

R106g

Onderzoekprojecten

TC-I-A-459-91

NIL-project
HOOGTEMPERATUURSOLDEREN

**MECHANISCH ONDERZOEK AAN
GESOLDEERDE VERBINDINGEN VAN
TITAAN EN Ti-6Al-4V**

Auteur: K.M. Broek

Mei 1991



**Nederlands
Instituut voor
Lastechniek**



Aan de leden van de stuurgroep
TC-I-A Hoogtemperatuursolderen
Programma '88-'90

Laan van Meerdervoort 2b
2517 AJ 's-Gravenhage
Telefoon (070) 65 89 00
Telefoon (070) 60 09 37
(onderwijs en boekhouding)
Telefax (070) 64 95 37
Telex 31234 nil nl

ons nummer:
91-307

's-Gravenhage,
Apeldoorn, 30 mei 1991

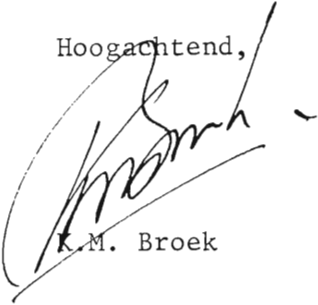
Mijne heren,

Hierbij ontvangt u het rapport:

TC-I-A-459-91

over het mechanisch onderzoek aan HT-gesoldeerde proefstaven.

Hoogachtend,


K.M. Broek

	Inhoud	
	Samenvatting	2
1	INLEIDING	3
2	MATERIALEN	4
3	ACHTERGROND	6
3.1	Beproevingmethoden	6
3.2	Invloed van de diffusiegloeijing	8
4	UITVOERING	11
4.1	Aanmaak van de proefstukken	11
4.2	Het solderen	13
4.3	Mechanisch onderzoek	13
5	RESULTATEN	16
5.1	Afschuifproeven	16
5.2	Buigproeven	19
6	DISCUSSIE	21
7	CONCLUSIE	23
	Literatuur	24
	Bijlage 1: Resultaten van de afschuifproeven	25
	Bijlage 2: Resultaten van de buigproeven	28

Samenvatting

De mechanische eigenschappen van gesoldeerde verbindingen van titaan (grade 2) en Ti-6Al-4V worden onderzocht. De soldeermaterialen zijn AA3003 (BAI97Mn), eutectisch zilver-koper (BAg72Cu), **Gapasil-9 (BAg82GaPd)** en TiCuNi (BTi70CuNi). Het onderzoek omvat afschuifproeven en buigproeven.

De beste verbindingen ontstaan met het basismateriaal Ti-6Al-4V en het soldeermateriaal TiCuNi, de laatste in diffusiegegloeide toestand. Ook titaan (grade 2) kan i.v.m. de mechanische eigenschappen het best met TiCuNi gesoldeerd worden; een diffusiegloeijing lijkt hier niet zinvol te zijn.

1 INLEIDING

De Technische Commissie I-A van het NIL onderzoekt in het programma '88-'90 het hoogtemperatuursolderen van titaan- en titaanlegeringen. Het voorliggende werk is een rapportage over het tweede deel van het onderzoek. Het onderwerp hiervan is "mechanisch onderzoek aan soldeerverbindingen van titaan en Ti-6Al-4V" [1; 2]. Dit is een vervolg op het onderwerp "reinigen en vacuümsolderen van titaan en titaanlegeringen". Het TC-I-A-onderzoek op het gebied van titaan en titaanlegeringen zal worden afgesloten met het doen van corrosieproeven op gesoldeerde verbindingen.

Het mechanisch onderzoek omvat twee onderwerpen, te weten afschuifproeven en buigproeven. In beide gevallen worden de soldeervlakken voor het solderen geslepen, ontvet met aceton en niet gebeitst. Er worden vier soldeersoorten toegepast, die ook in het voorgaande deel zijn gebruikt: BAl97Mn, BAg72Cu, BAg82GaPd en BTi70CuNi. De laatste wordt beproefd in een toestand met en zonder diffusiegloeïing na het solderen.

2 MATERIALEN

De basismetalen zijn dezelfde als in het eerder uitgevoerde onderzoek naar het reinigen en vacuümsolderen van titaan en titaanlegeringen [2]. Hier werden echter drie basismaterialen toegepast in plaats van twee. De reden voor het weglaten van Ti-0,2Pd (materiaal B) is dat de mechanische eigenschappen naar verwachting vergelijkbaar zullen zijn met die van Ti (materiaal A).

Tabel 1: Basismetalen met rekgrens en treksterkte
(minimumwaarden)

Nr.	Metaal	$\sigma_{0,2}$ MPa	σ_b MPa
A	Ti <i>gevoel</i>	275	345
C	Ti-6Al-4V	870	925

In het huidige onderzoek worden dezelfde soldeermaterialen gebruikt als in het vorige onderzoek [2]. Ook nu wordt een selectie van de eerder gebruikte materialen gemaakt.

Tabel 2: Soldeermaterialen

Nr	Code	Fabrieks-aanduiding	Leverings-vorm	Samenstelling	Smelttraject (°C)
1	BAI97Mn	AA 3003 (via V.S.C.)	Folie 50 μm	97Al-3Mn	643 - 654
2	BAG72Cu	EL 101 (Drijf hout)	Draad 1,0 mm	72Ag-28Cu	780
3	BAG82GaPd	Gapasil-9 (Wesgo)	Draad 0,5 mm	82Ag-9Ga-9Pd	845 - 880
4	BTi70CuNi	TiCuNi (Wesgo)	Folie 50 μm	70Ti-15Cu-15Ni	910 - 960
5	Als soldeer nummer 4				

Tabel 3: Soldeertemperaturen

Nr	Code	T _{dw} (°C)	T _{sd} (°C)	T _{diff} (°C)
1	BAI97Mn	605	705	---
2	BAg72Cu	740	830	---
3	BAg82GaPd	805	930	---
4	BTi70CuNi	860	960	---
5	BTi70CuNi	860	960	920

T_{dw} - doorwarmtemperatuur

T_{sd} - soldeertemperatuur

T_{diff} - diffusiegloeitemperatuur

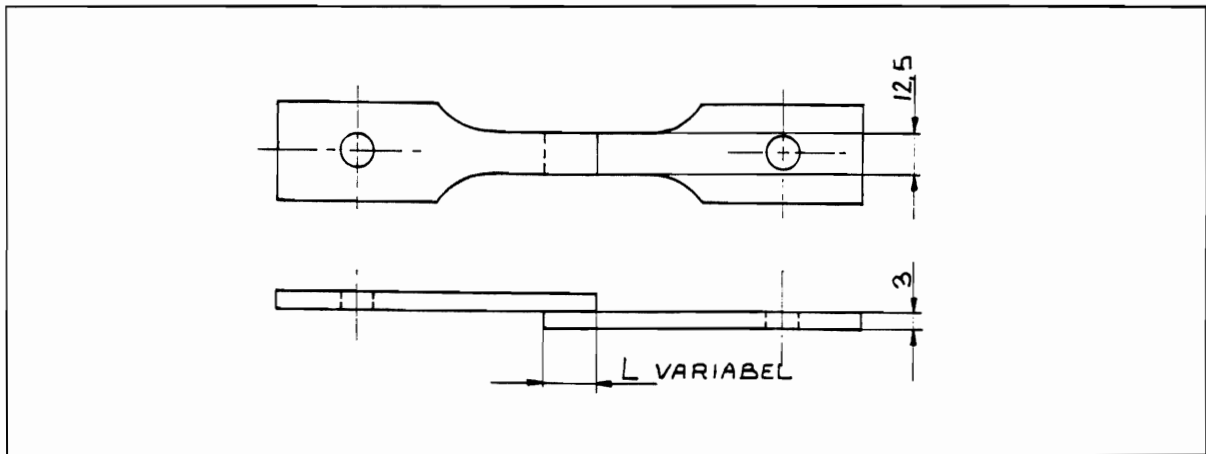
De doorwarm- en soldeertijden zijn telkens 10 minuten; de diffusiegloeitijd bedraagt vier uur. De opwarmsnelheid en (max.) afkoelsnelheid zijn 25°C/min.

3 ACHTERGROND

3.1 Beproevingmethoden

Afschuifproef

Voor het bepalen van de afschuifsterkte van de soldeerverbinding wordt gekozen voor een proefstaaf die veel lijkt op de AWS-afschuifstaaf. Deze bestaat uit een enkelvoudige overlapverbinding, zie figuur 1. De breedte van de staaf ter plaatse van de verbinding is 12,5 mm en de dikte van het uitgangsmateriaal is 3 mm. De AWS schrijft een serie van tien verschillende overlaplengtes voor; uit praktische overwegingen wordt echter gekozen voor één overlapverhouding.



