

Onderzoeksprojecten

NIL project:
**HOOGTEMPERATUURSOLDEREN
SOLDEREN VAN TITAAN**



Auteurs ir. H.H. van der Sluis, TNO Industrie
ing. C.C.J. Kaasschieter, TNO Industrie

Nederlands Instituut
voor Lastechniek

Krimkade 20
2251 KA Voorschoten

Vestiging Apeldoorn (Onderzoek)
Postbus 541 7300 AM Apeldoorn

doc.nr.: TC-I-A-567-96

augustus 1996

SOLDEREN VAN TITAAAN

Bestemd voor:

Nederlands Instituut voor Lastechniek

Krimkade 20

2251 KA VOORSCHOTEN

Ter attentie van de voorzitter en de leden van de NIL-Subcommissie TC-I-A

"Hoogtemperatuursolderen"

Samengesteld door: ing. C.C.J. Kaasschieter

ir. H.H. van der Sluis

Namens de werkgroep "Solderen van titaan" bestaande uit:

W.H. Brouwer - FOM Amsterdam

P. Hanenburg - NPB

C.C.J. Kaasschieter - TNO Industrie

J.H.F.G. Lipperts - ABB

R. Peereboom - VSC

H.H. van der Sluis - TNO Industrie

Chr. van Stiphout - HCH

Datum : augustus 1996

Oplaat : 25

Dit rapport is het resultaat van onderzoek uitgevoerd door TNO Industrie in opdracht van het Nederlands Instituut voor Lastechniek.

SAMENVATTING

Onderzoek is uitgevoerd naar het vacuümsolderen met een laagsmeltend Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 soldeer (smelttraject 805-815°C), op titaan en Ti 6 Al 4 V als basismaterialen. Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat in het soldeertemperatuurgebied 850-900°C het soldeer met titaan onvoldoende spleetvulling geeft, in tegenstelling tot Ti 6 Al 4 V. De structuur van de soldeernaad is afhankelijk van de toegepaste soldeertemperatuur, soldeertijd en de spleetbreedte: bij een soldeertemperatuur van 900°C en een soldeertijd van 20 min. bedraagt de microhardheid van de soldeernaad tussen twee Ti 6 Al 4 V-delen bij een spleetbreedte van 15 µm 336-355 Hv100. Een vergelijkbare microhardheid wordt verkregen bij dezelfde soldeertemperatuur, maar bij een langere soldeertijd (60 min) voor een spleetbreedte van 30 µm.

De afschuifsterkte van Ti 6 Al 4 V overlapverbindingen varieert, afhankelijk van de soldeertemperatuur, tussen 181 MPa (soldeer temp. 875°C) en 338 MPa (soldeer temp. 900°C).

De corrosiebestendigheid van met dit soldeer gesoldeerde Ti 6 Al 4 V-verbindingen is matig en vergelijkbaar met die van met Ag Cu 72-28 gesoldeerde verbindingen, maar slechter dan van met Ti Cu Ni 60-20-20 of Ag Ga Pd 82-9-9 gesoldeerde verbindingen.

Inhoud	Pagina
Samenvatting	i
1 Inleiding	1
2 Materialen en proefopzet	2
3 Uitvoering en resultaten van het onderzoek	3
3.1 T-proeven	3
3.2 Microscopisch onderzoek	3
3.3 Mechanisch onderzoek	3
3.4 Corrosie onderzoek	4
4 Bespreking van de resultaten	5
5 Conclusies	7
6 Literatuur	8
Bijlage	

1 INLEIDING

Ter beperking van het gewicht worden hoogwaardige constructies veelal uit sterke, corrosiebestendige lichte metalen vervaardigd, zoals bijvoorbeeld titaan of de veel toegepaste Ti 6 Al 4V legering. Het solderen van deze materialen kan gezien hun lage $\alpha \rightarrow \beta$ transformatietemperatuur respectievelijk β -transustemperatuur een probleem opleveren indien eisen aan de korrelgrootte, hardheid, sterkte, ductiliteit of corrosiebestendigheid worden gesteld. De gangbare soldeersoorten hebben in het algemeen een (te) hoge soldeertemperatuur, liggend boven deze transformatietemperaturen.

Recentelijk zijn soldeersoorten ontwikkeld met smelttrajecten die liggen onder de transformatietemperatuur van titaan (882°C); deze bevatten als hoofdelementen Ti en Zr en zijn gelegeerd met Cu en Ni (1). Door de werkgroep wordt het van belang geacht deze soldeersoorten op bruikbaarheid te onderzoeken. Probleem is echter dat deze soldeersoorten moeilijk verkrijgbaar zijn. Bij Cerac Inc. (Milwaukee, USA) is op bestelling een Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 gew.% in poedervorm aangemaakt; een soldeer in folievorm had de voorkeur, maar kon niet worden geleverd. Met het geleverde soldeer worden vloeiproeven uitgevoerd met behulp van T-proefstukken. Tevens wordt in microscopisch onderzoek de structuur van de soldeernaad bestudeerd, terwijl in mechanisch onderzoek de afschuifsterkte wordt vastgesteld. In corrosie-onderzoek wordt de corrosiebestendigheid van dit soldeer in een aangezuurde NaCl-oplossing nagegaan.

