm is realiseerbaar voor het snijden zonder abrassief en 0,1 mm voor het snijden met abrassief. Voor ongelegeerd staal en roestvast staal is de snijsnelheid ongeveer 750 mm/min voor 1 mm dikte.

De belangrijkste voordelen en beperkingen van het waterstraalsnijden worden aangegeven in tabel 1. Tevens is een vergelijking gemaakt ten aanzien van materialen die wel met behulp van het waterstraalsnijden kunnen worden gesneden, maar niet met het plasma- en lasersnijden; processen die voor het snijden van dunne materialen elkaars concurrenten zijn.

De prijs van een waterstraalsnijsysteem is sterk afhankelijk van de uitvoering met betrekking tot de waterdruk, toepassing van abrasief, waterbehandeling, manipulator, besturing, enz. De prijzen variëren tussen € 50.000,- voor een zeer eenvoudig tot ca. € 500.000,- voor een uitgebreid systeem.

### Thermische scheidingstechnieken

Bij thermische scheidingstechnieken is sprake van warmte, die het moeder materiaal tot smelten brengt.

In principe zijn er drie basistechnieken ten aanzien van het thermisch snijden, die soms worden gecombineerd, te weten:

- ▶ sublimeersnijden (verdampen van het materiaal);
- ▶ smeltsnijden (smelten en wegblazen van het gesmolten materiaal);
- ▶ brandsnijden (verbranden en wegblazen van het gesmolten materiaal).

### Plasmasnijden

Het plasmasnijden is ontwikkeld als snijproces voor metalen, waarvan het smeltpunt lager ligt dan dat van zijn oxiden zoals roestvast staal, aluminium, koper, enz. Het principe van het plasmasnijden is voornamelijk gebaseerd op smelten en wegblazen van het materiaal en niet op het verbranden. Om een plasmaboog te creëren wordt eerst een niet-overgedragen hulpboog gestart door middel van een hoogfrequente hulpspanning. De overgedragen plasmaboog bestaat uit een elektrische boog met een hoge energiedichtheid en hoge boogtemperatuur (ca 24.000°C). Deze (ingesnoerde) plasmaboog zorgt ervoor, dat er metalen kunnen worden gesneden. Bij het plasmasnijden zorgt een aparte gasstroom (transportgas) ervoor, dat het vloeibare materiaal (de eigenlijke snede) wordt weggeblazen. De transportgasen kunnen bestaan uit (mengsels van) stikstof, lucht of zelfs zuivere zuurstof.

Bij de vorming van de plasmaboog wordt er veel UV-straling opgewekt. Andere typische problemen bij het plasmasnijden zijn lawaai en microstof (arbo-onvriendelijke, zeer fijn verdeelde metaaldeeltjes en oxiden). Door het injecteren van water rondom de plasmaboog (hiervoor is speciale snijkop nodig) kan deze boog verder worden geconcentreerd.

De reden voor het toepassen van dit proces is het streven naar een nog smallere en energierijkere plasmaboog met als voordelen weinig (plaat)vervorming, minder lawaai en minder emissie. Het plasmasnijden met waterinjectie wordt vooral toegepast voor dunne plaat.

Er kan zelfs onder water worden plasmagesneden, wat eveneens aantrekkelijk is bij dunne plaat (weinig vervormingen) en weinig stof, straling en geluid veroorzaakt. Momenteel wordt het plasmasnijden steeds vaker gebruikt voor het snijden van dunne plaat en buis. Er kunnen met het plasmasnijden metalen worden gesneden vanaf circa 1 mm materiaaldikte.

De prijs van een plasmasnijsysteem is sterk afhankelijk van het type systeem en de eventuele bewegings- en manipulatie-apparatuur. De investeringen van een plasmasnijsysteem variëren van € 10.000,- voor een eenvoudig tot ca. € 50.000,- voor een uitgebreid systeem.

### Lasersnijden

Bij het lasersnijden wordt een geconcentreerde lichtbundel van één golflengte (monochromatisch) opgewekt. Op de plaats waar moet worden gesneden, wordt de bundel via lenzen gefocuseerd, waardoor er een zeer hoge energiedichtheid  $10^7$  W/cm<sup>2</sup> kan worden bereikt. Deze energie wordt op het materiaaloppervlak omgezet in geconcentreerde warmte. Met dezelfde laserbundel kan zowel gelast als gesneden worden. Het type laser bepaalt welke materialen kunnen worden gesneden.

Het lasersnijden kan met alle processen worden uitgevoerd: verdampen, smelten en verbranden, ofwel sublimier-, smelt- en brandsnijden.

Er is momenteel een tweetal typen lasers geschikt voor het snijden van metalen: de CO<sub>2</sub> laser en de Nd:YAG-laser. Beiden hebben hun specifieke voor- en nadelen. De gebruiker kiest op basis van de te snijden materialen, of andere overwegingen voor een specifiek type laser. Belangrijke voordelen van het lasersnijden zijn onder andere:

- ▶ weinig warmte-inbreng;
- ▶ hoge snijsnelheden bij dunne plaat;
- ▶ een kleine snijvoeg (< 0,1 mm);
- ▶ het snijden van contouren vormt geen probleem;
- ▶ specifiek geschikt voor het snijden van dunne plaat en buis.

tabel 1 Voor- en nadelen van het waterstraalsnijden en de belangrijkste verschillen met lasersnijden

Voordelen waterstraalsnijden	Beperkingen	Wel snijbaar met water, echter niet met plasma	Wel snijbaar met water, echter niet met laser
contactloos proces	mondstukslijtage bij het snijden met abrasief (korte standtijd)	gelamineerde materialen	gelamineerde materialen
geen warmteontwikkeling	'nat' proces	vezel-versterkte kunststoffen	vezel-versterkte kunststoffen
geen vervorming	grote investering	hybride materialen (composieten)	hybride materialen (composieten)
geen rook- of stofproductie	snijsnelheid is langzamer naarmate het materiaal harder is	poreuze materialen	poreuze materialen
CNC-proces dus eenvoudig te programmeren	goede ondersteuning van de productdelen bij dunne plaat noodzakelijk		metalen met grote dikte (> 50 mm) te snijden
geen beperkingen ten aanzien van het soort materiaal			hoogreflecterende metalen
gering materiaalverlies door smalle snede (snede 0,1 – 2 mm)		diverse kunststoffen, incl. rubber	diverse kunststoffen, incl. rubber



Hiernaast zijn er uiteraard ook beperkingen waaronder:

- ▶ hoge investering noodzakelijk;
- ▶ opharden van de gesneden kanten (staal);
- ▶ uitgebreide veiligheidsvoorzieningen noodzakelijk.

Het lasersnijden verkeert, ten aanzien van het snijden van dunne plaat, in een constante concurrentie met het plasmasnijden en het waterstraalsnijden. Het grote voordeel van het laatste proces is de betrekkelijk geringe investering die noodzakelijk is ten opzichte van het lasersnijden.

De prijs van een lasersnijsysteem is sterk afhankelijk van het type laser en de bewegings- c.q. manipulatie-apparatuur. De investeringen van een laser, inclusief veiligheidsvoorzieningen variëren van € 100.000,- voor een zeer eenvoudig tot ca. € 1.000.000,- voor een uitgebreid systeem.

Op het gebied van laserbewerkingen is een aantal voorlichtingspublicaties uitgegeven door de Vereniging FME-CWM

### **Keuze van de scheidingstechniek**

Uitgangspunt bij de keuze van een scheidingstechniek vormt de productspecificatie met de eisen betreffende de toe te passen materialen, de vorm- en maatnauwkeurigheden en de kwaliteit van de snijkanten. Na de selectie van de in aanmerking komende scheidingstechnieken op basis van deze eisen, vindt de definitieve keuze plaats op basis van een economische afweging. Ten aanzien van de technische aspecten spelen de volgende selectiecriteria een belangrijke rol:

- ▶ de materiaalsoort;
- ▶ de materiaaldikte;
- ▶ de vorm van de snede: rechte of gebogen lijnen;
- ▶ de geëiste nauwkeurigheid.

Ten aanzien van de economie spelen onder andere een belangrijke rol:

- ▶ de investering (apparatuur, veiligheidsvoorzieningen, voorzieningen ten behoeve van arbo en milieuzorg);
- ▶ de operationele kosten (mens, apparatuur);
- ▶ de kosten van slijtdelen.

De technische keuze is in veel gevallen eenvoudig te maken. De economische aspecten kunnen eveneens vaak betrekkelijk eenvoudig worden doorgerekend aan de hand van bijvoorbeeld de investeringskosten, de seriegrootte en de gewenste kwaliteit van de gesneden onderdelen. Voor een aantal bewerkingsprocessen is er een duidelijke overlap in toepassing. Dat betreffen het pons-nibbelen, plasmasnijden, lasersnijden en waterstraalsnijden voor de kleinere materiaaldikten.

## **5. Keuze verbindingssystemen**

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

Om het juiste verbindingssysteem te kunnen kiezen, zijn dus selectiecriteria nodig. De geroutineerde werkvoorbereider kiest een verbindingssysteem op basis van zijn ervaring. Meestal kiest hij uit de in het bedrijf beschikbare mogelijkheden. Dat houdt het gevaar in dat hij niet op de hoogte is van betere mogelijkheden bij anderen (uitbesteden) of met de nieuwere apparatuur op de markt (investeren).

Een andere, door de historie gegroeide beperking is vaak, dat iemand alles weet van bijvoorbeeld mechanische verbindingssystemen en weinig van bijvoorbeeld het

lijmen of omgekeerd. Dat is meestal afhankelijk van de aard van het bedrijf waarin men werkzaam is (bedrijfsblindheid).