Figuur 1: AWS-afschuifstaaf

Bij de uit te voeren proeven is het volgens de werkgroep gewenst dat de breuk optreedt in de soldeerverbinding en niet in de plaat. Op grond van deze eis moet gekozen worden voor een kleine overlaplengte. Voor het maken van reproduceerbare proefstaven is het gewenst om een grote overlaplengte te hebben. Daarom wordt geprobeerd om een zo groot mogelijke overlaplengte in te stellen, waarbij de kans op plaatbreuk minimaal is. Er wordt gekozen voor een overlapverhouding van twee.

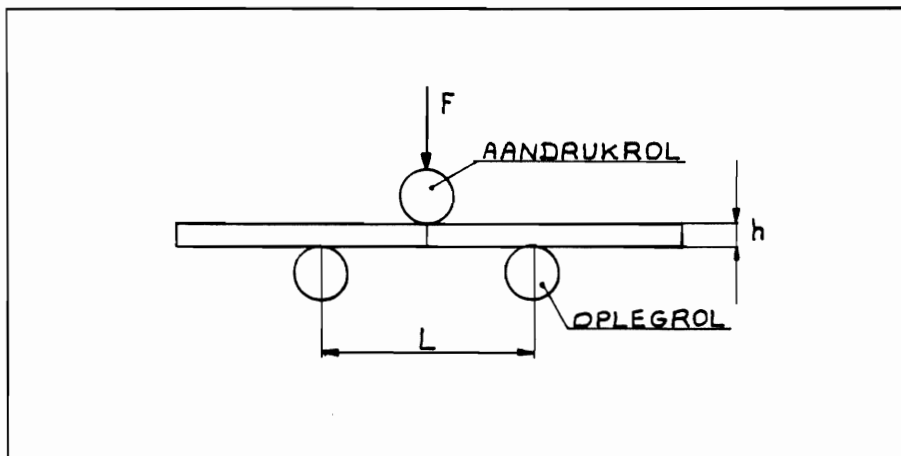
Het bepalen van de afschuifsterkte van een soldeerverbinding is geen eenvoudige zaak. Bij de verbinding met een enkele overlapnaad zal geen sprake zijn van zuivere afschuiving, doordat tijdens de proef vervorming in het proefstuk zal optreden. Voordelen van het gekozen proefstuk zijn ten eerste de relatief eenvoudige wijze van fabricage en ten tweede de veel voorkomende

toepassing ervan; hierdoor is vergelijking met literatuurwaarden mogelijk. Op het onderwerp afschuifproeven wordt dieper ingegaan in het rapport "Literatuurstudie naar afschuifproeven en kerfslagproeven van gesoldeerde verbindingen" [3].

Buigproef

Een andere manier om de sterkte van een verbinding te bepalen is het uitvoeren van een buigproef. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de volgende soorten:

- vierpuntsbuigproef: Het proefstuk rust op twee oplegrollen; de kracht wordt aangebracht d.m.v. twee aandrukrollen aan weerskanten van de verbinding. Voordeel van deze methode is dat het buigmoment in het proefstuk tussen de aandrukrollen constant blijft.
- driepuntsbuigproef: Het proefstuk rust op twee oplegrollen; de kracht wordt aangebracht d.m.v. één aandrukrol ter plaatse van de soldeerverbinding. Het voordeel van deze methode is dat behalve een buigkracht ook een buighoek bepaald kan worden. De buighoek is een maat voor de taaierheid van de verbinding.



Figuur 2: De driepuntsbuigproef

Bij dit onderzoek wordt gekozen voor de driepuntsbuigproef, vanwege de mogelijkheid om tevens de buighoek te bepalen.

Een schematische weergave van de buigproef staat in figuur 2. De buigspanning wordt bepaald uit formule 1:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

... 1

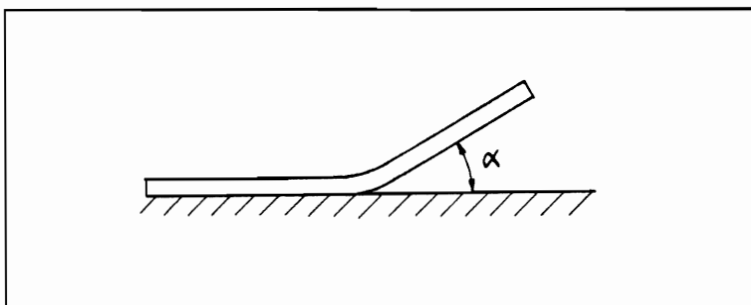
Met:	σ_b	= buigspanning	(N/mm ²)
	F	= buigkracht	(N)
	L	= opleglengte	(mm)
	b	= breedte	(mm)
	h	= dikte	(mm)

De opleglengte L wordt bepaald door de diameter van de oplegrollen (D), de diameter van de aandrukrol (d) en de dikte van de proefstaaf (h). Als waarde wordt veelal genomen:

$$L = D + d + 3 \cdot h$$

... 2

Bij de driepuntsbuigproef wordt de buigkracht bepaald, dit is de maximumkracht. Zodra tijdens de proef duidelijk wordt dat deze bereikt is, wordt de belasting van de staaf afgehaald. Na het verwijderen van de proefstaaf wordt hieraan de buighoek α opgemeten, zie figuur 3.



Figuur 3: De buighoek α na beproeving

3.2 Invloed van de diffusiegloeijing

Een artikel van Lan [4] maakt melding van een sterkteverhoging door diffusiegloeien, na het solderen van Ti-6Al-4V met een soldeer dat sterk overeenkomt met het in het TC-I-A-onderzoek toegepaste BTi70CuNi.

In de inleiding geeft Lan aan dat het nadeel van solderen met zilverbasis-soldeersoorten is, dat er op het grensvlak een continue TiAg-film gevormd wordt. Deze zorgt voor een slechte corrosieweerstand in het gebied van 260 tot 430°C. Elementen als palladium en gallium (beide aanwezig in BAg82GaPd) kunnen deze filmvorming voorkomen. Er blijft dan het nadeel over van de aanwezigheid van een laagsmeltend eutecticum Ag-Ag₂O bij 480°C, waardoor de bruikbaarheid van de verbinding boven ongeveer 300°C beperkt is. Daarom wil Lan gebruik maken van titaanbasissoldeer.

Het soldeer wordt in twee versies aangemaakt door tussen twee lagen titaan (dikte 50 µm per stuk), een laag nikkel met een galvanisch aangebrachte laag koper of berylliumbrons aan te brengen. Deze worden eerst op elkaar bevestigd door middel van weerstandlassen; daarna ondergaan ze in vacuüm (10⁻⁴ mbar) onder lichte druk (20 kPa) een diffusiegloeiding (10 minuten op 840°C). De dikte van de soldeerfolie is 120 µm.

Er zijn twee folies:

1. Ti-14Cu-14Ni (Cu, Ni ± 1%);
2. Ti-14Cu-14Ni-0,26Be (Cu, Ni ± 1%; %Be ± 0,2%).

Er wordt in vacuüm gesoldeerd ($p < 1,3 \cdot 10^{-4}$ mbar) gedurende 15 minuten op een temperatuur $T = 960^\circ\text{C}$ voor soldeer 1 en $T = 950^\circ\text{C}$ voor soldeer 2. De lagere soldeertemperatuur voor nummer 2 is te danken aan de toevoeging van beryllium. De verlaging met 10°C lijkt niet veel, maar is toch aantrekkelijk omdat in een voor het basismetaal kritisch gebied gesoldeerd wordt. Na het solderen worden een aantal proefstukken gegloeid bij 920°C, waarschijnlijk onder argon. De gloeitijden zijn 2, 4 en 6 uur.

Het mechanisch onderzoek van de verbindingen omvat afschuifproeven en treksterktebepalingen bij kamertemperatuur en verhoogde temperatuur. Ook worden er kerfslagproeven uitgevoerd. De proefstaven hebben de volgende kenmerken:

- Voor de afschuifsterkte is een soort AWS-staaf gebruikt met een breedte van 15 mm, een plaatdikte van 3 mm en een overlappende van eveneens 3 mm (overlapverhouding is dus 1);
- De trekstaven hebben een cirkelvormige doorsnede van 9,9 mm;
- Het meten van de kerfslagwaarde (KSW) vindt plaats met staven die een schuinstaande soldeernaad hebben (45°) en een U-vormige kerf.

Tabel 4: Resultaten van Lan [4] met basismateriaal Ti-6Al-4V; het soldeer heeft een dikte van 120 μm .

Behandeling	Sol-deer ¹	Gloeitijd (uur)	Afschuifspanning (MPa)	σ_b (MPa)		KSW ³ (J/cm ²)
				(20°C)	(...°C) ²	
Gesoldeerd	1	0	310	372	313	3
	2	0	442 ⁴	--	--	--
Gesoldeerd plus diffusiegloeining op 920°C	1	2	404	870	808	32
	2	4	464	905	869	40
	1	6	--	1100	843	44

¹Soldeersoort: 1. Ti-14Cu-14Ni; 2. Ti-14Cu-14Ni-0,26Be.

²Deze waarden zijn mogelijk bij 430°C gemeten.

³Let op: afwijkende proefstaafvorm.