2 MATERIALEN EN PROEFOPZET

In het onderzoek worden de volgende materialen gebruikt:

- titaan Gr.2 plaat; dikte: 1 en 2,5 mm
- Ti 6 Al 4 V plaat; dikte: 1 en 2,5 mm

Als soldeer wordt toegepast:

Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10

in poedervorm (-200 mesh); 99% zuiver. Volgens analysecertificaat: 14,37% Cu; 0,03% Al; <0,01% Ca; <0,01% Mg; 0,01% Si.

Voorbehandeling:

De plaatmaterialen worden in een aceton u.s. bad damp ontvet; vervolgens gespoeld met alcohol en gedroogd.

Bij het aanbrengen van het soldeer in poedervorm wordt een restvrij bindmiddel Nicrobraz Cement 520 gebruikt.

De soldeercyclus die doorlopen wordt in de vacuümoven, luidt als volgt:

- opwarmen met 10°C/min naar 600°C;
- op 600°C houden gedurende 20 min;
- doorwarmen met 10°C/min naar 850-875 of 900°C ^{x)};
- op 850-875 of 900°C houden gedurende 20 min.;
- afkoelen in vacuüm met 20°C/min naar 100°C;
- vanaf 100°C snelkoelen.

^{x)} Afhankelijk van de toegepaste soldeertemperatuur. Vóór het solderen wordt de vacuümoven geëvacueerd, vervolgens gevuld met argon en wederom geëvacueerd, als spoelprocedure.

3 UITVOERING EN RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

3.1 T-proeven

Het vloeigedrag van het soldeer is onderzocht m.b.v. T-proefstukken, zowel voor titaan als Ti 6 Al 4 V. Voor de aanmaak van de T-proefstukken zijn liggers gebruikt van 95x15x2,5 mm terwijl als staanders zijn toegepast plaatjes met de afmetingen 95x25x1 mm. Voor het instellen van een spleet in een wolframfolie van 25 µm gebruikt. De resultaten worden gegeven in tabel 1 (bijlage). Het vloeigedrag is slecht op titaan en goed op Ti 6 Al 4 V te noemen. In alle gevallen wordt een kleine meniscus geconstateerd.

3.2 Microscopisch onderzoek

De structuur van de soldeernaad van T-proefstukken met verlopende spleetbreedte is microscopisch onderzocht voor de combinatie soldeer-Ti 6 Al 4 V. Als soldeertemperatuur is 900°C aangehouden, resulterend uit de vloeiproeven. Gevarieerd is de soldeertijd: 20 resp. 60 min. Nadat de vloeilengte is opgemeten voor de T-proefstukken met verlopende spleetbreedte (0-100 µm), is op discrete plaatsen de soldeernaad op structuur onderzocht. De resultaten van dit structuuronderzoek worden getoond in de figuren 1 t/m 12 (bijlage). Ook is de microhardheid gemeten bij verschillende soldeernaaddikten. De microhardheidsmetingen worden gegeven in tabel 2 (bijlage). Het meest opvallend is de toename in microhardheid bij toenemende soldeernaaddikte. Aanvaardbare microhardheden worden bereikt bij een soldeercyclus van 900°C-60 min.

3.3 Mechanisch onderzoek

In overlapproefstukken is het sterktegedrag van het soldeer bepaald voor daarmee gesoldeerd Ti 6 Al 4 V. De plaatjes waarmee het afschuifproefstuk wordt vervaardigd, hebben als afmetingen 80x20x2,5 mm; als overlap lengte geldt een afstand van 2,5-4 mm. Voor het instellen van de spleet wordt een wolframfolie van 25 µm toegepast.

De afschuifsterkte van gesoldeerde proefstukken bij verschillende temperaturen en vacuümqualiteiten is bepaald en wordt weergegeven in tabel 3 (bijlage). T.g.v. het matige vloeigedrag van het soldeer bij een lage soldeertemperatuur en/of een slecht vacuüm treedt onvolledige spleetvulling op, met als gevolg een lage afschuifsterkte. De waarden tussen haakjes in de tabel geven de afschuifsterkte als op soldeerfouten wordt gecorrigeerd.