In het kader van het in de inleiding genoemde FME-CWM project, is een eerste opzet gemaakt van een keuzemethodiek voor het selecteren van een verbindingssysteem voor dunne plaat, aan de hand van door de gebruiker in te geven selectiecriteria.

### **'Dunne Plaat Online'**

De website 'DunnePlaat-Online' is ontstaan uit de behoefte om de keuzeproblematiek op een duidelijke en toegankelijke manier beschikbaar te stellen aan het MKB. De website is bereikbaar vanuit de websites van een aantal van de deelnemende partners in het project waaronder: FME-CWM, FDP en NIL.

Bij binnenkomst op [www.dunneplaat-online.nl](http://www.dunneplaat-online.nl) ziet men het bovenstaande schermbeeld. Naast de tekst is direct de menu-structuur zichtbaar, die tijdens het gehele verdere selectieproces zichtbaar en dus bruikbaar blijft.

Het menu bestaat uit achtereenvolgens:

#### Home

Hiermee keert men telkens weer terug naar de homepage van waaruit men kan beginnen (zie figuur 7).



figuur 7 Homepage van [www.dunneplaat-online.nl](http://www.dunneplaat-online.nl)

#### Waarom deze site?

Onder deze knop wordt u kort op de hoogte gesteld van de achtergrond van het project waarin uiteindelijk deze keuzemethodiek tot stand is gekomen.

#### Proceskeuze

Onder deze knop treft u een zoekprogramma aan, dat u ondersteunt in het selecteren van mogelijk geschikte verbindingstechnieken, echter voorafgegaan door een korte gebruiksaanwijzing.

Na lezing hiervan (of direct), kunt u door naar de werkelijke keuzesystematiek door op de tekstbutton 'Naar het programma voor de proceskeuze' te klikken.

Na akkoord gegaan te zijn met de voorwaarden komt u in het selectiescherm.

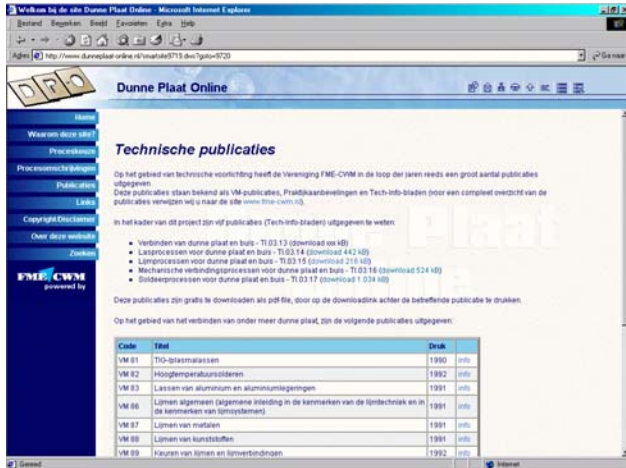
#### Procesomschrijvingen

Onder de knop 'procesomschrijvingen' treft u een totaaloverzicht aan van de processen en procesvarianten die onder voorwaarden kunnen worden toegepast bij het verbinden van dunne plaat. Het zijn er voorlopig 146, alfabetisch gerangschikt per hoofdgroep.

Een druk op de knop 'info' achter het betreffende proces brengt u gedetailleerde informatie over het betreffende proces. Deze informatie krijgt u ook te zien als u via de keuzematrix op de gesuggereerde processen drukt.

## Publicaties

Als u naar deze pagina gaat (zie figuur 8), treft u naast een verwijzing naar een vijftal publicaties die in het kader van dit project zijn vervaardigd en als pdf-files zijn te downloaden, tevens een lijst van publicaties aan, die belangrijke informatiebronnen vormen bij uw definitieve keuze. Zij bieden de mogelijkheid tot nog meer informatie over de wellicht door u al geselecteerde verbindingen-processen voor uw onderhavige product.



figuur 8 Pagina met overzicht van publicaties

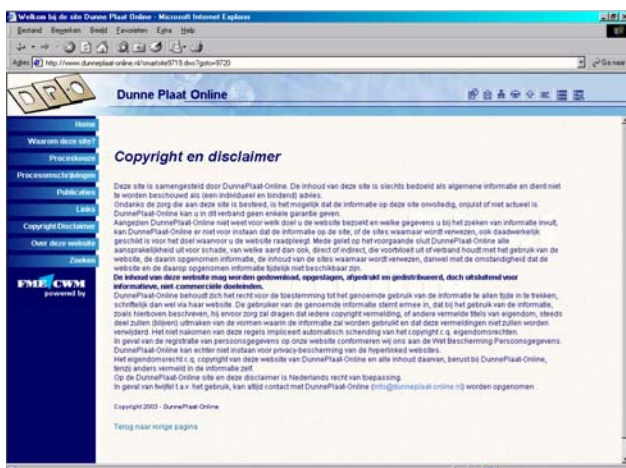
## Links

Onder de knop Links gaan belangrijke internetadressen schuil, waar u meer informatie op verschillende vakgebieden kunt vinden. Heeft u een selectie van een of meer verbindingen-processen gemaakt, dan kunt u bij de gelinkte organisaties meer informatie of nadere detaillering van uw keuze verkrijgen.

## Copyright/disclaimer

Het mag duidelijk zijn dat het projectteam dat deze informatie samenstelde nooit de verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke keuze op zich kan nemen. Daarvoor zijn er nog te veel factoren in het spel die niet op afstand zijn in te schatten.

De juridische verklaring hiervan treft u onder deze knop aan, maar die komt u ook tegen voordat u het keuze-programma gaat gebruiken (zie figuur 9).



figuur 9 Pagina met disclaimer

## Over deze website

Onder deze knop vind u een aantal algemene gegevens, zoals een verklaring van de navigatieknoppen boven in de pagina, de ideale resolutie om het een en ander te

bekijken, het adres om uw op- en aanmerkingen naar toe te sturen, een link naar Acrobat Reader om de pdf-files te kunnen lezen en nog een korte disclaimer.

## Zoeken

Via deze knop komt u in een zoekvenster, waarmee u naar woorden en woordcombinaties kunt zoeken op de site.

## De keuze van een verbindingenproces

De werkwijze die u moet volgen om een eerste resultaat van een selectie te verkrijgen, is eenvoudiger dan u denkt. Onder de koppen:

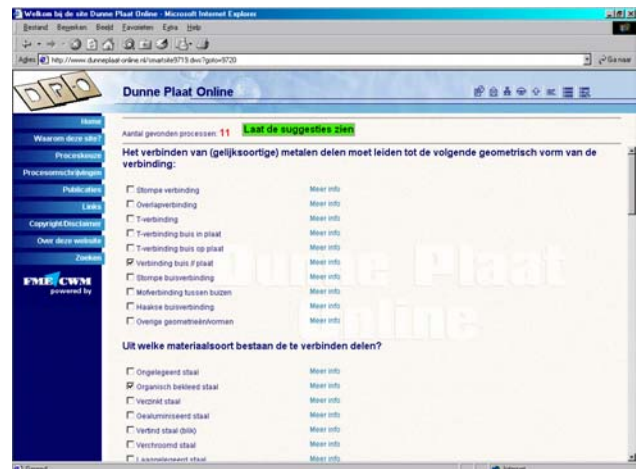
*"Het verbinden van (gelijksortige) metalen delen moet leiden tot de volgende geometrisch vorm van de verbinding:";*

*"Uit welke materiaal soort bestaan de te verbinden delen?"*

*"Moet de verbinding losneembaar zijn?";*

*"Wat is de gebruikstemperatuur van de verbinding?"*

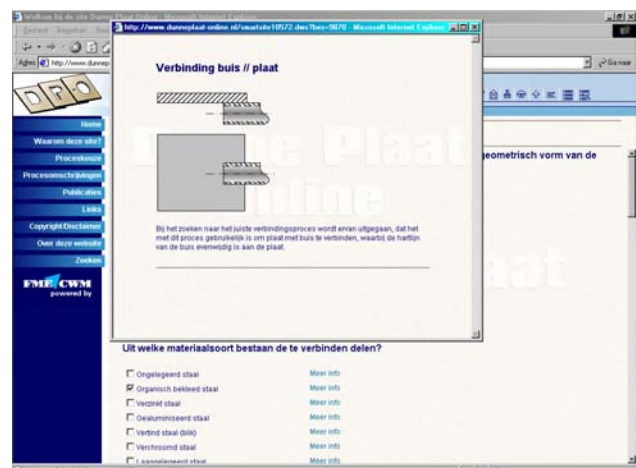
en vele andere selectiecriteria, kunt u een keuze maken, door deze aan te vinken met uw muis (zie figuur 10).



figuur 10 De vragenpagina waarin u kunt selecteren

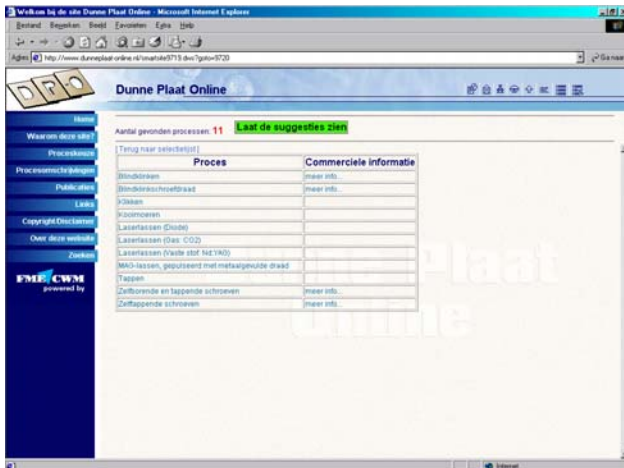
leder keer als u een keuze maakt, ziet u aan de bovenzijde achter "Aantal gevonden processen" het aantal processen, waarmee u de bewuste verbinding kunt maken.