⁴Op een andere plaats in het artikel geeft Lan hier de waarde 371 MPa.

Het vergelijken van de twee soldeersoorten wordt bemoeilijkt door een gebrek aan waarnemingen. Het lijkt alsof het berylliumhoudende soldeer een hogere afschuifsterkte heeft bij kamertemperatuur. Dit mogelijke verschil in eigenschappen bemoeilijkt ook het vergelijken van de eigenschappen na diffusiegloeien, omdat hier de twee soldeersoorten door elkaar gebruikt worden. De auteur geeft op dat alle afschuif- en kerfslagproeven een breuk in het basismetaal opleveren. Bij deze proeven kunnen de resultaten van de twee soldeersoorten daarom wel redelijk met elkaar vergeleken worden, al moet men zich realiseren dat de gemeten waarden meer zeggen over het basismateriaal dan over de soldeerverbinding. Dit geldt nadrukkelijk ook voor de kerfslagwaarde die met een ongebruikelijke proefstaafvorm bepaald is.

De lagere treksterkte bij de niet gegloeide verbindingen kan beïnvloed zijn door brossen in het soldeer ten gevolge van de grote naaddikte (120 μm). Na het diffusiegloeien zijn deze brossen waarschijnlijk verdwenen.

Op grond van niet nader omschreven motieven concludeert de auteur dat een diffusiegloeibehandeling van 4 uur (op 920°C) een optimaal resultaat oplevert. Deze behandeling wordt daarom ook toegepast op een serie afschuif- en buigstaven bij het TC-I-A-onderzoek. Hoewel de behandeling bestemd is voor Ti-6Al-4V, wordt uit nieuwsgierigheid ook een serie met zuiver titaan op deze wijze behandeld.

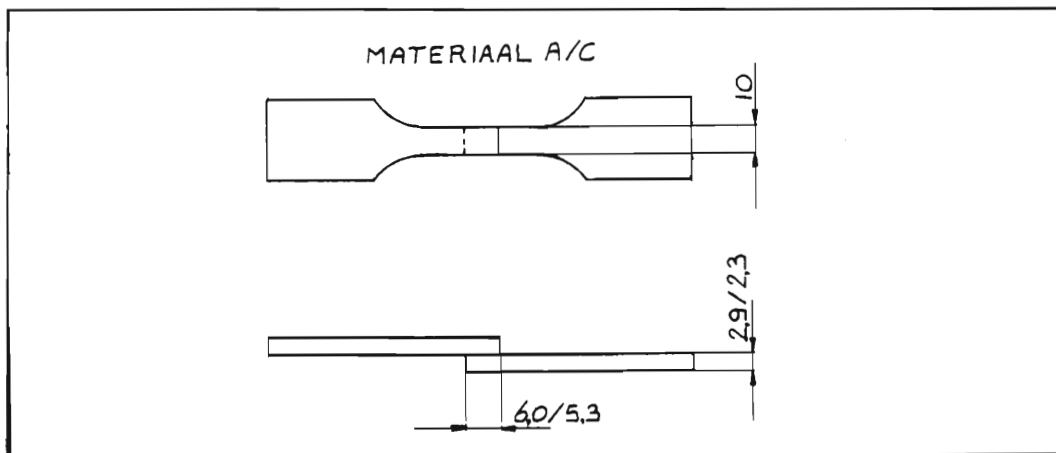
4 UITVOERING

4.1 Aanmaak van de proefstukken

Afschuifstaaf

De afschuifstaaf verschilt iets van de AWS-afschuifstaaf:

- de breedte op de plaats van de verbinding is 10 mm i.p.v. 12,5 volgens de AWS;
- de dikte van materiaal A is ongeveer 2,9 mm en de dikte van C is ongeveer 2,3 mm (allebei na vlaklijpen). De AWS gaat uit van 3 mm;
- de overlappende lengte is ongeveer tweemaal de plaatdikte; de AWS heeft een serie van tien verschillende overlappende verhoudingen.



Figuur 4: De afmetingen van de gebruikte afschuifstaaf.

Bij het maken van de afschuifstaven wordt uitgegaan van lasergesneden plaatjes. Deze hebben een ruwe snijrand. Door middel van slijpen krijgen de plaatjes gladde zijanten en afmetingen van ongeveer 21 x 88 mm. Deze proefstaafhelften worden eenzijdig geslepen en daarna ontvet (U.S.-trillen in aceton bij 65°C). Twee helften worden vervolgens tot één proefstuk samengesteld.

In het geval van foliesoldeer wordt de folie aangebracht tussen de soldeervlakken. Daarna wordt aan de zijanten een TIG-hechtlasje aangebracht.

In het geval van draadsoldeer wordt er eerst wolframfolie van 25µm dikte aangebracht tussen de soldeervlakken. De folie bevindt zich in een gedeelte dat later wordt weggefreest. Ook nu worden de proefstukhelften met TIG-hechtlasjes gefixeerd.

Na het solderen (zie hoofdstuk 4.2) worden de staven visueel onderzocht. Indien blijkt dat de soldeernaad niet of nauwelijks is gevuld, worden de staven afgekeurd. In de andere gevallen worden de proefstaven in de vorm gefreesd, zoals is weergegeven in figuur 4.

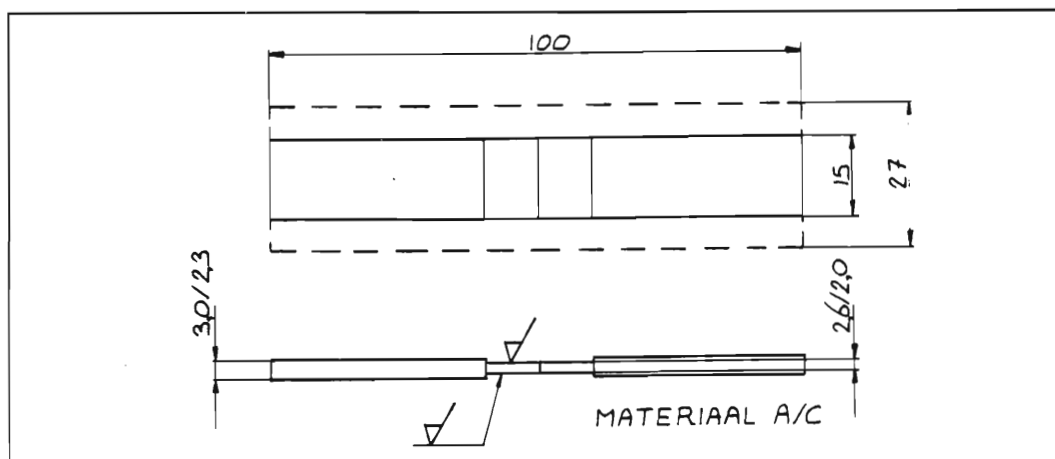
Buigstaaf

De vorm en afmetingen van de buigstaaf staan in figuur 5. Er wordt uitgegaan van lasergesneden proefstaafhelften van ongeveer 27 x 50 mm. Het kopse soldeervlak wordt vlakgeslepen.

In het geval van soldeerfolie, wordt de folie voor het solderen aangebracht tussen de soldeervlakken; de folie steekt enkele millimeters uit.

In het geval van draadsoldeer, wordt de soldeerspleet ingesteld op 25 µm met behulp van wolframafstandsfolie.

De plaatshelften worden aan elkaar bevestigd d.m.v. twee TIG-hechtlasjes. Deze bevinden zich evenals de afstandsfolies in een gebied dat na het solderen weggefreest wordt.



Figuur 5: De buigstaaf voor en na de mechanische bewerking. De situatie vóór bewerking wordt met streeplijnen weergegeven; de eindvorm heeft ononderbroken lijnen. De aandrukrol wordt geplaatst op het geslepen vlak (zie ook fig. 2)

Het solderen staat beschreven in hoofdstuk 4.2. Na het solderen worden de buigstaven in het gebied rond de naad tweezijdig vlakgeslepen. Het doel hiervan is het verwijderen van de soldeerresten en het uitlijnen van de proefstaaf. Ook een aanwezige ingevallen meniscus zal hierdoor verdwijnen.

4.2 Het solderen

Het doseren van het foliesoldeer gebeurt vóór het fixeren van de proefstaafhelften, zowel bij de afschuif- als bij de buigstaven. De folie steekt aan alle zijden enkele millimeters uit, om te zorgen voor enige naadvulling.

Het draadsoldeer wordt in een overmaat van driemaal het spleetvolume aangebracht boven de soldeerspleet. Dit soldeer wordt gefixeerd met een druppel Nicrobraz bindmiddel (op cellulosebasis).

De afschuifstaven worden schuin in de oven geplaatst, zodanig dat de zwaartekracht meehelpt bij het vloeien van het soldeer in de spleet. De buigstaven worden plat neergelegd, met het soldeer op of in de spleet.