3.4 Corrosie-onderzoek

De corrosieproeven zijn uitgevoerd op twee met Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 gesoldeerde T-proefstukken. De corrosie proefstukken zijn uit de T-proefstukken genomen op een wijze zoals is weergegeven in figuur 13 (bijlage).

In overleg met de werkgroep is gekozen voor een door de ASTM gestandaardiseerd corrosiemilieu (zoutsproeioproef) en gelijk gehouden aan dat uit eerdere onderzoeken. Het betreft hier een aangezuurde keukenzoutoplossing met een pH van 3,1-3,3. De oplossing bevat 5 gew.% Na Cl met azijnzuur aangezuurd conform ASTM G85-85. De proefstukken worden vóór het corrosie-onderzoek US-getrild in aceton op 50°C en daarna afgespoeld met alcohol.

Een bekersglas wordt gevuld met de aangezuurde zoutoplossing. De temperatuur van het bad wordt op 35°C gehouden en het bad wordt afgedekt met plastic kogels om verdamping tegen te gaan. De proefstukken worden zodanig neergelegd, dat ze met de bovenkant van de staander en één zijkant van de ligger de bodem raken.

Bij elke inspectie van de proefstukken en minimaal één keer per week, wordt de pH van de oplossing gecontroleerd. De oplossing wordt indien noodzakelijk met azijnzuur op de juiste zuurgraad gebracht. De proefstukken worden bij elke inspectie gespoeld met water, vervolgens gespoeld met alcohol en tenslotte gedroogd met de föhn. Als hulpmiddel bij visuele beoordeling wordt een loep met een vergroting van 40x gebruikt.

De resultaten van de corrosieproeven zijn weergegeven in tabel 4 (bijlage). Van de in duplo uitgevoerde proeven valt één proefstuk na 30 dagen expositie uit elkaar, terwijl het andere proefstuk - na een lichte zijwaartse druk met de hand - na 41 dagen bezwijkt. De gewichtsafname van beide proefstukken is 3,5 resp. 3,1 mg.

4 BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Het Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 soldeer heeft een slecht tot matig vloeigedrag bij soldeertemperaturen die gelijk zijn aan de liquidustemperatuur van het soldeer of 25°C daarboven liggen. Bij 900°C (50°C boven de liquidustemperatuur) vloeit het soldeer goed op Ti 6 Al 4 V, maar nog steeds slecht op titaan. Een eenduidige verklaring is hiervoor niet te geven. In eerder uitgevoerd onderzoek (1,2) vertoonden Ti Cu Ni 70-15-15 en Ti Cu Ni 60-20-20 ook een slecht tot matig spreid- en vloeigedrag op titaan en Ti 6 Al 4 V; weliswaar was de soldeertemperatuur toen gelijk aan de liquidustemperatuur van deze beide soldeersoorten (960 resp. 940°C). Bij een soldeercyclus van 900°C/20 min. is het soldeer in staat een 95 mm lange spleet met een plaatdikte van 1 mm en een spleetbreedte van 25 µm geheel te vullen. Een van 0 tot 100 µm verlopende spleet met een zelfde plaatdikte wordt in een dergelijke cyclus tot 70 mm gevuld (bijbehorende spleetbreedte bedraagt ca. 70 µm). Een langere soldeertijd van 60 min bij 900° geeft een iets langere spleetvulling tot 80 mm te zien (bij een spleetbreedte van ca. 80 µm). Een langere soldeertijd heeft als voordeel dat een soldeernaad met gunstiger eigenschappen wordt verkregen: lagere microhardheidswaarden (370-376 HV100), zonder dat de Ti 6 Al 4 V-structuur korrelgroei vertoont. Bovendien wordt de mogelijkheid geboden ontstane brosse fasen in de naad en in de meniscus door de langere soldeertijd t.g.v. diffusie te doen verdwijnen. Dit uit zich wel in een grotere diffusiebeïnvloede zone in het basismateriaal. Bij kleine spleetbreedten (0 en 15 µm) worden vulfouten in de soldeermeniscus geconstateerd, terwijl soms een negatieve meniscus aanwezig is.

Voor het bepalen van de afschuifsterkte zijn overlapproefstukken gesoldeerd bij 900°C met een soldeertijd van 20 min. én een soldeertemperatuur van 875°C toegepast bij dezelfde soldeertijd en spleetbreedte. In dat laatste geval blijkt de soldeerspleet slecht gevuld te worden, wat resulteert in soldeerfouten en een lage afschuifsterkte (181 MPa). Ook de kwaliteit van het vacuüm is van invloed. Is de vacuümdruk slechter dan 1×10^{-5} mbar, dan worden soldeerfouten en een lage afschuifsterkte (257 MPa) geconstateerd. Onder optimale omstandigheden (sold. temp. 900°C - soldeertijd 20 min. - vac. 1×10^{-5} mbar - spleetbreedte 25 µm) wordt de hoogste afschuifsterkte gemeten (338 MPa). Deze waargenomen verschillen worden ook in (3) geconstateerd voor Ti Zr Cu Ni 38-38-12-12 soldeer met waarden voor de afschuifsterkte van ca. 180 MPa. Volgens dezelfde bron is met een soldeer in folievorm een hogere sterkte te bereiken.