Onder de tekst "meer info" treft u veelal verduidelijkende schermen aan voor de uitdrukkingen die ervoor staan. Wanneer men bijvoorbeeld bij een kenmerk niet weet wat er precies mee wordt bedoeld, kan worden doorgeklikt, waarna bijvoorbeeld ten aanzien van het kenmerk 'T-verbinding buis in plaat' het scherm in figuur 11 zichtbaar wordt.



figuur 11 Verduidelijking 'T-verbinding buis in plaat'

Indien u een overzichtelijk aantal suggesties heeft, kunt u gaan kijken welke processen dit zijn. Dit doet u door op de button 'Laat de suggesties zien' te drukken. U krijgt dan een overzicht van de voorgestelde processen in tabelvorm te zien (zie figuur 12).



figuur 12 Overzicht van voorgestelde processen

Door op het proces van uw keuze te drukken, kunt u meer achtergrondgegevens van het betreffende proces bekijken (figuur 13), inclusief een overzichtstabel onderaan de pagina (figuur 14). U kunt deze eventueel uitprinten. Achter sommige processen staat de opmerking "meer info". Deze linkt dan door naar een pagina waarin links aanwezig zijn naar bedrijven die zich op het gebied van het betreffende proces begeven.



figuur 13 Voorbeeld van een procesomschrijving

Overzichtstabel		
Blindklinken		
Varianten	Uitneembaarheid	niel uitneembaar
	Mutgereedschappen	Mutgereedschappen zijn nodig
	Elektrische isolatie verbinding	nee
Productform	Thermische isolatie verbinding	nee
	Plaat aan plaat	gevoelbaar, maar niet voor slompje of T-verbinding
	Plaat aan bus	alleen langverbinding mogelijk
Automatiseren	Bus aan bus	niel geschikt
	Handmatig	mogelijk
	Combinatie	mogelijk
Materiaal	Ongeperst staal	geschikt
	Beleerd metaal	geschikt
	Laggelegeerd staal	geschikt
Vraag	Aluminium RWB	geschikt
	Aluminium	geschikt
	Koper	geschikt
Toleranties	Voorbehandeling	geen voorbehandeling nodig
	Voorbewerking	geen aanbrengen noodzakelijk
	Thermische geleidbaarheid	geen kritische parameter
Apparatuur	Tolerantie op voorbewerking	0 tot 0,25 mm
	Eenzijdige pakafstand	0,3-5 enkele plaat s 3 mm
	Verbinden van meer dan 2 lagen	mogelijk
Opmerkingen	Tolerantie op pakafstand 0,15 %	tot 15 % variabele pakafstand mogelijk
	Verplaatsbaar	ja
	Mantelbaar	ja
Opmerkingen	Versterking	tot 6 15.000
	Druk aanhoud verbinding	ja, veld
	Schbare verbindingen door verbinden	nee
Opmerkingen	Verenigingslijden	geen of beter 1 o.v. uitgangsmateriaal
	Combinatiegereedschappen	geen of beter 1 o.v. uitgangsmateriaal
	Handmatig reproduceerbaar	goed
Opmerkingen	Combinatiegereedschappen	goed
	Inspectiebaarheid verbinding	goed visueel te beoordelen
	Combinatiegereedschappen	geen uitgangsmateriaal
Opmerkingen	Combinatiegereedschappen	geen
	Combinatiegereedschappen	geen
	Combinatiegereedschappen	geen

figuur 14 Overzichtstabel aan het einde van de procesbeschrijving

## Auteurs

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

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

## Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteurs A. Gales (tel.: 040-2650247, e-mail: a.gales@ind.tno.nl) en H.J.M. Bodt LPI (tel.: 071-5601079, e-mail: bodt@nil.nl).

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

### Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

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

### Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

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

© Vereniging FME-CWM/mei 2003

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

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



Netherlands Institute  
for Metals Research



# Verbindingstechnieken

**Na de ontdekking door de oermens, dat hij een handig stuk gereedschap kon maken door een steen van een scherpe punt te voorzien, volgde al snel stap twee: het vastbinden van de steen aan een stok. Daarmee kreeg hij een nog handiger stuk gereedschap in handen.**

## Kennis

Tevens was hiermee de behoefte aan kennis over verbindingstechnieken geboren. Een verbinding - tussen materialen of tussen onderdelen, dat maakt niet uit - moet namelijk betrouwbaar en veilig zijn. Dat geldt voor verbindingen in de bouw, maar net zo goed voor de micro-verbindingen in computer- en communicatiesystemen. Het zal duidelijk zijn dat zich in dit gebied voortdurend veranderingen en nieuwe ontwikkelingen voordoen.

De afgelopen honderd jaar is het aantal nieuwe materialen explosief toegenomen. Parallel daaraan zijn nieuwe verbindingstechnieken ontwikkeld, zowel op macroniveau (vliegtuigbouw) als op nanoschaal. Er worden steeds meer samengestelde producten ontwikkeld met specifieke eigenschappen, waarbij bijzondere verbindingen een bepaalde synergie tussen verschillende materialen tot stand brengen. Er worden ook steeds zwaardere eisen gesteld aan de huidige verbindingen. De mens beweegt zich steeds verder bij zijn natuurlijke omgeving vandaan en de grenzen schuiven steeds verder op. Ruimtevaart en diepzeeonderzoek bijvoorbeeld, brengen de mens in een voor hem of haar vijandige omgeving. Overleven is dan afhankelijk van de betrouwbaarheid van de gebruikte materialen en verbindingen.

## Mechanisch, chemisch, fysisch

Er zijn drie fundamentele mechanismen te onderscheiden in verbindingen van materialen of materiaaldelen: mechanische, chemische en fysische krachten. Schroef-, bout- en klinknagelverbindingen en de verschillende klikverbindingen vallen onder de mechanische verbindingen. Chemische verbindingen komen tot stand door lijmen en andere hechtingsmiddelen. Fysische technieken zijn lassen en solderen. Alledrie de mechanismen worden toegepast bij het verbinden van kunststoffen.

**Mechanisch** Bij mechanische verbindingen is er een duidelijke trend om meer klikverbindingen toe te passen; dit gaat ten koste van het meer conventionele schroeven en klinken. Dit heeft een aantal redenen. In de voortschrijdende automatisering past geen lopende band met medewerkers die schroefjes in of aan draaien. Hiermee dalen ook de loonkosten. Klikverbindingen komen ook beter tegemoet aan de behoefte om reproduceerbare en constante kwaliteit te produceren. Verder telt ook de overweging dat er milieuvriendelijker dient te worden ontworpen, in dit geval zonder een metalen verbindingmiddel. Een ander mechanische systeem is de haak/lus-verbindingen oftewel klittenband met zowel zeer kleine haakjes en lusjes als met de veel grotere 'paddestoeltjes'.

**Fysisch** De lastechnieken voor thermoplasten en compo-



*Een van de oudste verbindingen?*

sieten worden ook steeds geavanceerder. De belangrijkste technieken zijn hoogfrequent lassen (PVC, PUR), warmte-impulsslassen (PP, PE), trillingslassen, ultrasoonlassen, infraroodlassen en laserlassen. Met het oog op de betere bestandheid tegen corrosie worden in toenemende mate met polymeer gecoate metalen gelast; in dit geval vervangt het lassen een mechanische verbinding.

**Chemisch** Chemische verbindingen danken hun kracht aan het hechtingsmiddel dat ervoor wordt gebruikt. De keuze hierin is groot en groeit snel, mede door de ontwikkeling van kunststoffen met speciale eigenschappen. Nog altijd is chemisch verbinden de meest gebruikte techniek bij het verbinden van kunststoffen, hoewel ook hier *design for the environment* een steeds belangrijker factor wordt. Met name voor thermoharde lijmen is dit een probleem; als deze uitgehard zijn is dit niet terug te draaien. In de toekomst zullen 'groenere' lijmen worden ontwikkeld.

Op dit moment wordt veel onderzoek gedaan naar het ontwikkelen van lijmen met functioneel specifieke eigenschappen en lijmen om materialen met een lage oppervlaktenspanning (fluorpolymeren, rubber) te verlijmen.

Ook worden er hybride (op moleculair en intramoleculair niveau) hechtingsmiddelen ontwikkeld. Er is veel belangstelling voor hechtingsmiddelen die de te verlijmen oppervlakken zelf schoonmaken en voorbereiden, waarna zij zichzelf activeren om tot hechting over te gaan. Dit hechtingsproces zou chemisch of thermisch geactiveerd kunnen worden.

## Tape

Tape is geschikt voor het verbinden van allerlei kunststoffen in uiteenlopende toepassingen. Er zijn soorten die ontwikkeld zijn om warmte of elektriciteit te geleiden, zoals de *TCATT* en *ECATT* tapes van 3M. Transparante dubbelzijdige tapes, geschikt voor het verbinden van transparante materialen, worden veel gebruikt bij gevoelige oppervlaktes vanwege de chemische eigenschappen. Ze bevatten geen zuren, waardoor corrosie en andere reac-

ties niet optreden. Er is ook een tapesoort ontwikkeld voor hersluitbare toepassingen.

Het gebruik van tape als verbindingstechniek heeft als voordeel het feit dat er geen uithardingstijd is, zoals bij lijm. Vaak kan tape door de visco-elastische eigenschappen ook trillingen beter opvangen dan bij andere types verbindingen het geval is.

Bij tapes is behalve de kleefkracht van de tape ook het oppervlak waarop deze wordt aangebracht van belang.