Er wordt gesoldeerd in de Wentgate-oven. De doorwarmtemperatuur en de soldeertemperatuur staan vermeld in tabel 3. Het doorwarmen en het solderen duren beide 10 minuten. De opwarmingsnelheid bedraagt evenals de maximale afkoelingsnelheid 25°C/min. Er is geen snelkoeling toegepast.

Er zijn in totaal vier soldeercycli; het vacuüm op soldeertemperatuur is telkens beter dan 10^{-5} mbar. De diffusiegloeijing bij soldeer 5 vindt plaats in een separate ovencyclus met gelijke ovencondities.

4.3 Mechanisch onderzoek

Afschuifproeven

Bij de gesoldeerde en nabewerkte staven wordt de breedte van de proefstaaf en de lengte van de overlap opgemeten. De overlaplengte wordt aan twee zijden opgemeten en gemiddeld. De uiterste waarden staan vermeld in tabel 5.

Tabel 5: afmetingen van de afschuifstaven

	Mat.	Afmetingen (mm)
Plaatdikte (na slijpen)	A	ca. 2,9
	C	ca. 2,3
Breedte proefstaaf	A	9,95-10,05
	C	9,94-10,18
Gemiddelde overlaplengte	A	5,5-6,5
	C	5,0-5,7

Bovenstaande tabel geeft een indruk van de proefstaafafmetingen. Voor de berekening van de afschuifsterktes worden vanzelfsprekend voor elk proefstuk de individuele parameters toegepast. De overlapverhouding is iets groter dan gepland, namelijk $2,1 \pm 0,15$ mm voor materiaal A en $2,3 \pm 0,2$ mm voor materiaal C.

Van elk proefstuk wordt na de afschuifproef genoteerd of er breuk in de soldeernaad of in het basismetaal optreedt. In het eerste geval is er sprake van afschuiving (meestal niet-zuivere afschuiving), in het tweede geval wordt de sterkte van het basismetaal bepaald.

Buigproeven

Bij de buigstaven speelt de dikte en de breedte van de proefstaven een rol. De kenmerken van de proefstaven staan in tabel 6.

Tabel 6: Afmetingen van de buigstaven in de buurt van de soldeernaad.

	Mat.	Afmetingen (mm)
Dikte	A	22
	C	2,58-2,61
		1,94-2,01
Breedte	A	14,73-15,26
	C	15,14-15,27

De instelling van de afstand L tussen de oplegrollen bedraagt bij de meeste proeven 39 mm; in enkele gevallen is hiervan afgeweken. Deze afstand is overigens groter dan door formule 2 wordt aangegeven. Waarschijnlijk is er uitgegaan van verkeerde parameters. Met een materiaaldikte van 2,6 mm c.q. 2,0 mm en roldiameters (D en d) van elk 10 mm geldt $L = 28 \text{ mm c.q. } 26 \text{ mm}$.

De buigproef wordt gestopt zodra de maximum kracht bereikt is. Een indicatie hiervoor kan het optreden van scheurvorming zijn (visueel of akoestisch waar te nemen). Vaak ziet men evenwel dat de kracht steeds minder snel toeneemt en daarna begint af te nemen. Dan wordt het proefstuk direct ontlast, zodat de buighoek opgemeten kan worden.

Sommige proefstukken vallen tijdens de proef met een klap uiteen in twee stukken. De buighoek wordt dan opgemeten nadat de delen zo goed mogelijk tegen elkaar zijn aangebracht.

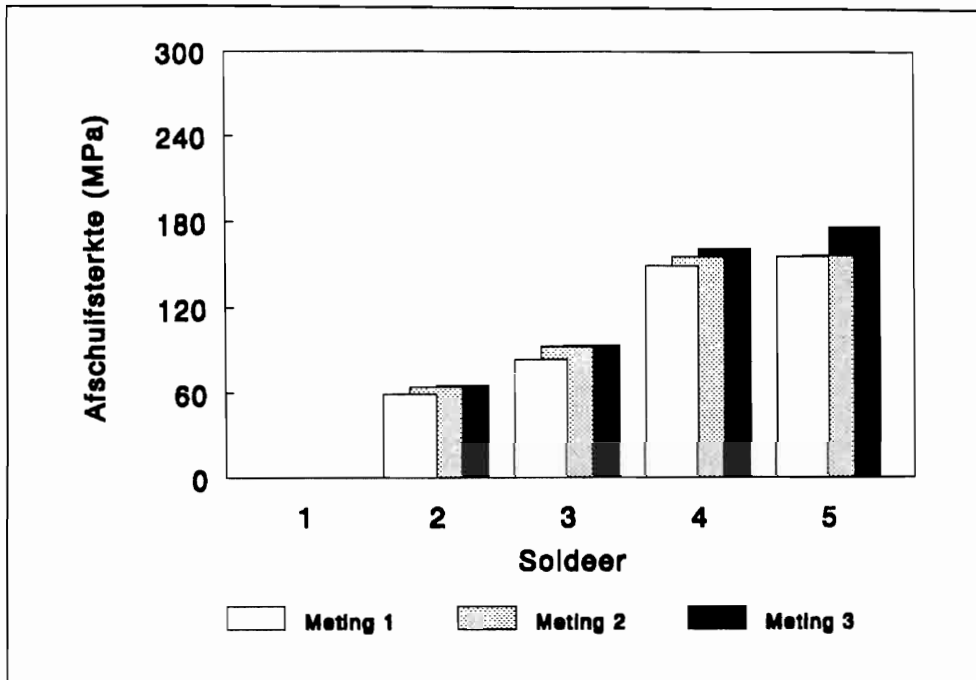
5 RESULTATEN

5.1 Afschuifproeven

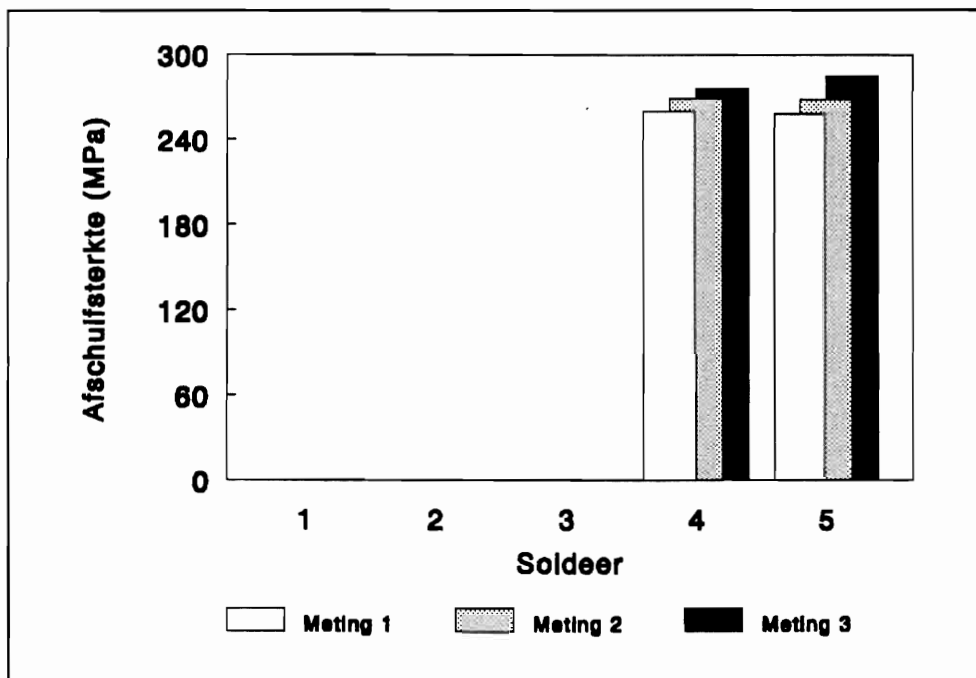
Er worden indien mogelijk drie afschuifstaven per basismetaal en per soldeersoort beproefd. Bij de nummering van de proefstaven speelt het resultaat een rol: per combinatie van drie komt eerst de proefstaaf met de laagste afschuifsterkte, terwijl die met de hoogste afschuifsterkte als laatste genoemd wordt. De resultaten staan per proefstaaf beschreven in een tweetal tabellen in bijlage 1, maar ze zijn ook visueel weergegeven in de figuren 6 en 7. In deze figuren geeft meting 1 de laagst gemeten waarde per serie weer en is meting 3 telkens de hoogste waarde van de serie.

Bij de presentatie van de resultaten in de bijlage wordt zowel een waarde voor de afschuifsterkte als voor de treksterkte gegeven. De waarde voor de afschuifsterkte geldt voor een situatie van afschuiving die leidt tot breuk in de soldeerlaag; dit is het quotiënt van de maximale kracht en het oppervlak van de overlap. De treksterkte is de spanning gedeeld door het oppervlak van de oorspronkelijke doorsnede van het basismetaal ter plaatse van de breuk. Deze waarde wordt gehanteerd bij breuk in het basismetaal.