In tegenstelling tot de soldeersoort Ti Cu Ni 60-20-20 geeft Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 na één dag expositie in het corrosieonderzoek witte corrosie produkten te zien, hetgeen duidt op een grotere gevoeligheid voor een aangezuurd NaCl-milieu. Bovendien bezwijkt de verbinding na 30 resp. 41 dagen expositie aan het corrosiemedium, terwijl Ti Cu Ni 60-20-20 na 73 dagen nog in een intacte verbinding bezat. Ditzelfde geldt voor de verbinding van Ti 6 Al 4 V gesoldeerd met Ag Ga Pd 82-9-9. In de literatuur (4) wordt het soldeer Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 een goede corrosiebestendigheid toegedicht; hierbij dient wel te worden opgemerkt dat dit soldeer in folievorm is toegepast. In (5) vertoont een Ti Zr Cu Ni 35-35-15-15 soldeer in 1 N zwavelzuuroplossing een slechter corrosiegedrag

dan Ti Cu Ni 60-20-20 en Ti Cu Ni Pd 60-19-19-2 soldeer en het Ti 6 Al 4 V basismateriaal. Ook hier werden de soldeersoorten in folievorm toegepast.

5 CONCLUSIES

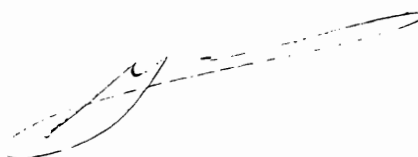
Geconcludeerd kan worden dat het soldeer Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 toegepast in poedervorm:

- in vloeiproeven bij temperaturen van 900°C op Ti 6 Al 4 V een redelijk tot goed vloeigedrag vertoont; dit is echter niet het geval op titaan;
- in afschuifproeven, gesoldeerd bij 900°C - 20 min in een vacuüm beter dan 1×10^{-5} mbar een afschuifsterkte van 338 MPa bereikt. Bij lagere soldeertemperaturen en/of een slechter vacuüm worden lagere afschuifsterkten behaald (181 resp. 251 MPa);
- de structuur en microhardheid van de soldeernaad in Ti 6 Al 4 V verbindingen verbeteren bij een langere soldeertijd;
- in corrosieproeven een slechter corrosiegedrag vertoont dan verbindingen gesoldeerd met Ti Cu Ni 60-20-20 en Ag Ga Pd 82-9-9;
- slechtere (mechanische) eigenschappen aan de verbinding geeft dan ditzelfde soldeer toegepast in folievorm. Dit laatste blijkt uit in de literatuur gepubliceerd onderzoek (4).

TNO INDUSTRIE



ing. C.C.J. Kaasschieter



ir. H.H. van der Sluis

6 LITERATUUR

1. NIL TC-I-A-430-90 rapport - K.M. Broek
Reinigen en vacuümsolderen van titaan en titaanlegeringen
2. NIL TC-I-A-593-92 rapport - C.C.J. Kaasschieter
Het vacuümsolderen van titaan en Ti6 Al 4 V aan AISI 316 L
3. L. Martinez - Entwicklung neuer Titanbasislote zum Fügen hochfester Verbindungen aus Ti 6 Al 4 V und anderer Titanlegierungen Nr. 31.05.07.91 - 1991, RWTH Aachen
4. T. Onzawa, A. Suzumura, M.W. Ko - Brazing of titanium using low-melting-point Ti-based filler metals - Welding Journal Dec. 1990 462-s/467-s
5. H.D. Steffens, J. Wilden, D. Ashoff, E. Lugscheider, U. Broich
Korrosionsverhalten hart- und hochtemperaturgelöteter Titanwerkstoffe
Schweissen und Schneiden 48/1996/H.5. 338-343

Tabel 1: Vloeigedrag Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 soldeer