Het assortiment snellijmen van Loctite. De verlijming gebeurt in enkele seconden, hechting vindt onmiddellijk plaats. Ze verlijmen heterogene materialen en moeilijk te lijmen substraten. Noviteiten zijn onder andere: soepele en transparante lijmen, schokvaste lijmen (rubber op metaal; luidsprekers), UV-lijmen voor de medische sector, een primer en activator voor moeilijk te lijmen kunststoffen (PP, PE, PTFE).



PPI Adhesive products produceert veel verschillende zelfklevende tapes voor hoogwaardige toepassingen. Alle tapes worden op een groot aantal punten getest, onder andere hechtsterkte, afwikkelen van de rol, treksterkte en afpelsterkte. Dit gebeurt met testapparatuur van Hounsfield, die is uitgerust met 'QMAT Pro Software'.

Het gaat dan vooral om de oppervlaktespanning. Hoe hoger de oppervlaktespanning, hoe beter de hechting. Het hechten op oppervlakken die met siliconen of PTFE zijn behandeld, vormen daarom een probleem. Deze hebben immers een zeer lage oppervlaktespanning. Een ruwe ondergrond, waardoor het contact tussen tape en oppervlak gering is, betekent ook dat er geen goed hechting zal ontstaan. Verontreiniging met stof, vet of vocht kunnen ook problemen veroorzaken, evenals lage temperaturen. De hechtsterkte van tape is in hoge mate afhankelijk van de temperatuur: hoe lager de temperatuur, hoe slechter de hechting.

### Milieu-aspecten en verbindingstechnieken

**Levenscyclusanalyse** Een belangrijk element van het productieproces is tegenwoordig de levenscyclusanalyse. Hiermee kijken producenten naar de milieubelasting van hun product of activiteit, en nemen daarbij de gehele levensloop van de product in beschouwing. Het winnen en behandelen van de grondstoffen, het productieproces, transport en distributie, gebruik, hergebruik, onderhoud, recycling en afvalverwijdering worden daarbij allemaal meegewogen. Hierdoor gaan producenten in toenemende mate, hetzij door wetgeving gedwongen, hetzij vrijwillig, in de richting van duurzaam produceren. Ontwerpers en fabrikanten hebben controlelijsten tot hun beschikking waarmee hun prestaties op dit gebied meetbaar worden.

**Design for Environment** Boothroyd-Dewhurst (V.S.) heeft een *Design for Environment* softwarepakket ontwikkeld waarmee men milieubelastingen kan berekenen, maar ook het demontageproces aan het eind van het gebruiksleven van een product kan simuleren. Op die manier wordt het mogelijk de demontagekosten en het effect van recycling of hergebruik zichtbaar te maken, en kunnen in een vroeg stadium van de productontwikkeling gefundeerde beslissingen worden genomen.

Een manier om producten milieuvriendelijker te maken is ervoor te zorgen dat ze eenvoudig uit elkaar te nemen zijn. Producten die gemakkelijk te demonteren zijn, kunnen ook eenvoudiger worden gerepareerd of gemoderniseerd. Bovendien zijn ze simpeler, sneller en economischer uit elkaar te halen aan het einde van hun gebruiksleven, en kunnen de onderdelen opnieuw worden gebruikt of herverwerkt.

Om in deze behoefte aan demonteerbaarheid te voorzien,

ontwikkelen fabrikanten in allerlei industrietakken nieuwe en innovatieve verbindingstechnieken of milieuvriendelijker toepassingen voor bestaande verbindingsmethoden. Zij willen tevens het aantal onderdelen waaruit producten bestaan minimaliseren, bijvoorbeeld door kleinere delen te combineren in één groter onderdeel. Ook streeft men ernaar het aantal verbindingmiddelen zo laag mogelijk te houden.

Nieuwe technieken kunnen de productiekosten aanzienlijk verlagen, waardoor een product concurrerder in de markt kan worden gezet. Een voorbeeld van een innovatieve verbinding is te zien aan de buitenkant van (Dell) computerbehuizingen: door aan weerszijde een knop

in te drukken en het 'deksel' op te tillen, kan het geheel worden losgemaakt.

Een ander voorbeeld is het schuim waarmee het voorpaneel van een (IBM) computer (akoestisch) wordt geïsoleerd; dit wordt op zijn plaats gehouden door pijlvormige kunststof verbindingen, waardoor lijmen overbodig wordt en recycling mogelijk is.

Het bedrijf Sharp heeft in samenwerking met NEC Tokin een schroef met vormgeheugen ontwikkeld voor kopieerapparaten. Deze halveert de tijd die nodig is voor demontage. In plaats van losdraaien wordt het onderdeel verwarmd, waardoor de schroeven loskomen.

Innovatieve verbindingen kunnen meer dan één functie hebben. Sommige computers hebben een kunststof hefboom die niet alleen het rek met printplaten op zijn plaats houdt, maar ook het rek loskoppelt en optilt als er reparaties nodig zijn.

Integrale scharnieren vormen een goed verbindingmiddel op plaatsen die gemakkelijk toegankelijk moeten blijven. Als er gekozen wordt voor gemonteerde scharnierverbindingen, kunnen deze het beste ultrasoon worden aangebracht of vastgezet met klinknagels uit hetzelfde type kunststof, om later het recyclen van deze onderdelen gemakkelijker te maken.

Het lijmen van kunststof onderdelen bemoeilijkt recyclen. Lijm en kunststof moeten van elkaar worden gescheiden, hetgeen problemen kan opleveren. De voorkeur gaat dan uit naar ultrasoon lassen. Voorwaarde is wel dat de delen van dezelfde kunststof zijn.

Op dit moment is de milieuvriendelijkste verbinding de klikverbinding. Klikverbindingen zijn simpel, snel en economisch aantrekkelijk. Zij kunnen keer op keer uit elkaar en in elkaar. Componenten die in elkaar zijn geklikt kunnen eenvoudig worden hergebruikt of herverwerkt, zelfs als zij uit verschillende materialen bestaan. Bij het ontwerpen volgens de principes van DFE staat waar mogelijk het gebruik van deze verbindingstechniek bovenaan. **kg**

# Vikingschip gemaakt van 15 miljoen ijsstokjes te bezichtigen op SAIL

9 augustus 2005



De in Nederland woonachtige Amerikaan 'Captain Rob' is bijna klaar met het bouwen van een replica Vikingschip, gemaakt van 15 miljoen ijsstokjes. Op 16 augustus a.s. wordt het schip te water gelaten in Amsterdam en hoopt hij het Guinness Wereld Record te breken voor 'het grootste varende object gemaakt van ijsstokjes en gerecyclede materialen ter wereld'. Kinderen uit de hele wereld stuurden gebruikte ijsstokjes naar Emmeloord, waar 'Captain Rob' met de hulp van vrijwilligers en kinderen uit de buurt meer dan twee jaar aan het schip heeft gebouwd. Na de hopelijk succesvolle recordpoging zal het schip deel uitmaken van SAIL. Belangstellenden kunnen het Vikingschip van ijsstokjes vinden aan het Wilhelminadok.



Met zijn bijzondere schip wil 'Captain Rob' kinderen inspireren. Hij wil laten zien dat dromen en wensen die onmogelijk lijken, waarheid kunnen worden. In samenhang met zijn scheepsbouwproject heeft 'Captain Rob' dan ook een internationale stichting in het leven geroepen met als doelstelling 'het bieden van plezier aan kinderen in ziekenhuizen overal ter wereld'. Om de voltooiing van één van Rob's eigen dromen te vieren, het bouwen van een zeewaardig schip van 15 miljoen ijsstokjes, biedt hij kinderen graag een kans bij het bereiken van hun dromen! Hij heeft daarom een wedstrijd opgezet waarbij kinderen in de leeftijd 6-12 jaar hun mooiste wensen mogen insturen. Het gaat hier om speciale wensen voor andere kinderen in de wereld of voor een beter milieu. Op de dag van het wereldrecord worden drie winnaars bekendgemaakt. Deze wensen zullen daadwerkelijk in vervulling gaan! Zie voor meer informatie over het schip en de wedstrijd: [www.seaheartship.com](http://www.seaheartship.com).

**Voorbeelden van  
Lijmverbindingen in de sport**





## Voorbeelden van Loctite lijmapplicaties tijdens de rally Dakar 2005

### Teromix 6700

#### Carrosserie-tweecomponentenlijm



Een gebarsten koolstofvezel afdekplaat die de schokdemper van de motorfiets beschermt, werd vastgezet met Teromix-6700

### Loctite 454

#### Universeel bruikbare gel



De klep voor het openen en sluiten van de ventilatie op de helm was afgebroken en werd weer op de helm geplakt met Loctite 454 snellijm.

**Loctite 7850**  
**Handreiniger op natuurlijke basis, zonder olie**



De Braziliaanse motorrijder Jean De Azevedo heeft Loctite 7850 ontdekt, een natuurlijke citrus handreiniger die met of zonder water werkt, vuil, vet, roet en olie verwijdert en die premium skin conditioners bevat.

**Loctite 3463**  
**Metaalgevulde kneedbare stick**



Loctite 3463 Metal Magic Stick is een snelwerkende tweecomponent epoxylijm die gebruikt kan worden om overmaatse boutgaten op te vullen, lasnaden glad te maken en kleine scheurtjes in gietstukken te repareren.

## Loctite 5910

Vervanging voor kurk en papieren pakking op flenzen en gestampte metalen deksels.



Loctite 5910 Flexible Flange Sealant werd gebruikt om de lluchtek aan de banden van de quad van racer No. 240 te dichten.

## Loctite 248

Schroefdraadborging  
Gemiddelde sterkte



Loctite 248 is een stick met gemiddelde sterkte die gebruikt werd op starters en rembouten.