Uit figuur 6 en 7 blijkt dat er bij de afschuifproeven sprake is van een beperkte spreiding. De gemiddelde afschuifsterkte van soldeer 2 en 3 bij het basismetaal titaan is beperkt. Bij soldeer 4 en 5 is de afschuifsterkte van het soldeer hoger dan de gemeten waarden: de soldeerverbinding is namelijk niet kapot gegaan. Hetzelfde geldt voor de proefstaven van de solderen 4 en 5 bij Ti-6Al-4V. Bij geen van de basismetalen is een significant verschil waar te nemen tussen de serie met en zonder diffusiegloeïing.



Figuur 6: Gemeten afschuifspanningen bij titaan (materiaal A). Bij de series 4 en 5 treedt telkens breuk op in het basismetaal; van serie 1 zijn geen bruikbare proefstaven verkregen.



Figuur 7: Gemeten afschuifspanningen bij Ti-6Al-4V (materiaal C). Bij de series 4 en 5 treedt breuk op in het basismateriaal; van de series 1, 2 en 3 zijn geen bruikbare proefstaven verkregen.

Visueel onderzoek aan de getrokken proefstaven**Titaan met soldeer 1 BAl97Mn**

- van deze serie zijn geen afschuifstaven beschikbaar gekomen.

Titaan met soldeer 2 BAg72Cu

- volledig met soldeer bedekte soldeervlakken;
- zeer lichte kromming van proefstuk bij de verbinding;
- meniscusvorming aanwezig.

Titaan met soldeer 3 BAg82GaPd

- soldeervlak is telkens voor de helft met soldeer bedekt en voor de helft is het soldeer losgekomen. Het andere proefstukdeel vertoont een complementair uiterlijk;
- sterkere vervorming dan bij serie 1;
- soms meniscusvorming aanwezig;
- wijziging oppervlaktestructuur: korrels ϕ 1 mm zijn zichtbaar.
-

Titaan met soldeer 4 BTi70CuNi

- soldeervlakken zitten nog aan elkaar vast;
- sterke vervorming: het soldeervlak maakt een hoek van 45° met de trekrichting;
- er is aan beide zijden van de verbinding scheurvorming in het basismateriaal opgetreden ten gevolge van de buiging. Aan een van de twee zijden is de proefstaaf tenslotte in het basismateriaal bezweken. Het breukvlak maakt een brosse indruk.
- er is geen sprake van meniscusvorming bij dit foliesoldeer.
- wijziging oppervlaktestructuur: korrels ϕ 1 mm zijn zichtbaar.

Titaan met soldeer 5 BTi70CuNi (+diff.gl.)

- breukgedrag is vrijwel identiek aan serie 4; alleen is bij proefstuk A13 in slechts één proefstaafhelft sprake van scheurvorming ten gevolge van de buiging.
- wijziging oppervlaktestructuur: korrels ϕ 2 mm zijn zichtbaar.

Ti-6Al-4V met soldeer 1 BAl97Mn, 2 BAg72Cu en 3 BAg82GaPd

- van deze series zijn geen afschuifstaven beschikbaar gekomen.

Ti-6Al-4V met soldeer 4 BTi70CuNi

- soldeervlakken zitten nog aan elkaar vast;
- buiging van het soldeervlak is minder sterk dan bij de serie "titaan met soldeer 4";
- breuk treedt op vrijwel dezelfde wijze op als bij de serie met titaan als basismetaal. Echter, nu is er in de niet gebroken proefstaaf slechts sprake van een initiatiescheurtje ten gevolge van de buiging.
- het uiterlijk van het materiaal is niet veranderd (geen korrels zichtbaar).

Ti-6Al-4V met soldeer 5 BTi70CuNi (+diff.gl.)

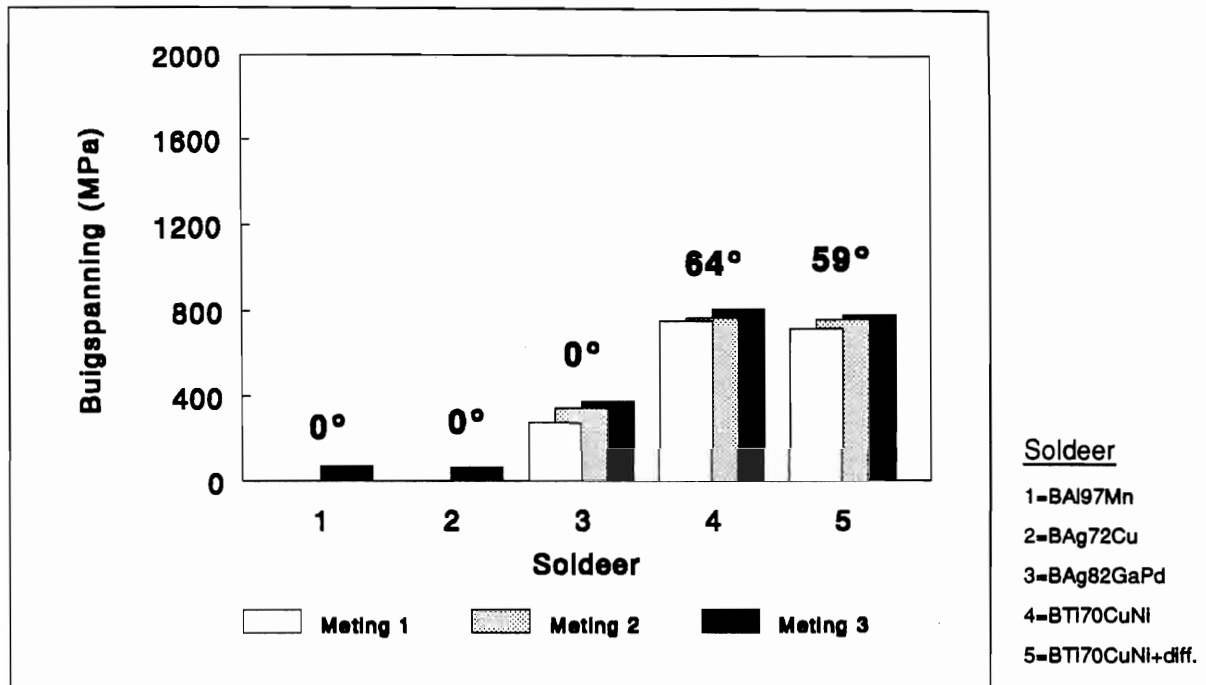
- als de serie "Ti-6Al-4V met soldeer 4".

5.2 Buigproeven

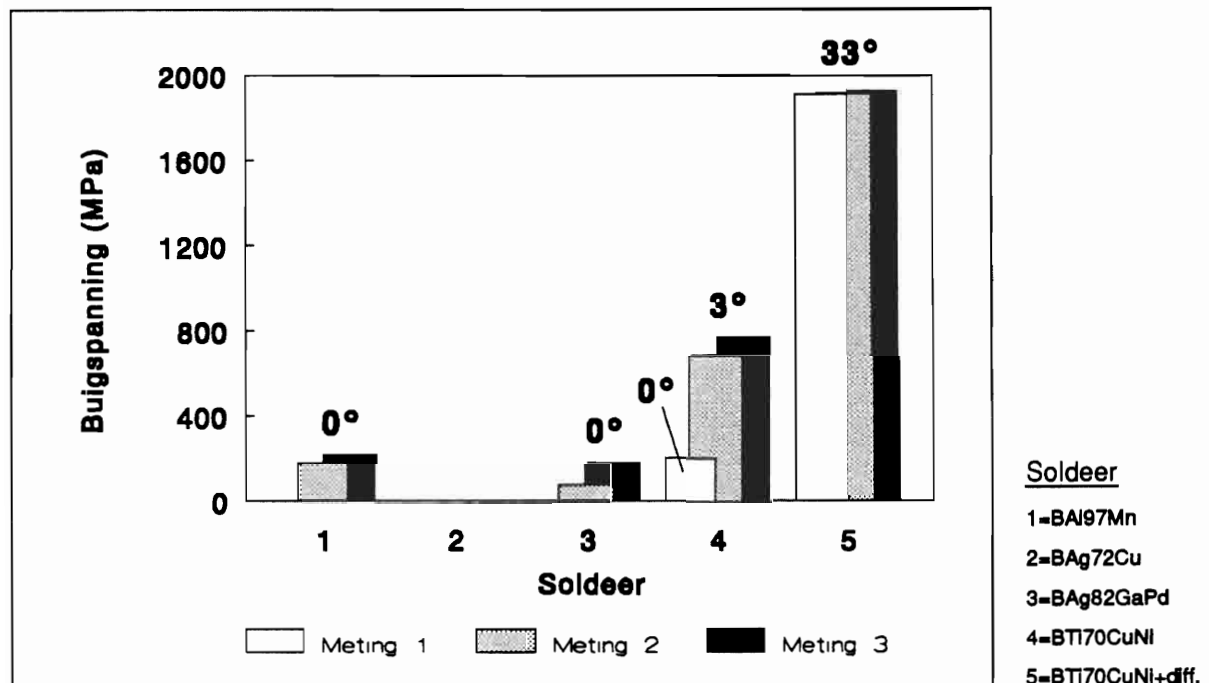
Net als bij de afschuifproeven wordt er geprobeerd om telkens drie proefstaven per basismetaal/soldeermateriaal-combinatie te beproeven. Ook nu gingen er weer een aantal staven kapot tijdens het bewerken. Per combinatie worden de proefstaven weer genummerd aan de hand van de resultaten. Deze maal wordt als sorteersleutel de buigspanning genomen: de laagste waarde krijgt het laagste proefstuknummer. De resultaten staan per proefstaaf beschreven in een tweetal tabellen in bijlage 2. Hierin staan ondermeer de gemeten buigspanning en de buighoek. Ook wordt aangegeven hoe de proefstukken er na de buigproef uitzien; bij gebroken exemplaren wordt het soldeervlak beschreven.