Bijlage 1

Spleetbreedte: 25 µm	Vloeilengte (mm) in T-proef		Opmerking
	Titaan	Ti 6 Al 4 V	
Soldeertemp.-tijd			
850°C - 20 min	n.u.	33-35	In alle gevallen wordt een kleine meniscus waargenomen
875°C - 20 min	36-36	91-94	
900°C - 20 min	46-50	95-95	

n.u.= niet uitgevoerd

Tabel 2: Microhardheid Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10

Ti 6 Al 4 V	T-proef met verlopende spleetbreedte van 0-100 µm:				
		Microhardheid (Hv100) bij			
Soldeertemp.-tijd	vloeilengte (mm)	0 µm	15 µm	30 µm	70 µm
900°C - 20 min	70	361-381	336-355	460-500 ^x	n.b.
900°C - 60 min	80	336-392	n.b.	350-355	370-376

n.b.= niet bepaald

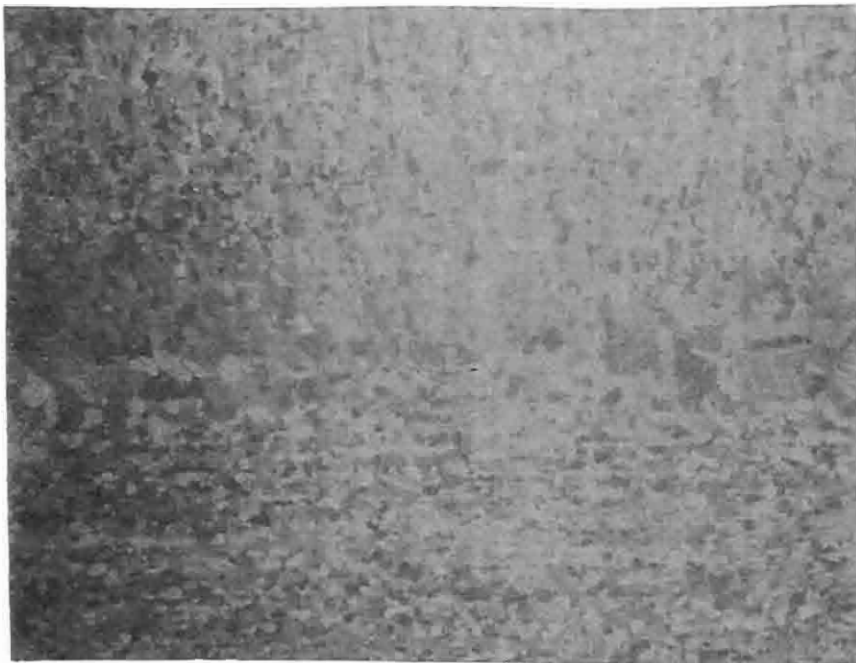
^x= Hv 50

Tabel 3: Afschuifsterkte Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 soldeer

Ti 6 Al 4 V	Overlapproef met spleetbreedte 25 µm			
Soldeertemp.-tijd-vac. druk	Afschuifkracht (N)	Breukopp. (mm ²)	Afschuifsterkte (N/mm ²)	Breukplaats
875°C - 20 min 1x10 ⁻⁵ mbar	9240	51.0	181 (250)	soldeer; sold. fout aanwezig
900°C - 20 min 1x10 ⁻³ mbar	18480	72.0	257 (319)	soldeer; sold. fout aanwezig
900°C - 20 min 1x10 ⁻⁵ mbar	20800	61.6	338	soldeer

Tabel 4: Visueel onderzoek aan corrosieproefstukken van Ti-6Al-4V/Ti-6Al-4V (zuur milieu; duplo-serie)

Nr	Basismat.	Soldeer	Gewicht (g)	Dagen	Voorkant proefstuk	Achterkant proefstuk	Kopse kant	
							A	B
TA 95-6	Ti6Al4V/ Ti6Al4V	TiZrCuNi	11,9505	0			-	-
				1	wit corr.prod. op 1 mm	wit corr.prod. op 1 mm	-	-
				2	idem als na 1 dag	idem als na 1 dag	-	-
				5	op 0-8 mm wit corr.prod.	op 0-8 mm wit corr. prod.	wit corr.- produkt	-
				12	op 0-38 mm wit corr.prod.	op 0-38 mm wit corr.prod.	wit corr.- produkt	-
				20	idem als na 12 dagen	idem als na 12 dagen	wit corr.- produkt	wit corr.- produkt
				30	proefstuk uiteengevallen;			
TA 95-7	Ti6Al4V/ Ti6Al4V	TiZrCuNi	12,6365	0			-	-
				1	wit corr.prod. op 1 mm	op 12 en 38 mm wit corr.prod.	-	-
				2	idem als na dag 1	idem als na 1 dag	-	-
				5	op 6-12 mm en op 10-27 mm witte corr. prod.	op 4,11-17 mm en op 38 mm witte corr.prod.	wit corr.- produkt	-
				12	op 0-38 mm witte corr.prod.	op 0-38 mm witte corr.prod.	wit corr. pr.	-
				20	gelijk aan 12 dagen	gelijk aan 12 dagen	wit corr.pr.	wit corr.pr.
				30	gelijk aan 20 dagen	gelijk aan 20 dagen	wit corr.prod. spleet ontst.	wit corr.prod. spleet ontst.
				41	gelijk aan 30 dagen; proef gestopt;proefstuk gedeeltelijk los en na licht aandrukken, bezwaken			