**Loctite 8065**  
**Anti-Seize op koperbasis**



Loctite Anti-Seize Stick 8065 werd gebruikt op alle bouten die in contact komen met warmte. Dit Anti-Seize product op koperbasis beschermt metalen onderdelen tegen roest, corrosie en vastlopen bij temperaturen tot 980°C

**Loctite 603, Loctite 660 & Activator Loctite 7240**  
**Loctite 603: Voor het bevestigen van nauwkeurig passende cilindrische delen**  
**Loctite 660: Gebruikt voor reparatie van versleten coaxiale delen zonder maximale nabewerking**



De as van de schokdemper aan het stuur van de motorfiets was gebarsten. De nauwkeurig passende cilindrische onderdelen (tot 0,1 mm speling) werden vastgehouden met Loctite 603. Quick Metal 660 werd gebruikt voor grotere spelingen. om het verharderen te versnellen, werden de onderdelen voorbehandeld met activator 7240.

**Loctite 2701**  
**Schroefdraadborging**  
**Hoge sterkte (verbeterde Loctite 270)**



Loctite 2701 - Schroefdraadborging met hoge sterkte - werd gebruikt voor het borgen van montagebouten van het kroonwiel, zodat ze bestand zijn tegen trillingen die ontstaan wanneer men tegen hoge snelheid door de woestijd rijdt.

**Loctite 561**  
**Schroefdraadafdichting**



Om ervoor te zorgen dat de wielbouten veilig vastgezet zijn, maar nog steeds gedemonteerd kunnen worden, werd Loctite 561 Stick voor schroefdraadafdichting gebruikt op deze vrachtwagen.

## 2.3 Voorbehandeling van de lijmvlakken

Een juiste voorbehandeling van de lijmvlakken is noodzakelijk voor een optimale hechting. De sterkte van de hechting wordt in hoge mate bepaald door de adhesie tussen de te lijmen oppervlakken en de lijm. Het is van belang te begrijpen dat lijmverbindingen sterker zijn naarmate de oppervlakken grondiger zijn gereinigd en voorbehandeld (zie afbeelding 19).

De adhesie wordt verbeterd door:

- het verwijderen van ongewenste vuilresten op het oppervlak door ontvetten of door mechanisch schuren.
- het opbouwen van een nieuw actief oppervlak door het aanbrengen van een coating met primers
- de activiteit van het oppervlak te wijzigen door middel van etsen, de Corona techniek, een behandeling in plasmakamers, etc.

### 2.3.1 Het ontvetten van te lijmen oppervlakken

Voor een optimale lijmverbinding is het volledig verwijderen van olie, vet, stof en overige vuilresten een vereiste. Hiervoor zijn oplosmiddelen die verdampen zonder resten achter te laten het meest geschikt. U vindt de belangrijkste oplosmiddelen en hun reinigingsvermogen in onderstaand overzicht.

Alkalische reinigingsmiddelen en zuurhoudende middelen op waterbasis bevatten bijna altijd corrosieremmers. Wanneer deze achterblijven op de gereinigde verbindingsoppervlakken verminderen ze de adhesie van de lijm of remmen ze het uithardingsproces. Wanneer u gebruik maakt van dergelijke reinigingsprocessen, dan dienen er vooraf altijd testen te worden uitgevoerd. In ieder geval moeten alle substraten grondig worden schoongespoeld of afgeveegd.

Oplosmiddel	Reinigingsvermogen	Licht ontvlambaar of brandbaar
Hydrocarbonaten (bijv. Isoparaffines)	Goed	Ja
Ketonen (bijv. aceton)	Goed	Ja
Alcoholen (bijv. Isopropanol)	Gemiddeld	Ja
Op waterbasis	Goed	Nee

Wanneer er speciale ontvettingsbaden worden gebruikt bij seriefabricage, dan is het zinvol erg vervuilde oppervlakken voor te behandelen, zodat het reinigingsbad niet te snel vervuult. Zeer vaak wordt gebruik gemaakt van dampontvettingssystemen. In dit geval wordt het oplosmiddel verhit tot het kookpunt en verdampt het. Als het koude substraat in contact wordt gebracht met het verdampte reinigingsmiddel, condenseert dit op het substraat. De vloeistof die zo wordt gevormd, verwijdert de overgebleven vuil en vetdeeltjes. Het ontvetten vindt vaak plaats in volledig afgesloten machines, waarbij gebruik wordt gemaakt van oplosmiddelen.

Voor veel toepassingen is een voorbehandeling van de oppervlakken met een snelwerkend reinigingsmiddel voldoende. Dit verwijdert olie, vet, achtergebleven vuilresten en andere onzuiverheden en prepareert de oppervlakken voor het lijmp proces. Bij het schoonmaken met oplosmiddelen kunt u het chemische ontvettingsproces bespoedigen door het oppervlak eerst te reinigen door middel van een mechanische voorbehandeling (flink wrijven met een schoonmaakdoek, borstelen), waardoor er een beter schoonmaakresultaat wordt bereikt.

### **2.3.2 Mechanische voorbehandeling**

Vuile metaaloppervlakken raken vaak bedekt met een oxydelaag die niet kan worden verwijderd door ontvetten. In dergelijke gevallen is mechanische voorbehandeling noodzakelijk, zoals stralen, schuren of borstelen.

Stralen is een goede manier om grote oppervlakken te reinigen. De ruwheid van het oppervlak die hierdoor wordt bereikt, biedt zeer goede hechtingsresultaten, vooropgesteld dat de gebruikte korrel niet te grof is. Ook schuren zorgt voor een goede ruwheid van het oppervlak. In dit geval is het belangrijk het juiste schuurpapier te gebruiken (bijv. korrel 300 tot 600 voor aluminium, 100 voor staal). Na het stralen en het schuren of borstelen dienen de delen te worden ontvet om alle achtergebleven vuilresten te verwijderen. Zeer vuile delen moeten ook worden ontvet vóór de mechanische behandeling zodat de gebruikte korrels of andere middelen het oppervlak niet alleen maar verder vervuilen. In de praktijk zijn de methoden voor mechanische voorbehandeling zeer simpel te gebruiken en ze zorgen over het algemeen ook voor een goede hechtingsterkte.

Wanneer kunststof of rubber delen moeten worden verbonden, dan dient de oppervlakte- of vulcanisatiefilm mechanisch te worden verwijderd. In het geval van kunststof is gebleken dat schuurmiddelen als ijzeroxide en aluminiumoxyde effectief zijn. Rubber oppervlakken moeten worden schoongemaakt om lossingsmiddelen te verwijderen, hetzij met behulp van oplosmiddelen of door schuren.

### **2.3.3 Etsen**

Voor het etsen van oppervlakken worden relatief agressieve chemische middelen gebruikt. Afhankelijk van het substraat worden zeer zuurhoudende of sterk alkalische oppervlakken gebruikt. Etsen leidt tot verandering van het substraatoppervlak omdat er reactieve groepen worden toegevoegd en er een kratervormige oppervlaktestructuur kan worden gevormd die plaats biedt aan de mechanische vernetting van de lijm. De resultaten van deze behandeling variëren van substraat tot substraat. De industriële toepassingsmogelijkheden zijn beperkt omdat het gebruik en het opruimen van de etsoplossingen steeds duurder worden.

### 2.3.4 Voorbehandeling door middel van oppervlak-ionisatie

Voorbehandeling door middel van oppervlak-ionisatie verandert de polariteit van de oppervlakken en hun energie, zoals ook het geval is bij natte chemische voorbehandeling. Afhankelijk van het materiaal, de geometrie van het te behandelen product, het productieproces en het aantal te lijmen delen wordt één van de hieronder genoemde processen toegepast.

### 2.3.5 Primers

Primers bestaan over het algemeen uit een reactief chemisch middel dat in een oplosmiddel wordt gedoseerd. Om de primer te kunnen gebruiken, wordt de oplossing op het substraatoppervlak geborsteld of gespoten. Het dragende oplosmiddel mag daarna verdwijnen, waarna het actieve middel achterblijft. Afhankelijk van het type primer kan het oppervlak direct klaar zijn voor verlijming, zoals in het geval van polyolefinenprimers voor cyanoacrylaatlijmen. Oppervlakprimers verbeteren over het algemeen de hechtbaarheid van het substraat door als een chemische brug te fungeren tussen het substraat en de lijm. Over het algemeen is het reactieve element in een primer multifunctioneel, met één set reactieve groepen die bij voorkeur reageert met het oppervlak en andere groepen die meer worden aangetrokken door de lijm.

Substraat	Vorbewerkingsmethoden					
	Ontvetten	Mechanisch	Etsen	Primers (afhankelijk van plasmalijm)	Corona	Lagedruk schuren
Metalen	xxx	xxx	x	x		x
Glas	xxx	x	x	x	x	x
Keramiek	xxx		x	x	x	x
Kunststof	xxx	xxx	x	x	xxx	xxx
Rubber	xxx	x		x	x	x
Hout	x	xxx		x		x

xxx = voorkeurmethode

x = alternatieve methode of extra methode

### 2.3.6 De bevochtigingstest

De resultaten van de voorbehandeling van het oppervlak kunnen worden gecontroleerd met de 'waterdruppelproef'. Bij deze proef worden enige druppels schoon water op het gereinigde oppervlak aangebracht. Op een onvoldoende gereinigd oppervlak behouden de druppels hun kegelvorm en moet het oppervlak nogmaals worden gereinigd. Als de waterdruppels uitvloeien over het behandelde oppervlak, is er een goede bevochtiging; het te lijmen oppervlak is schoon genoeg.



Deze methode is niet geschikt voor anodecoatings op aluminium en magnesium.

Het voordeel van de waterdruppelproef is dat men heel eenvoudig aan de ,testvloeistof, water kan komen.