De gemeten buigspanningen zijn visueel weergegeven in twee staafdiagrammen (figuren 8 en 9). Hierin staan ook de gemeten buighoeken.

De soldeermaterialen 1, 2 en 3 geven bij geen van de basismaterialen hoge waarden voor de buigspanning; alle staafjes uit deze series breken in twee stukken, zonder dat het basismetaal vervormd wordt. De sterkte bij titaan en Ti-6Al-4V ligt beduidend hoger, met name de diffusie-gegloeide serie van Ti-6Al-4V. Verder is de hoge buighoek bij titaan opvallend; bij Ti-6Al-4V is deze wat minder, waarschijnlijk doordat het basismateriaal minder ductiel is. Overigens springt ook hier de diffusie-gegloeide serie er in positieve zin uit.



Figuur 8: Gemeten buigspanningen bij titaanverbindingen (materiaal A). De getallen boven de staven geven de gemiddelden van de buighoek per serie weer.



Figuur 9: Gemeten buigspanningen bij Ti-6Al-4V-verbindingen (materiaal C). De getallen boven de staven geven de gemiddelde buighoeken per serie weer; de eerste meting van serie vier is afwijkend door een soldeerfout.

6 DISCUSSIE

In tabel 7 wordt een overzicht gegeven van de gemeten afschuifspanningen. Van de tien combinaties basismetaal/soldeermateriaal zijn er slechts twee gemiddelde afschuifsterktes bepaald. Dit zijn de waarden voor BAg72Cu en BAg82GaPd op titaan. Bij soldeer BTi70CuNi (series 4 en 5) treedt in alle gevallen breuk op in het basismateriaal. De breuk ontstaat omdat de proefstaaf aan weerskanten van het verbindingsvlak sterk vervormt: de staaf maakt hier een hoek van ongeveer 45°. De scheur ontstaat op de plaats van de grootste buiging; er is dus geen sprake van een zuivere trekspanning in het basismetaal.

Een diffusiegloeïng op 920°C (serie 5) blijkt geen significante invloed op het resultaat te hebben: de basismetaalsterkte veranderd blijkbaar niet door de gloeiing.

Tabel 7: Gemiddelde afschuifspanningen per combinatie van basismetaal en soldeermateriaal; tussen vierkante haakjes staan het aantal waarden waarover wordt gemiddeld.

Soldeer	A. Ti (MPa)	C. Ti-6Al-4V (MPa)
1 BA197Mn	-- [0]	-- [0]
2 BAg72Cu	63 [3]	-- [0]
3 BAg82GaPd	89 [3]	-- [0]
4 BTi70CuNi	(155) [3]	(268) [3]
5 BTi70CuNi (diff.gloeïng)	(162) [3]	(270) [3]

De buigspanning en de buighoek zijn grootheden die sterk afhankelijk zijn van de proefmethode. De gemiddelde resultaten staan in tabel 8. Zelfs bij de hier gepresenteerde resultaten is voorzichtigheid geboden, omdat de proefstaafdikten van de materialen A en C niet gelijk zijn (ca. 2,6 c.q. 2,0 mm).

Tabel 8: Gemiddelde buigspanningen en buighoeken voor combinaties van basismetaleel en soldeermateriaal; tussen vierkante haakjes staan het aantal waarden waarover wordt gemiddeld.

Soldeer	A. Ti		C. Ti-6Al-4V	
	Buigsp. (MPa)	Buighoek (graden)	Buigsp. (MPa)	Buighoek (graden)
1 BAl97Mn	71 [1]	-- [0]	199 [2]	0 [2]
2 BAg72Cu	66 [1]	-- [0]	-- [0]	-- [0]
3 BAg82GaPd	330 [3]	0 [3]	127 [2]	0 [2]
4 BTi70CuNi	775 [3]	64 [3]	727 [2] ¹	3 [2] ¹
5 BTi70CuNi (diff.gloeïng)	750 [3]	59 [2] ²	1920 [3]	33 [3]

Opmerkingen:

¹Er zijn drie buigstaven beproefd; de laagste waarde is niet meegenomen.

²Staafe A13 sprong weg na het bereiken van de maximale kracht en bleef onvindbaar.

De laagste waarden worden behaald bij BAl97Mn, BAg72Cu en BAg82GaPd; hier is de verbinding zo zwak dat er vrijwel geen vervorming ontstaat tijdens de proef (buighoek is nul). Het beste resultaat van deze drie soorten geeft BAg82GaPd op titaan.

De beste verbinding geeft BTi70CuNi; een resultaat dat ook uit de afschuifproeven blijkt. Met de buigproeven kan een verschil worden aangetoond tussen de Ti-6Al-4V-staven met en zonder diffusiegloeïng. De diffusiegloeïng levert de hoogste sterkte op. Bij titaan is geen verandering te bespeuren.

Uit de buighoek kan minder worden afgeleid dan vooraf werd aangenomen. Bij buigstaven waarvan de soldeerverbinding intact blijft, geeft het een maat voor de taaiheid van het basismetaleel. Zo is de buighoek bij titaan tweemaal zo hoog als bij de diffusie-gegloeide serie van Ti-6Al-4V; de laatste is minder taai. De niet gegloeide serie van Ti-6Al-4V viel overigens uiteen in twee stukken; de buighoek was hier erg laag.

7 CONCLUSIE

De **afschuifproeven** leveren niet altijd een eenduidig resultaat op. Dit komt enerzijds door het voortijdig kapot gaan tijdens de bewerking van vier van tien series. Anderzijds blijkt dat de overlapverhouding voor vier van de overgebleven zes combinaties te groot is gekozen. Hier treedt dan ook telkens breuk op in het sterk vervormde basismetaal. Als gemiddelde afschuifsterktes kunnen worden genoemd:

- BAg72Cu op titaan: 63 MPa (23% van $\sigma_{0,2}$ van titaan);
- BAg82GaPd op titaan: 89 MPa (32% van $\sigma_{0,2}$ van titaan);
- BTi70CuNi op titaan: >159 MPa (staaf kapot bij 331 MPa);
- BTi70CuNi op Ti-6Al-4V: >269 MPa (staaf kapot bij 638 MPa).

De afschuifstaven met BTi70CuNi breken in het basismetaal. De gemeten treksterkte bij titaan ligt iets onder de basissterkte volgens tabel 1 en die van Ti-6Al-4V ligt er ver onder; bedenk hierbij dat de proefresultaten niet verkregen zijn met genormeerde trekstaven.

De **buigproeven** zijn redelijk verlopen. Ook hier vallen er een aantal series uit doordat er geen of slechts een trekstaaf gebruikt kan worden.

Bij de proeven waarin het basismateriaal niet of nauwelijks vervormt, heeft BAg82GaPd de beste waarde voor de buigspanning op titaan.

Betere resultaten geeft BTi70CuNi, zowel op titaan als op Ti-6Al-4V; een zeer goed resultaat wordt bereikt na een diffusiegloeijing van de Ti-6Al-4V-verbinding (4 uur op 920°C).

Instituut voor Productie en Logistiek TNO,
Afd. Produktietechnologie,



Ir. K.M. Broek



Ir. H.H. v.d. Sluis

Literatuur

- 1 **Een literatuurstudie over de eigenschappen, het reinigen en het hoogtemperatuursolderen van titaan en enkele titaanlegeringen.**
Rapport TC-I-A-392-88
- 2 **Reinigen en vacuümsolderen van titaan en titaanlegeringen**
Rapport TC-I-A-435-90
- 3 **Literatuurstudie naar afschuifproeven en kerfslagproeven van gesoldeerde verbindingen**
Rapport TC-I-A-429-90
- 4 S.W. Lan
Laminated Brazing Filler Metals for Titanium Assemblies
Weld. Journ. 61 (1982) 23-28

Bijlage 1: Resultaten van de afschuifproeven

In de tabellen 9 en 10 zijn de meetresultaten en waarnemingen per proefstaaf vermeld. Voor alle proefstaven is zowel een afschuifspanning als een trekspanning vermeld. Indien er geen breuk in de soldeernaad is opgetreden, staat de waarde voor de afschuifspanning in een grijs hokje: er is dan geen sprake van afschuiving. De trekspanning is berekend door de maximale kracht te delen door het oppervlak van de proefstaafdoorsnede. In de gevallen van breuk in de soldeernaad staat de waarde in een grijs hokje, om aan te geven dat hier geen sprake is van een echte trekspanning. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er in de andere gevallen ook geen sprake is van een zuivere trekspanning; hier is eerder sprake van een buigbelasting door vervormingen in de proefstaaf.