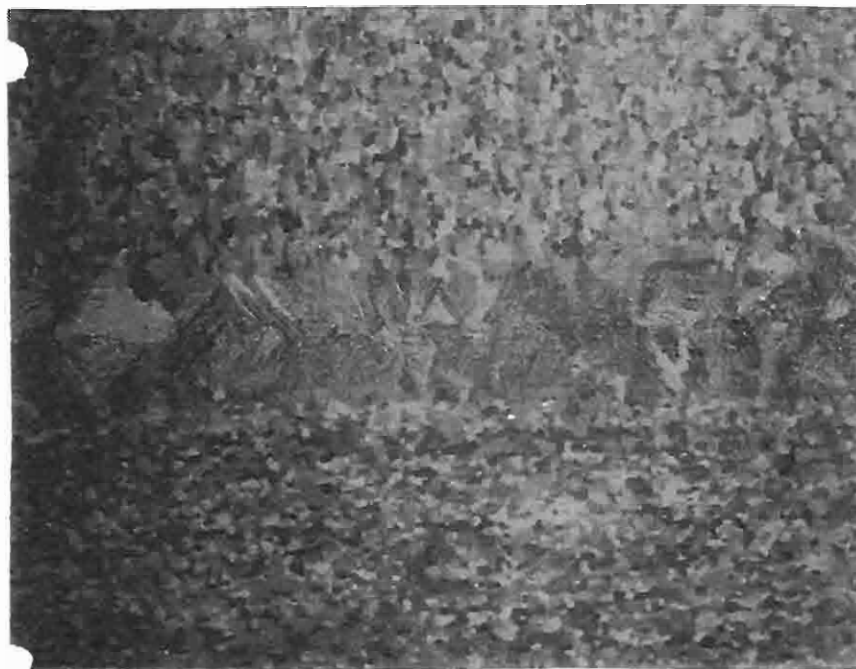


Figuur 1 T-proef (midden)

Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 -
Ti 6 Al 4 V verbinding
soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 20 min
spleetbreedte: 0 µm

Hardheid soldeernaad:
336-381 H_{V100}

P3040
V= 200x



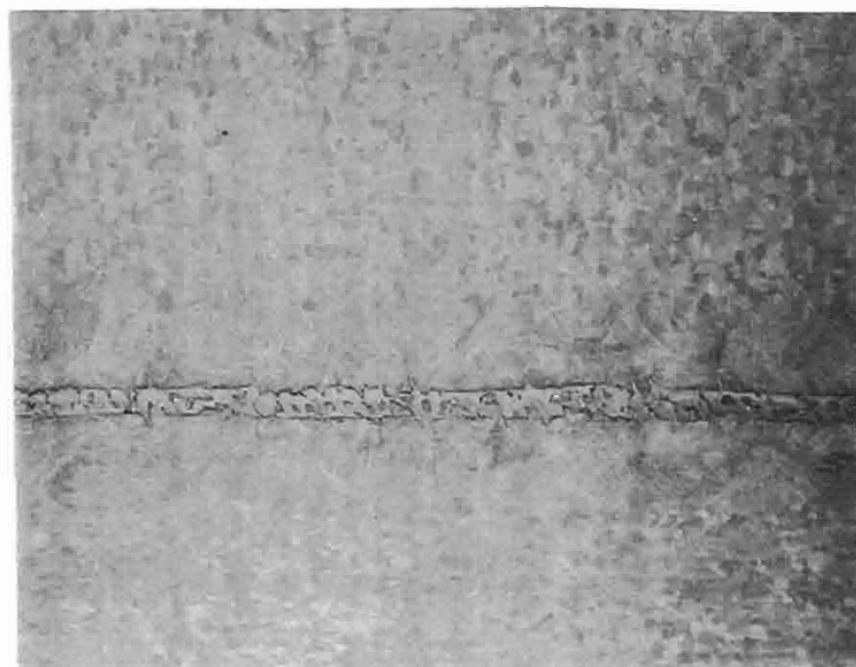
Figuur 2 T-proef (midden)

idem als figuur 1

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 20 min
spleetbreedte: 15 µm

hardheid soldeernaad:
336-355 H_{V100}

P3028
V= idem



Figuur 3 T-proef (midden)

idem als figuur 1

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 20 min
spleetbreedte: 30 µm

hardheid soldeernaad:
460-500 H_{V50}

naad bevat harde fasen

P3042
V= idem



Figuur 4 T-proef (rand)

Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 -
Ti 6 Al 4 V verbinding
soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 20 min
spleetbreedte: 0 µm

hardheid soldeernaad:
336-381 H_{V100}

meniscus bevat harde fasen

P3039
V= 200x



Figuur 5 T-proef (rand)