Dit voordeel wordt echter gedeeltelijk teniet gedaan door de variabele hardheid van het water, wat van invloed is op de oppervlaktespanning. In sommige gevallen levert zelfs gedistilleerd water geen betrouwbare resultaten op bij de waterdruppelproef. Daarom wordt voor kritische toepassingen het gebruik aangeraden van oppervlaktespanningvloeistoffen, die beschikbaar zijn met voorgedefinieerde oppervlaktespanningen. Merk op dat de test alleen betrekking heeft op de bevochtiging en niet op het verbindingsvermogen van de lijm.

### **Waarom zijn snuifmiddelen ook drugs?**

Sommige mensen (ook kinderen) vinden het leuk om te snuiven aan de meest vreemde spullen zoals: benzine, tri, verfverdunner, nagellak-remover en lijmsorten zoals Solutie, Velpon en Bisonkit.

De dampen van deze stoffen hebben een effect op zenuwcellen, speciaal in de hersenen en zijn dus te beschouwen als drugs.

Als je de damp van deze stoffen inademt, wordt een aantal hersencellen zo sterk gestimuleerd dat ze worden beschadigd, waardoor je het gevoel krijgt dat je ineens heel dronken bent. Je voelt je dus dronken. Je krijgt last van evenwichtsstoornissen en je gaat vaak lallen. Soms val je ervan in slaap.

### **Drugs; wat zijn de risico's van de snuifmiddelen?**

Sommigen denken dat snuifmiddelen ongevaarlijk zijn omdat je ze zomaar kunt kopen, maar dat is fout gedacht. Lijm is gemaakt om te lijmen en niet om te snuiven. Er zitten stoffen in die heel schadelijk zijn voor je gezondheid. Als je veel snuift loop je kans op beschadiging van hersenen, nieren en longen. Je kunt er zelfs verlammingen van krijgen of een plotselinge ademstilstand. Het snuiven van zulke stoffen leidt tot gewenning. Er is geen lichamelijke verslaving. Wel een flinke kans op geestelijke verslaving.

# Website Lijm en Hechting

## Een rondleiding door de website

Lijmen en hechting

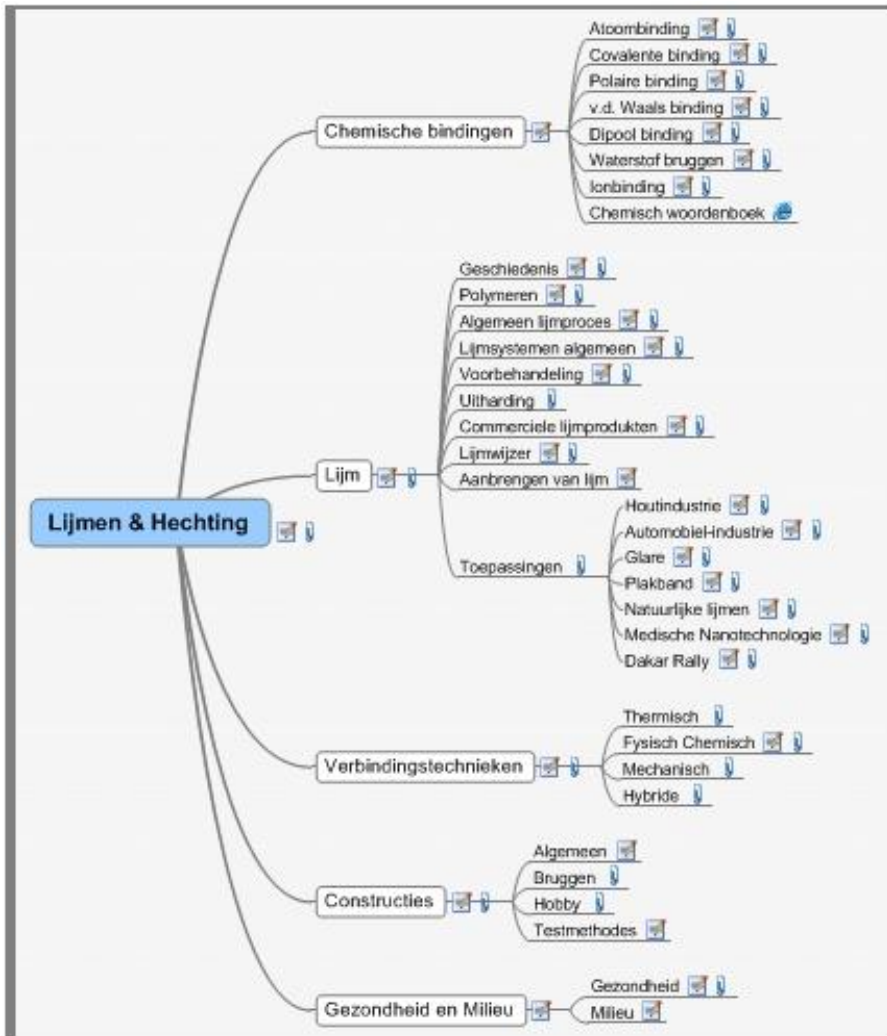
De wonderlijke wereld van het lijmen en hechten

Deze NLT-module gaat over het gebruik van lijn en hoe je het beste verschillende voorwerpen aan elkaar kunt hechten. Je zult zien dat lijn een heel belangrijke functie inneemt in veel hedendaagse producten en dat veel producten zonder lijn niet eens gemaakt zouden kunnen worden. Het gekke is eigenlijk dat iedereen heeft leren plakken met lijn in groep 0 of 1 en later nooit meer iets heeft bijgeleerd. Dit zou kunnen betekenen dat het erg eenvoudig is of dat wij lijmen niet serieus nemen. Na afloop van deze module mag je zelf het antwoord geven.

en de Adobe zoekfunctie



# Startpagina van de website



Startpagina →

Navigatiemenu

pijlte opent de subpagina →

A screenshot of the website's navigation menu. The menu items are listed on the left, and their corresponding page numbers and titles are on the right. Two items are circled in red: "2.4 v.d. Waals binding" and "3. Verbindingstechnieken".

Page Number	Page Title
2.1	De wonders wereld van het lijmen en hechten
2.1	1. De toepassing van lijm
	2. Chemische bindingen
2.1	> 2.1 Atoombinding
	2.2 Covalente binding
	2.3 Polaire binding
	2.4 v.d. Waals binding
	2.5 Dipoolbinding
	2.6 Waterstofbruggen
	2.7 Ionbinding
	2.8 Chemisch woordenboek
3	3. Verbindingstechnieken
4	4. Lijm
5	5. Constructies
6	6. Gezondheid en Milieu
	Colofon

Overzicht van de hoofdstukken en paragrafen

Visuele indeling van de site

# Rondleiding door de website

## Navigatiemenu

pijlte opent de subpagina

The screenshot shows a vertical navigation menu with the following items: 'De wonderse wereld van het lijmen en hechten', '1. De toepassing van lijm', '2. Chemische bindingen', '2.1 Atoombinding', '2.2 Covalente binding', '2.3 Polaire binding', '2.4 v.d. Waals binding', '2.5 Dipoolbinding', '2.6 Waterstofbruggen', '2.7 Ionbinding', '2.8 Chemisch woordenboek', '3. Verbindingstechnieken', '4. Lijm', '5. Constructies', '6. Gezondheid en Milieu', and 'Colofon'. A red bracket on the left groups the items from '1. De toepassing van lijm' down to '6. Gezondheid en Milieu' under the heading 'Navigatiemenu'. A red arrow points to the '2.1 Atoombinding' item, which is circled in red. To the right of the menu, the text 'Hoofdstukken' is written in red. Further right, a sub-menu is visible with the title 'Lijme' and items '2.1 A' and '2.1 A'. A red arrow points to the '2.1 A' item in this sub-menu. At the bottom of the menu, there is a 'Downloaden / aanpassen' button and a '← Voi' button.

# Rondleiding door de website

De wonderre wereld van het lijmen en hechten

1. De toepassing van lijm

2. Chemische bindingen

3. Verbindingstechnieken

3.1 Thermisch

3.2 Fysisch chemisch

3.3 Mechanisch

3.4 Hybride

3.5 Houtindustrie

4. Lijm

5. Constructies

6. Gezondheid en Milieu

Colofon

Downloaden / aanpassen

Lijmen en hechting

3.3 Mechanisch

## 3.3 Mechanisch

Er zijn verschillende manieren om [mechanisch](#) 2 (of meer) voorwerpen aan elkaar te verbinden



Informatie per paragraaf

← Vorige

Volgende →

# Rondleiding door de website

Save a Copy Search Select 154% Adobe Reader 7.0

Pages

Attachments

Comments

## Alle informatie in zoekbare PDF-bestanden

### Lijmen is een kunst voor iedereen

#### Inleiding

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



Filmpjes in afspeelvenster

Chemische binding is de verzamelaar voor de kracht(en) die tussen atomen (bijvoorbeeld in moleculen), of tussen ionen (bijvoorbeeld in zoutkristallen) of tussen moleculen (bijvoorbeeld in een vaste stof of vloeistof) werkzaam zijn. Het zal duidelijk zijn dat de werking van lijmen alleen begrepen kan worden als je weet welke krachten op atomair en moleculair niveau een rol kunnen spelen. In dit kader wordt alleen een korte beschrijving gegeven van de diverse types chemische binding; voor een uitgebreidere beschrijving kun je beter je lesboek voor scheikunde raadplegen. In hoofdstuk 4 vind je beschrijvingen van de werking van lijm op atomair en moleculair niveau.

Bestanden: via venster of snelkoppeling



# Rondleiding door de website

Wikipedia - Windows Internet Explorer

http://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst\_van\_lijsoorten

Lijst van lijsoorten - Wikipedia

Aanmelden en inschrijven

artikel overleg bewerk geschiedenis

Met uw steun houden wij Wikipedia online!