Tabel 9: Resultaten van de afschuifproeven aan gesoldeerde verbindingen van **titaan**.

Nr	Soldeer	Afschuifspanning (MPa)	Trekspanning (MPa)	Breekplaats	Opmerkingen
A1	1 BAI97Mn	---	---	--	Naad niet gevuld; alle staven kapot tijdens bewerken.
A2		---	---	--	
A3		---	---	--	
A4	2 BAg72Cu	59	118	Soldeer	---
A5		64	137	Soldeer	
A6		65	135	Soldeer	
A7	3 BAg82GaPd	83	161	Soldeer	Klein stukje folie in naad (0,5 x 4 mm)
A8		92	186	Soldeer	
A9		93	188	Soldeer	
A10	4 BTi70CuNi	149	278	Plaat	---
A11		155	304	Plaat	
A12		161	295	Plaat	
A13	5 BTi70CuNi (diff.gloeling)	155	312	Plaat	---
A14		156	335	Plaat	
A15		176	346	Plaat	

Tabel 10: Resultaten van de afschuifproeven aan gesoldeerde verbindingen van Ti-6Al-4V.

Nr	Soldeer	Afschuifspanning (MPa)	Trekspanning (MPa)	Breekplaats	Opmerkingen
C1	1 BAI97Mn	---	---	---	Naad niet gevuld
C2		---	---	---	
C3		---	---	---	
C4	2 BAg72Cu	---	---	---	Kapot tijdens bewerken
C5		---	---	---	
C6		---	---	---	
C7	3 BAg82GaPd	---	---	---	Kapot tijdens bewerken
C8		---	---	---	
C9		---	---	---	
C10	4 BTi70CuNi	260	589	Plaat	---
C11		269	585	Plaat	
C12		276	630	Plaat	
C13	5 BTi70CuNi (diff.gloeing)	258	618	Plaat	---
C14		268	658	Plaat	
C15		285	639	Plaat	

Bijlage 2: Resultaten van de buigproeven

In de tabellen 11 en 12 staan de buigspanning en de buighoek per proefstaaf. In de kolom "opmerkingen" wordt met een teken iets aangeduid over de toestand van de proefstaaf na breuk:

- f** - de proefstaaf is kapot gegaan voor, tijdens of direct na het frezen van de zijkanten;
- v** - de proefstaaf is kapot gegaan tijdens het vlakslippen;
- 2** - de proefstaaf is door het buigen in **twee** helften gebroken;
- 1** - de proefstaaf is door het buigen gescheurd, maar bestaat nog steeds uit **een** stuk.

In twee gevallen is niet de oplegrol-afstand $L = 39$ mm toegepast; dit staat onder opmerkingen aangegeven.

Tabel 11: Resultaten van de buigproeven aan gesoldeerde verbindingen van **titaan**

Nr	Soldeer	Buigspanning (MPa)	Hoek (graad)	Opmerkingen	
A1	1 BAI97Mn	--	--	v	Breukvlak grijs
A2		3	0	2	Breukvlak grijs; L=29mm i.p.v. 39mm
A3		71	0	2	Breukvlak grijs glinsterend
A4	2 BAg72Cu	--	--	v	Breukvlak egaal gelig
A5		--	--	f	Breukvlak egaal gelig
A6		66	0	2	70% matig bevochtigd; 30% egaal gelig
A7	3 BAg82GaPd	277	0	2	Soldeer vertoont een wisselend breukvlak
A8		341	0	2	Soldeer vertoont een wisselend breukvlak
A9		373	0	2	Soldeer vertoont een wisselend breukvlak
A10	4 BTi70CuNi	752	68	1	---
A11		766	58	1	---
A12		806	66	1	---
A13	5 BTi70CuNi (diff.gloeijing)	715	--	?	L=30mm i.p.v. 39 mm; staafje sprong weg!
A14		758	60	1	---
A15		778	57	1	---

Tabel 12: Resultaten van de buigproeven aan gesoldeerde verbindingen van **Ti-6Al-4V**.

Nr	Soldeer	Buigspanning (MPa)	Hoek (graad)		Opmerkingen
C1	1 BAI97Mn	--	--	v	60% niet bevochtigd; 40% grijs
C2		179	0	2	30% niet bevochtigd; 70% grijs soldeer (hiervan zitten sommige stukjes los)
C3		218	0	2	breukvlak grijs; sommige stukjes folie zijn losgekomen
C4	2 BAg72Cu	--	--	f	breukvlak egaal donker geel
C5		--	--	f	10% niet bevochtigd; rest is egaal donkergeel
C6		--	--	f	10% niet bevochtigd; rest is egaal donkergeel
C7	3 BAg82GaPd	--	--	f	30% niet bevochtigd
C8		75	0	2	soldeer vertoont een wisselend breukvlak
C9		178	0	2	10% niet bevochtigd; soldeer vertoont een wisselend breukvlak
C10	4 BTi70CuNi	202	0	2	50% egaal grijs soldeer; voor de rest waren stukjes folie telkens aan de ene of aan de andere proefstaaf verbonden.
C11		685	3	2	breukvlak egaal grijs
C12		769	3	2	breukvlak egaal grijs
C13	5 BTi70CuNi (diff.gloeiing)	1912	30	2	breukvlak egaal grijs
C14		1918	31	1	---
C15		1929	36	1	---

		GESLEPEN			ONGESLEPEN		
		1. Aceton	2. Zeep-1	3.	1. Aceton	2. Zeep-1	3.
GEBEITST	X	X					
	X	X					
ONGEBEITST	X	X					
	X	X					

Blad 1: SPREIDGEDRAG AAN DE HAND VAN DE "CIRKEL"-DIAMETER; DE AFHANKELIJKHEID VAN HET SOLDEERMATERIAAL.

De getallen stellen de gemiddelde spreiddiameters voor over telkens acht proefstukken.

Deze zijn:

1. geslepen
2. gebeitst of ongebeitst
3. gereinigd met aceton of zeep-1

SOLDEER	Ti	Ti-0,2Pd	Ti-6Al-4V
1 BAg60CuSn	27.9 *****	28.0 *****	25.4 *****
2 BA197Mn	14.1 ++++	14.1 ++++	12.2 +++
3 BA199,5	12.9 +++	16.7 +++++	11.4 ++
4 BAg72Cu	14.8 ++++	15.5 ++++	9.2 +
5 BAg95Al	8.4 +	8.4 +	7.4 .
6 BAg68CuPd	12.9 +++	13.3 +++	11.3 ++
7 BAg82GaPd	9.2 +	8.7 +	12.3 +++
8 BAg90Pd	8.4 +	8.0 +	9.0 +

Gemiddelde per kolom 13.6 14.1 12.3

Diameter	6 - 8 mm .
	8 -10 mm +
	10-12 mm ++
	12-14 mm +++
	14-16 mm ++++
	16-18 mm +++++
	18-20 mm ++++++
	20- mm *****

BEVINDINGEN:

1. Uit de gemiddelde spreiding per kolom valt op te maken dat het spreidgedrag op Ti-6Al-4V wat minder goed is dan op de andere twee materialen. De betere waarde voor Ti-0,2Pd wordt verklaard uit de hogere waarden bij de aluminiumhoudende soldeermaterialen: hier ontstonden soms grote halo's die werden meegerekend tot het bevochtigde oppervlak.
2. Het soldeer met de beste spreiding is nummer 1. Een groep die het ook goed doet bestaat uit de nummers 2, 3, 4, 6 en 7. Bij nummer 7 moet opgemerkt worden dat de soldeertemperatuur 20°C lager was gekozen, omdat uit een vooronderzoek bleek dat het soldeer misschien te enthousiast zou gaan spreiden. Het slechtste spreidgedrag vertoonden de nummers 5 en 8.

		GESLEPEN			ONGESLEPEN		
		1. Aceton	2. Zeep-1	3.	1. Aceton	2. Zeep-1	3.
GEBEITST		X	X				
		X	X				
ONGEBEITST		X	X				
		X	X				

Blad 2: SPREIDGEDRAG AAN DE HAND VAN DE "CIRKEL"-DIAMETER; DE AFHANKELIJKHEID VAN HET WERKSTUKMATERIAAL.

De getallen stellen de gemiddelde spreiddiameters voor over telkens acht proefstukken.