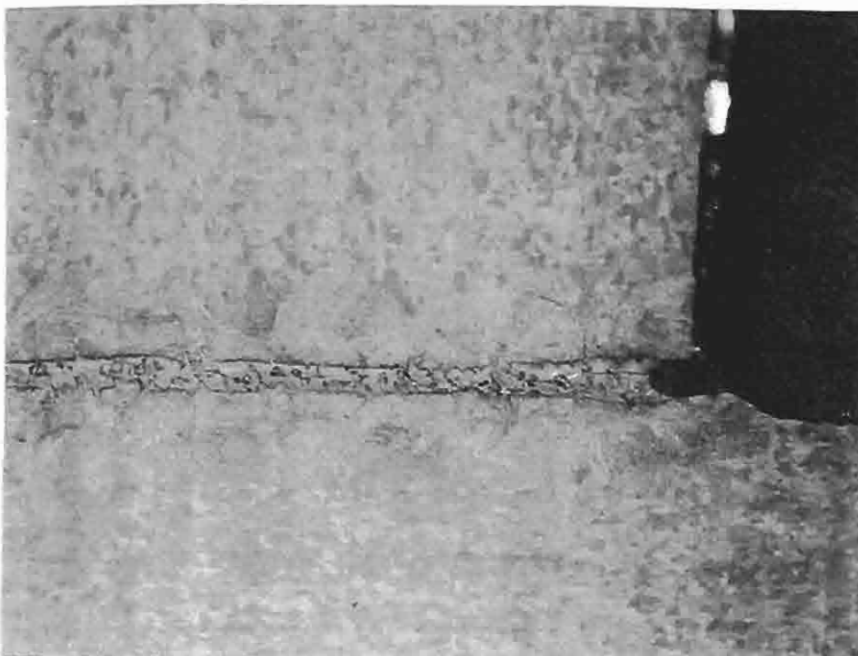
idem als figuur 4

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 20 min
spleetbreedte: 15 µm

hardheid soldeernaad:
336-355 H_{V100}

meniscus bevat harde fasen

P3027
V= idem



Figuur 6 T-proef (rand)

idem als figuur 4

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 20 min
spleetbreedte: 30 µm

hardheid soldeernaad:
460-500 H_{V50}

teruggetrokken, holle
meniscus; naad bevat harde
fasen

P3041
V= idem



Figuur 7 T-proef (midden)

Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 -
Ti 6 Al 4 V verbinding

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 60 min
spleetbreedte: 0 µm

hardheid soldeernaad:
336-392 H_{V100}

P3036
V= 200x



Figuur 8 T-proef (midden)

idem als figuur 7

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 60 min
spleetbreedte: 30 µm

hardheid soldeernaad:
350-355 H_{V100}

P3034
V= idem



Figuur 9 T-proef (midden)

idem als figuur 7

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 60 min
spleetbreedte: 70 µm

hardheid soldeernaad:
370-376 H_{V100}

P3030
V= idem



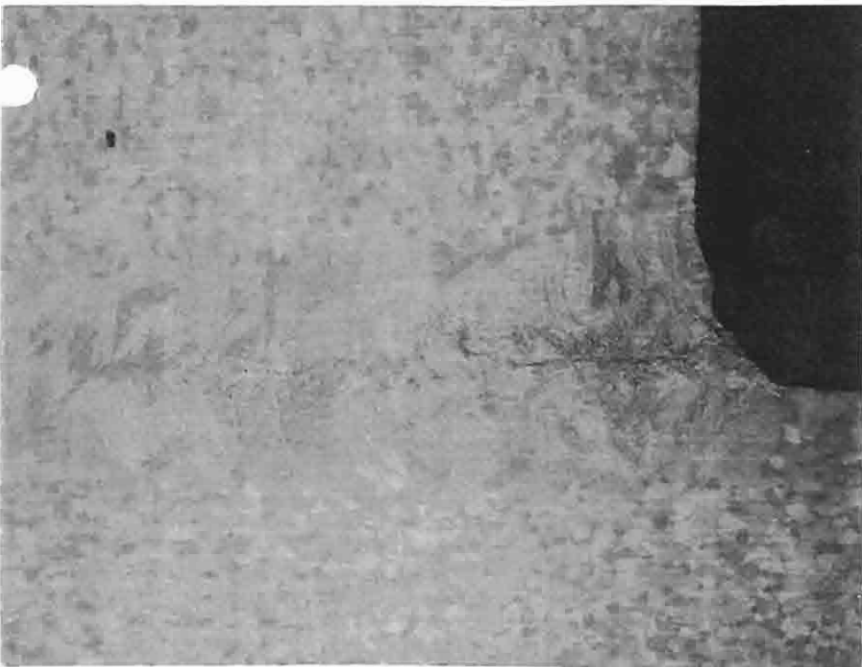
Figuur 10 T-proef (rand)