## Lijst van lijsoorten

Lijsoorten opgedeeld naar hun werkingsprincipe zijn,

### Fysisch

- Beenderlijm
- Bitumenlijm
- Contactlijm
- Dextrinlijm
- Dierlijke lijm
- Dispersielijm
- Gelatinelijm
- Heatseal
- Houtlijm
- Huidenlijm
- Kleefbandlijmen
- Koudlijm
- Methylcelluloselijm
- Oplosmiddelenlijm
- Plastisolijm
- PVAC-lijm
- PVC-lijm
- Smeltlijm
- Teer
- Vislijm
- Vleeslijm
- Witte houtlijm
- Zelfklevende lijm

### Chemisch

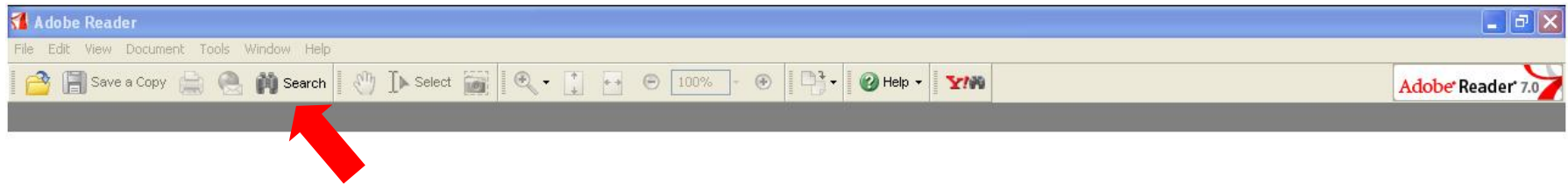
- Acrylaatlijm
- Alkalisilicatenlijm
- Anaerobelijm
- Anorganischelijm
- Carboxymethylcelluloselijm
- Caseinelijm
- Celluloseetherlijm
- Cementlijm
- Cyanoacrylaatlijm
- Epoxylijm
- Isocyaanlijm
- Fenollijm
- MDI-lijm
- Melaminelijm
- Mosselijm
- MF-lijm
- MS-polymeerlijm
- MUF-lijm
- No-mix-Acrylaatlijm
- Organische lijm
- PF-lijm
- Phenolformaldehydelijm
- Polycondensatielijmen
- Polyesterlijm
- RF-lijm
- Polyurethaanlijm
- PU-lijm
- Resorcinephenolformaldehydelijm
- SMP-lijm
- Silaanlijm
- Siliconenlijm
- Spinnenlijm
- UF-lijm
- Ureumlijm
- Ureumformaldehydelijm
- Zetmeelijm

Categorieën: Lijm | Technieklijsten



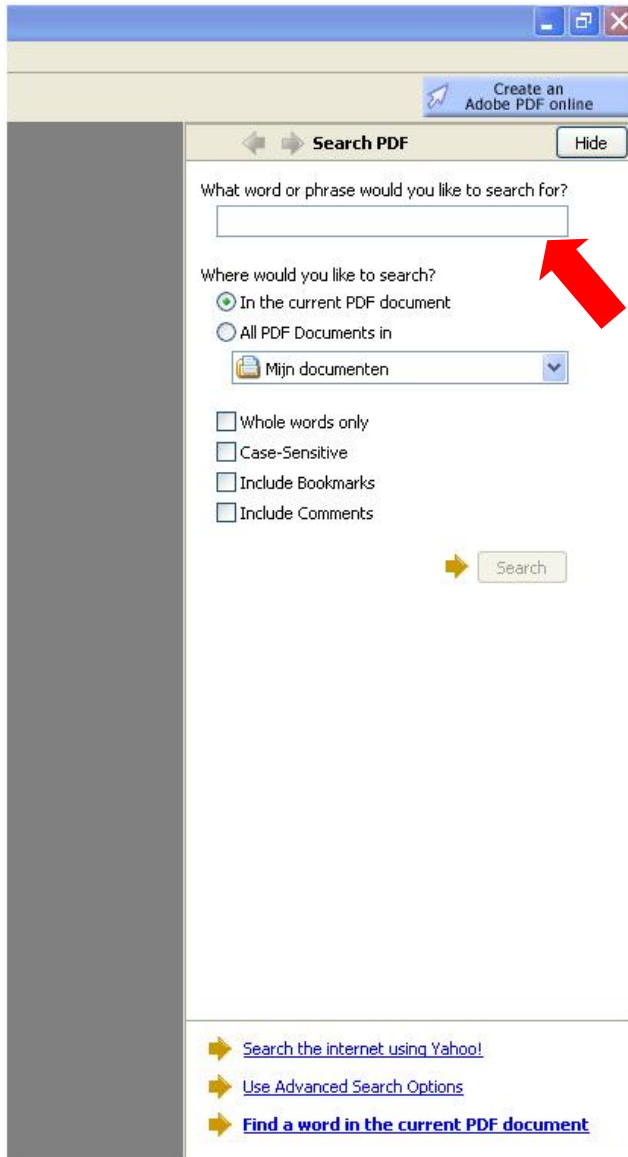
# De Adobe-zoekfunctie

Open het programma Adobe Reader



Open de search-functie => Er opent een nieuw scherm

# De Adobe-zoekfunctie



The screenshot shows a web browser window with a search interface for PDF documents. At the top right of the window is a button labeled "Create an Adobe PDF online". Below this is a search bar with the text "Search PDF" and a "Hide" button. The main search area contains the following elements:

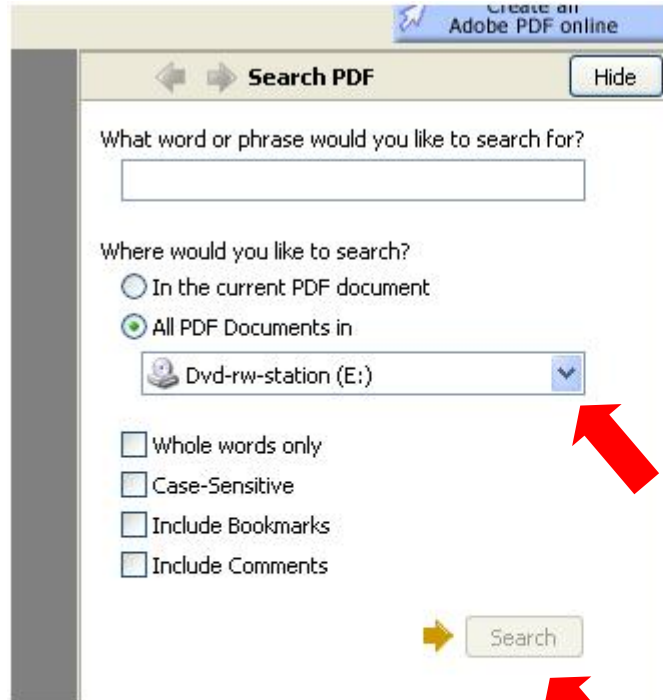
- A text input field with the prompt "What word or phrase would you like to search for?". A red arrow points to this field.
- A section titled "Where would you like to search?" with two radio button options:
  - In the current PDF document
  - All PDF Documents in
- A dropdown menu showing "Mijn documenten".
- Four unchecked checkboxes:
  - Whole words only
  - Case-Sensitive
  - Include Bookmarks
  - Include Comments
- A "Search" button with a yellow arrow icon.

At the bottom of the search area, there are three links with yellow arrow icons:

- [Search the internet using Yahoo!](#)
- [Use Advanced Search Options](#)
- [Find a word in the current PDF document](#)

Voer hier de zoekterm in

# De Adobe-zoekfunctie



Create an Adobe PDF online

Search PDF Hide

What word or phrase would you like to search for?

Where would you like to search?

In the current PDF document

All PDF Documents in

Whole words only

Case-Sensitive

Include Bookmarks

Include Comments

The screenshot shows the Adobe PDF search interface. It features a search bar, a dropdown menu for selecting the search location (currently set to 'Dvd-rw-station (E:)'), and several checkboxes for search options. Two red arrows point to the drive selection dropdown and the 'Search' button.

Geef aan in welk station de CD zit

# De Adobe-zoekfunctie

Overzicht van alle antwoorden

Search PDF Hide

Finished searching for:  
**glare**

Finished searching in:  
**Mijn documenten**

Documents found:  
**3**

Total instances found:  
**34**

[New Search](#)

Results:

- GLARE: Nederlands succesmateriaal
  - GLARE: Nederlands succesmateriaal SAMI
  - GLARE, een soort 'verbeterd aluminium', l
  - een GLARE-fabriek geopend Het aluminium
  - laminaatmateriaal GLARE is een succes in
  - gloednieuwe GLARE-fabriek geopend doc
  - Zaken. GLARE werd ontwikkeld bij de faci
  - millimeter. GLARE is een soort 'verbeterd
  - GLARE bestaat uit verschillende lagen. Ex
  - van GLARE vergt bijna twintig jaar, maar
  - met GLARE Beeld:
- Glare (Glass REinforced laminate)
- GLARE: een nieuw vliegtuigmateriaal

Sort by: Relevance Ranking

Collapse file paths

[Refine Search Results](#)

[Done](#)

[Find a word in the current PDF document](#)

1 of 1

## Wereldrecord voor ijsstokjesschip

Het is Rob McDonald, eigenaar van het vikingschip bestaande uit vijftien miljoen ijsstokjes en een ton lijm, gelukt. Zijn opmerkelijke vaartuig heeft een wereldrecord opgeleverd. Het was tot op de dag van vandaag onduidelijk of de vijftien meter lange replica van een vikingschip, waar Rob McDonald twee jaar aan heeft gewerkt en het was nog maar de vraag of het schip kon blijven drijven.