Deze zijn:

1. geslepen
2. gebeitst of ongebeitst
3. gereinigd met aceton of zeep-1

SOLDEER	Ti	Ti-0,2Pd	Ti-6Al-4V
1 BAg60CuSn	27.9 +	28.0 +	25.4 -
2 BAl97Mn	14.1 +	14.1 +	12.2 -
3 BAl99,5	12.9 +	16.7 ++++	11.4 -
4 BAg72Cu	14.8 ++++++	15.5 ++++++	9.2 -
5 BAg95Al	8.4 +	8.4 +	7.4 -
6 BAg68CuPd	12.9 +	13.3 +	11.3 -
7 BAg82GaPd	9.2 .	8.7 -	12.3 ++++
8 BAg90Pd	8.4 .	8.0 -	9.0 +

Voor elke soldeersoort wordt gekeken naar de minimumwaarde bij de drie materialen; de andere twee waarden worden hiermee vergeleken.

Symbolen: minimumwaarde -
 0 - 10% hoger .
 10 - 20% hoger +
 20 - 30% hoger ++
 etc.

BEVINDINGEN:

Bij de eerste zes soldeersoorten scoorden Ti en Ti-0,2Pd minimaal tien procent hoger in spreiddiameter dan Ti-6Al-4V. De soorten 7 en 8, die beiden bij hogere temperatuur worden ingezet, vertonen een tegengesteld gedrag. Soldeer 8 is overigens ongeschikt voor Ti-6Al-4V doordat de soldeertemperatuur hoger ligt dan T_{β} .

		GESLEPEN			ONGESLEPEN		
		1. Aceton	2. Zeep-1	3.	1. Aceton	2. Zeep-1	3.
GEBEITST		X	X				
		X	X				
ONGEBEITST		O	O				
		O	O				

Blad 3: INVLOED VAN HET WEL OF NIET BEITSEN OP HET SPREIDGEDRAG.

De getallen stellen de gemiddelde spreiddiameters voor over telkens vier proefstukken.

Deze zijn:

1. geslepen
2. gereinigd met aceton of zeep-1

Gebeitst:	Ti		Ti-0,2Pd		Ti-6Al-4V	
	ja	nee	ja	nee	ja	nee
1 BAg60CuSn	27.8	28.0	28.0	28.0	25.3	25.5
2 BAl97Mn	13.0	15.3	12.5	15.6	12.0	12.4
3 BAl99,5	13.0	12.9	15.4	18.0	10.6	12.3
4 BAg72Cu	14.5	15.0	15.4	15.6	9.4	9.0
5 BAg95Al	8.3	8.6	8.3	8.5	7.5	7.4
6 BAg68CuPd	13.0	12.8	13.4	13.3	11.6	11.0
7 BAg82GaPd	9.5	8.9	8.8	8.6	12.1	12.5
8 BAg90Pd	8.4	8.5	8.0	8.0	9.0	9.0

Hieronder volgt een vergelijking van de bovenstaande getalparen. De positieve getallen geven de hogere spreiding weer bij de niet-gebeitst proefstukken. De waarden beneden plus of min drie procent zijn met een "*" weergegeven.

Gebeitst:	Ti		Ti-0,2Pd		Ti-6Al-4V	
	ja	nee	ja	nee	ja	nee
1 BAg60CuSn		*		*		*
2 BAl97Mn		18%		25%		3%
3 BAl99,5		*		17%		16%
4 BAg72Cu		3%		*		-4%
5 BAg95Al		4%		*		*
6 BAg68CuPd		*		*		-5%
7 BAg82GaPd		-6%		*		3%
8 BAg90Pd		*		*		*

BEVINDINGEN

Als een verschil groter dan of gelijk aan tien procent als significant beschouwd wordt, dan kan gesteld worden dat het meestal niet uitmaakt of er wel of niet gebeitst wordt op geslepen materiaal. Alleen de aluminiumhoudende soldeersoorten reageren in vier van de zes gevallen gunstig op niet-beitsen.

		GESLEPEN			ONGESLEPEN		
		1. Aceton	2. Zeep-1	3.	1. Aceton	2. Zeep-1	3.
CEBEITST		X			O		
		X			O		
ONGEBEITST		X			O		
		X			O		

Blad 4: INVLOED VAN WEL OF NIET SLIJPEN OP HET SPREIDGEDRAG

De getallen stellen de gemiddelde spreiddiameters voor over telkens vier proefstukken.

Deze zijn:

1. gebeitst of ongebeitst
2. gereinigd met aceton

Geslepen:	Ti		Ti-0,2Pd		Ti-6Al-4V	
	ja	nee	ja	nee	ja	nee
1 BAg60CuSn	28.0	26.3	28.0	28.0	25.3	25.5
2 BA197Mn	14.0	#	14.0	18.8	12.3	#
3 BA199,5	13.3	#	18.6	#	11.8	#
4 BAg72Cu	14.8	15.9	15.1	#	9.0	#
5 BAg95Al	8.6	#	8.4	#	7.4	#
6 BAg68CuPd	12.8	17.9	12.9	16.5	11.1	10.8
7 BAg82GaPd	9.0	10.0	8.9	12.3	12.4	13.0
8 BAg90Pd	8.5	8.4	8.0	8.4	9.0	9.5

Hieronder volgt een vergelijking van de bovenstaande getalparen. De positieve getallen geven de hogere spreidingsdiameter weer bij de ongeslepen proefstukken.

Geslepen:	Ti		Ti-0,2Pd		Ti-6Al-4V	
	ja	nee	ja	nee	ja	nee
1 BAg60CuSn		-6%		0%		1%
2 BA197Mn		#		34%		#
3 BA199,5		#		#		#
4 BAg72Cu		7%		#		#
5 BAg95Al		#		#		#
6 BAg68CuPd		40%		28%		-3%
7 BAg82GaPd		11%		38%		5%
8 BAg90Pd		-1%		5%		6%

BEVINDINGEN

In éénderde van de gevallen waarin vergelijking mogelijk was, blijkt niet-slijpen een grotere spreiding op te leveren. Bij tweederde is het verschil kleiner dan tien procent en maakt het dus niet veel uit.

		GESLEPEN			ONGESLEPEN		
		1. Aceton	2. Zeep-1	3.	1. Aceton	2. Zeep-1	3.
GEBEITST	X	O	+				
	X	O	+				
ONGEBEITST	X	O	+				
	X	O	+				

Blad 5: INVLOED VAN DE
REINIGINGSMETHODE OP
HET SPREIDGEDRAG

De getallen stellen de gemiddelde spreiddiameters voor over telkens vier proefstukken.

Deze zijn:

1. geslepen
2. gebeitst of ongebeitst

In het onderstaande wordt per soldeer- en per werkstukmateriaal (dus per regel) de minimum spreiddiameter opgezocht; de andere waarden worden hiermee vergeleken. Voor elke vijf procent boven de minimumwaarde wordt één plusteken geplaatst.

Materiaal: Ti

Reiniging: Aceton		Zeep-1	Wener kalk	Zeep-2
1	B _{Ag} 60CuSn 28.0 .	27.8 .	28.0 .	
2	B _{Al} 97Mn 14.0 .	14.3 .	14.8 +	
3	B _{Al} 99,5 13.3 +	12.6 .		
4	B _{Ag} 72Cu 14.8 +	14.8 +	13.6 .	
5	B _{Ag} 95Al 8.6 .	8.3 .		
6	B _{Ag} 68CuPd 12.8 ++	11.6 .		13.0 ++
7	B _{Ag} 82GaPd 9.0 .	9.4 .		10.8 ++++
8	B _{Ag} 90Pd 8.5 .	8.4 .		8.1 .

Materiaal: Ti-0,2Pd

Reiniging: Aceton		Zeep-1	Wener kalk	Zeep-2
1	B _{Ag} 60CuSn 28.0 .	28.0 .		
2	B _{Al} 97Mn 14.0 .	14.1 .	15.5 ++	
3	B _{Al} 99,5 18.6 +++++	14.8 .		
4	B _{Ag} 72Cu 15.1 .	15.9 +	16.4 +	
5	B _{Ag} 95Al 8.4 .	8.4 .		
6	B _{Ag} 68CuPd 12.9 .	13.8 +		13.8 +
7	B _{Ag} 82GaPd 8.9 .	8.5 .		10.9 +++++
8	B _{Ag} 90Pd 8.0 .	8.0 .		7.9 .

Materiaal: Ti-6Al-4V

	Reiniging: Aceton	Zeep-1	Wener kalk	Zeep-2
1	B _{Ag} 60CuSn 24.5 .	26.3 +		
2	B _{Al} 97Mn 12.3 .	12.1 .	12.0 .	
3	B _{Al} 99,5 11.8 +	11.1 .		
4	B _{Ag} 72Cu 9.0 .	9.4 .	9.4 .	
5	B _{Ag} 95Al 7.4 .	7.5 .		
6	B _{Ag} 68CuPd 11.1 .	11.5 +		10.9 .
7	B _{Ag} 82GaPd 12.4 .	12.3 .		15.4 +++++
8	B _{Ag} 90Pd 9.0 .	9.0 .		

BEVINDINGEN

Er is geen reinigingsmiddel superieur aan de andere.

N.B.: Bij alle werkstukmaterialen gaf reinigingsmiddel vier een grote spreiding bij soldeer zeven, met name in de gebeitste toestand.