Ti Zr Cu Ni 37,5-37,5-15-10 -
Ti 6 Al 4 V verbinding
soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 60 min
spleetbreedte: 0 µm

hardheid soldeernaad:
336-392 H_{V100}

holte dichtbij meniscus

P3035
V= 200x



Figuur 11 T-proef (rand)

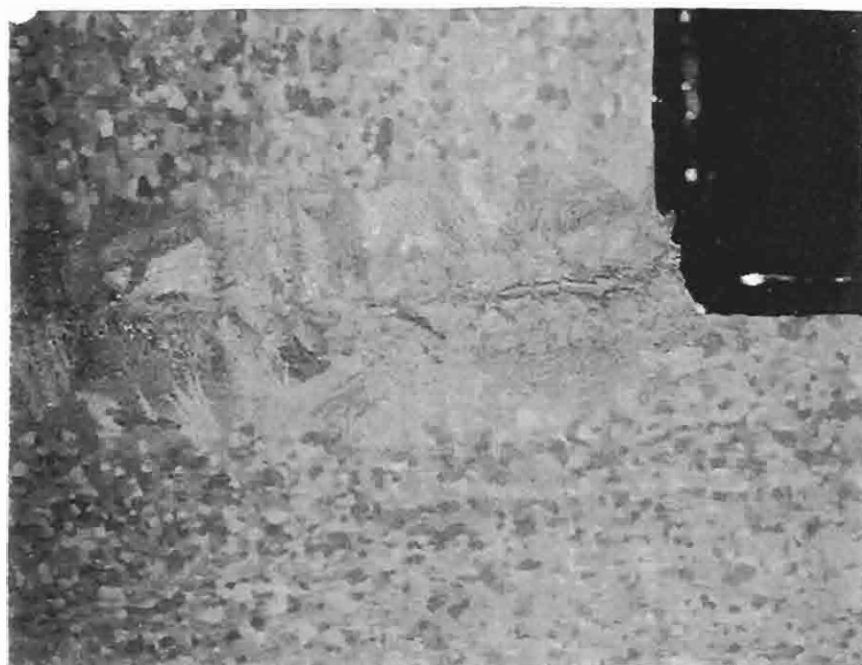
idem als figuur 10

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 60 min
spleetbreedte: 30 µm

hardheid soldeernaad:
350-355 H_{V100}

meniscus bevat harde fasen

P3033
V= idem



Figuur 12 T-proef (rand)

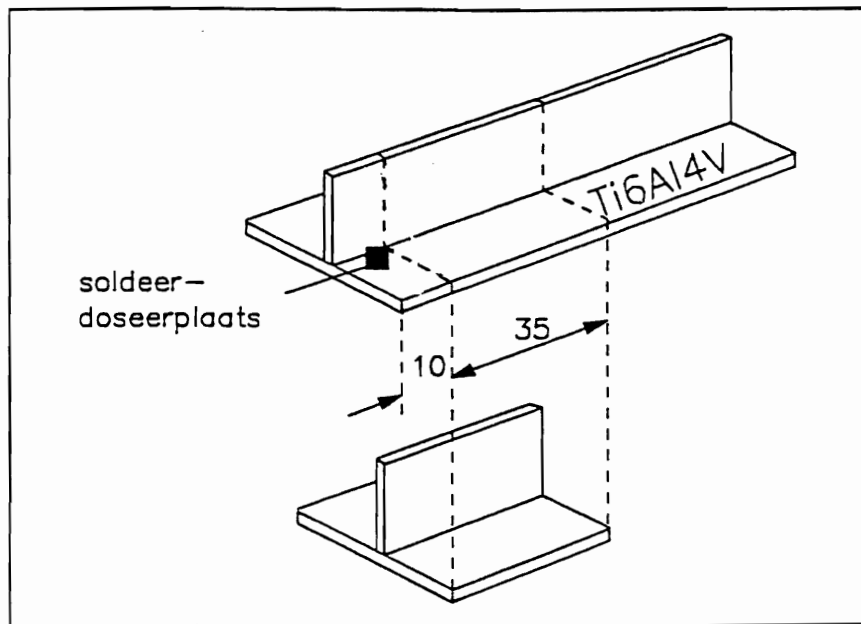
idem als figuur 10

soldeertemp : 900°C
soldeertijd : 60 min
spleetbreedte: 70 µm

hardheid soldeernaad:
370-376 H_{V100}

meniscus bevat harde fasen

P3029
V= idem



Figuur 13 Corrosieproefstuk uit vloeiproefstukken