Zijn 'grootste sculptuur gemaakt van ijsstokjes' voer 1,5 uur achter elkaar in Amsterdam op het IJ voor de NDSM-werf. McDonald's creatie kon niet alleen varen, maar voerde ook andere wendingen uit, zoals het roeien door achttien roeiers, het verankeren en het hijsen van het zeil. Dit is goed voor een vermelding in het Guinness Book of Records. Na deze succesvolle recordpoging zal het schip deel uitmaken van SAIL. Belangstellenden kunnen het Vikingschip van ijsstokjes vinden aan het Wilhelminadok.

## Dit ga ik doen

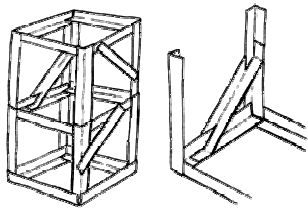
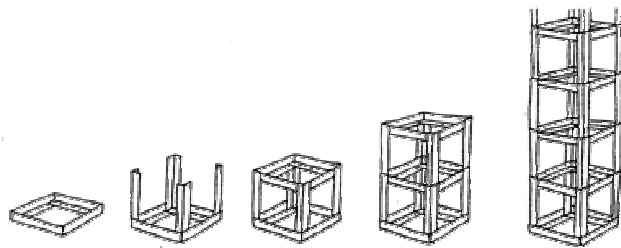
Ik maak een **wolkenkrabber** van papierstroken.

## Dit heb ik nodig

- papierstroken (25 x 4 cm)
- lijm
- schaar
- kopieerpapier
- ondergrond

## Aan het werk

Kijk goed naar de tekening. ➤  
Vouw een aantal stroken.  
Leg een vierkant op de ondergrond.  
Lijm dit vast.  
Lijm de staanders erin.  
Lijm het volgende vierkant erin.  
Ga door tot je een hoge toren hebt.



◀ Verstevig de onderste verdiepingen.

Beplak de toren met kopieerpapier.  
Handig is om van tevoren de ramen te tekenen.

## Extra

Bouw je toren tot het plafond.  
Bouw een stad.  
Laat zien waar de school, bibliotheek, bioscoop, etc. is.  
Waar moet je parkeren? Of oversteken?

## Extra moeilijk

Bouw een stad voor de toekomst of op de maan.  
Teken eerst een plattegrond op schaal.  
Bedenk wat voor gebouwen er in de stad moeten staan.  
Hoe is het verkeer geregeld? En de energievoorziening?  
Maak een combinatie van torens en knikkerbanen.  
Bedenk een waarschuwingssysteem voor vliegtuigen.  
Is er een aanlegplaats voor luchtballons?  
Maak elektrische lichtreclames of richtingwijzers.  
Verzin een manier om de stroken gelijkmatig te vouwen.  
Stuur je oplossing(en) naar de Ontdekplek.

Voor meer informatie kun je het boek **Techniek de Eerste Stap** bestellen via de website of bij Heutink (bestelnummer 649.052)



# Hechten is als veters strikken

**Als je vindt dat er te weinig aandacht voor hechten is in het curriculum, dan start je toch gewoon zelf een hecht cursus op?**

**Thomas Koedam gaf deze zomer samen met vijf andere coassistenten van het VUmc de 'Basic Suturing Course'. Hanna van de Wetering**

**D**e eerste les heb ik mijn schoenen uitgedaan, en ben ik mijn veters gaan strikken. Ik vroeg de groep of ik het goed gedaan had. Eén veter was anders gestrikt, en zo legde ik het verschil uit tussen een platte knoop en een oudewijvenknoop. Eigenlijk let niemand erop hoe hij z'n veters strikt, het is een heel basaal iets. Maar zo'n knoop is wel het begin van het hechten.' Aan het woord is Thomas Koedam, 23 jaar, zesdejaars

**'Het is eigenlijk een trucje, waar je steeds beter in wordt'**

geneeskundestudent en initiatiefnemer van de Basic Suturing Course. 'Of je nou huisarts wilt worden of voor een snijdend specialisme kiest, het is altijd belangrijk om goed te kunnen hechten. Hechten wordt in het curriculum te beperkt aangeboden, vooral de feedback ontbreekt. Terwijl het eigenlijk een trucje is. Op een gegeven moment kun je het, durf je het in de praktijk toe te passen en word je er steeds beter in. Maar dan moet je het in eerste instantie wel goed leren. YouTube staat natuurlijk ook vol met video's, maar juist de feedback en contactmomenten vonden wij belangrijk.'

## **Varkenspootjes**

Samen met vijf andere coassistenten, Jorn Meekel, Jocelyne Peters, Pauline Ostendorf, Niek van Regteren en Arjen Smits, besloot Koedam een hecht cursus op te zetten, om het gat in het curriculum te vullen. Ze gingen in gesprek met de afdelingen Chirurgie en Plastische chirurgie, maakten videofilmjes en een iBook, regelden materialen en zetten een driedaagse cursus in elkaar. 'Iedereen was bereid ons te helpen. We kregen varkenspootjes van een lokale slager, *fresh frozen* kadavers van de afdeling Anatomie, hecht materiaal van de industrie en werden gesponsord door de afdeling Heelkunde. Zo konden we de pilot aanbieden voor 10 euro per coassistent.' Tijdens de eerste les werd de theorie behandeld, maakten de cursisten kennis met de instrumenten en basishechtingen en leerden ze op een knoopplankje een onder- en bovenhandse knoop leggen. Met behulp van zelfontworpen iBooks/pdf-bestanden, instructievideo's en een in bruikleen gegeven hechtbox kon er thuis worden geoefend. De tweede les werd het knoopplankje ingewisseld voor varkenspootjes. Na opnieuw thuis geoefend te hebben, werd de derde les uitgevoerd in de snijzaal, waar gehecht werd op *fresh frozen* kadavers, net ingevroren, niet gebalsemd lichamen. De cursus werd afgesloten met een examen, bestaande uit een kennistoets en een praktijkgedeelte. De coassistenten werden beoordeeld door het bestuur, onder toezicht van twee chirurgen.

## **In Afghanistan**

Twee groepen van vijftien coassistenten namen deel aan de pilot. Vierdejaarsstudent Seyed Qaderi had een aantal

redenen om zich aan te melden voor de cursus. ‘Het is een vaardigheid waarvan de buitenwereld verwacht dat jij die als arts beheerst. Het specialisme van mijn voorkeur is chirurgie, en daar is het nog meer van belang. Daarnaast ga ik in de herfst twee maanden naar Kabul, Afghanistan, om daar met vier medestudenten beginnende coassistenten te trainen in klinisch onderwijs. Een van de onderwerpen is hechten en knopen, dus deze cursus kwam als geroepen.’ In Afghanistan zal Qaderi gebruikmaken van het lesmateriaal van de Basic Suturing Course. Koedam: ‘Dat is het leuke van deze opzet, je kunt er zelfs in Afghanistan mee aan de slag. Maar ook dichterbij huis. In Rotterdam zijn ze heel enthousiast over het idee, en willen ze Rotterdamse coassistenten met ons materiaal en onze

hulp ook de Basic Suturing Course laten opzetten. Nu de basis staat, is uitbreiden heel makkelijk. Qua doelgroep blijft onze prioriteit bij coassistenten liggen, maar er zijn ook gesprekken met verschillende opleiders om de cursus aan a(n)iossen te geven.

Qaderi is na afloop van de cursus enorm enthousiast. ‘Ik heb de afgelopen weken zoveel knopen gelegd en gehecht, dat het bijna een automatisme is geworden.

Het is fijn om feedback te krijgen, en ook interessant om informatie te krijgen over de wondbehandeling en bijvoorbeeld het hechtmateriaal. Het hechtmateriaal wordt door de industrie gemaakt, maar je moet als arts wel weten hoe dik een draad is en welke je moet gebruiken voor welke wond.’ *Ais*



## Tips & trucs

### Een goede knoop

1. Een goede knoop is een platte knoop. Vermijd glijknopen of ‘oude wijven’.
2. Voor een platte knoop is het belangrijk de bovenhandse en onderhandse techniek afwisselend te gebruiken met dezelfde hand, of een boven- of onderhandse techniek afwisselend te gebruiken tussen linker- en rechterhand.
3. Het is essentieel om de handen te kruisen. Bij een bovenhandse techniek trek je de knopende hand naar beneden aan, en bij een onderhandse techniek naar boven. Beweeg hierbij de andere hand in tegenovergestelde richting.

### Belangrijke hechtprincipes

1. Een hechting moet ervoor zorgen dat de wondranden (everterend) aanliggen. De dode ruimte moet gesloten worden, de spanning gereduceerd.
2. Hechten gebeurt met chirurgisch pincet en naaldvoerder. De naald wordt niet met de hand vastgepakt. Klem de huid niet onnodig vast; zo voorkom je kneuzingen.
3. Een matrashechting (‘Donati’) zorgt voor meer spanningsreductie en everteren van wondranden dan een enkele transcutane hechting.



## Test je hecht kennis!

1. Gaan de volgende eigenschappen over een mono- of multifilamente draad?
  - a. Grotere kans op slippen van de knoop
  - b. Kwetsbaar en breekt sneller bij aantrekken
2. Lidocaïne/adrenaline wordt vaak gebruikt bij de verdoving van de huid. Wat is de maximale dosis bij gebruik van alleen lidocaïne voor een gezonde volwassene?
  - a. 10 ml 1% of 5 ml 2%
  - b. 10 ml 2% of 5 ml 4%
  - c. 20 ml 1% of 10 ml 2%
  - d. 20 ml 2% of 10 ml 4%

De juiste antwoorden vind je op [artsinspe.nl](http://artsinspe.nl). Hier zijn ook de filmpjes te bekijken die tijdens de Basic Suturing Course worden gebruikt.