

R1096

Onderzoeksprojecten

NIL project:
HOOGTEMPERATUURSOLDEREN

**HET VACUÛMSOLDEREN VAN TITAN
EN Ti6Al4V AAN AISI 316L
(VERVOLG)**



Nederlands Instituut
voor Lastechniek

Krimkade 20
2251 KA Voorschoten

Vestiging Apeldoorn (Onderzoek)
Postbus 541 7300 AM Apeldoorn

Auteur: C.C.J. Kaasschieter - TNO-MI

doc.nr.: TC-I-A-543/94

Maart 1994

Rapport

TC-I-A-543-94

HET VACUÛMSOLDEREN VAN TITAAN EN Ti6Al4V AAN AISI 316L (VERVOLG)

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

Namens de werkgroep "Titaan/RVS Solderen" bestaande uit:

J.H.F.G. Lipperts	ABB
W.A. ter Schegget	AKZO
A.M.J.H.M. Goossens	DMVS / KLu
W. van Soelen	DMVS / KLu
K.M. Broek	ECN
W.H. Brouwer	FOM Amsterdam
W. Kersbergen	FOM Nieuwegein
Chr. van Stiphout	Hardingscentrum Hauzer BV
C.C.J. Kaasschieter	TNO-MI
H.H. van der Sluis	TNO-MI
M. Oosterveld	KSLA
M. de Wit	KSLA
G.A. Kool	NLR
A.W.M. Peeters	Mamesta
H.J. Bruggeman	VSC.

Datum : Maart 1994

Opdrachtnummer : 33.2.1061

Oplaag : 45

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

SAMENVATTING

In dit onderzoek is een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar het vacuümsolderen van ongelijksoortige metalen. De resultaten van het eerder uitgevoerde onderzoek zijn gerapporteerd in TC-I-A-503-92. Als metalen zijn gebruikt titaan en Ti6Al4V aan AlSi 316L. In het totaal zijn er 7 soldeermaterialen onderzocht, waarvan er een vijftal soldeersoorten waren op AgCu-basis en een tweetal op TiCuNi-basis met een soldeertemperatuurgebied van 800°-960°C. In dit onderzoek zijn aanvullende proeven uitgevoerd met twee AgCu-basis-soldeertypen, waaraan zijn toegevoegd elementen als Sn, Mn en Ni. Allereerst is het vloeigedrag van het soldeer bepaald op T-vormige plaat-plaatproefstukken en pijp-plaatproefstukken. Hierbij is de dikte-combinatie dun aan dik (ca. 0,5 mm en ca. 2,5 mm) onderzocht, daar hiermee nog geen experimenten waren uitgevoerd.

Een aantal T-verbindingen is tevens onderworpen aan een corrosieproef in een zoutoplossing, voor het bepalen van het corrosiegedrag van de soldeerverbinding.

Om de mate van spleetvulling na de vloeiproeven en de mate van aantasting van het soldeer vast te stellen is microscopisch onderzoek uitgevoerd op dwarsdoorsneden van een aantal T-verbindingen.

Samenvatting

	Inhoud	Pagina
1	INLEIDING	4
2	MATERIALEN	5
3	UITVOERING EN RESULTATEN	6
3.1	Vloeiproeven op plaat-plaat T-verbindingen	6
3.2	Vloeiproeven op stompe pijp-plaatverbindingen	9
3.3	Corrosie-onderzoek op plaat-plaat T-verbindingen	12
3.4	Microscopisch onderzoek aan plaat-plaat T-verbindingen	16
4	CONCLUSIE	20

1 INLEIDING

In het kader van het TC-I-A programma '91-'93 is reeds onderzoek uitgevoerd op combinaties van ongelijksoortige metalen, namelijk titaan en Ti6Al4V aan AISI 316L in verschillende plaatdikten; dun aan dun (beiden ca. 0,5 mm), dun aan dik (ca. 0,5 mm aan 2,5 mm) en dik aan dik (beiden ca. 2,5 mm). Als soldeermateriaal is gebruikt een vijftal soldeersoorten op AgCu-basis aangevuld met 2 typen op AgCu-basis waaraan elementen als Sn, Mn en Ni zijn toegevoegd en een tweetal op TiCuNi-basis. De toegepaste soldeersoorten hebben een soldeertemperatuurgebied van 800°-960°C.

Het eerder uitgevoerd onderzoek op het gebied van vacuümsolderen van titaan en Ti6Al4V aan AISI 316L is gerapporteerd in rapport TC-I-A-503-92.

In dit onderzoek kwam naar voren, dat het vacuümsolderen van titaan/Ti6Al4V aan AISI 316L vanwege het verschil in uitzetting een moeilijke zaak blijkt. Het kromtrekken van de proefstukken ligt, voor alle combinaties in plaatdikte, in de orde grootte van 0,4 - 0,5 mm gemeten in het midden van het T-proefstuk bij een lengte van 95 mm.

Afhankelijk van de mate van hechting van het soldeer aan de metalen en de ductiliteit van het soldeer kan er een verbinding gemaakt worden, die de optredende inwendige spanningen kan opvangen, althans visueel beoordeeld.

Bij variatie van de dikte van de toe te passen metalen kunnen zich vooral bij de dun op dun combinatie nog andere problemen voordoen. De onderdelen vervormen bij het opwarmen, waardoor er een variatie in spleetbreedte kan ontstaan, hetgeen het capillair vloeien van het soldeer negatief zal beïnvloeden.

De onderzochte soldeersoorten op AgCu-basis vertonen, op het Pd-houdende type na, een goed vloeigedrag bij de combinaties titaan/AISI 316L en Ti6Al4V/AISI 316L. Echter, de inwendige spanningen veroorzaken waarschijnlijk scheuren in het grensvlak van het soldeer met het AISI 316L. Opvallend is dat de onderzochte soldeersoorten op AgCu-basis met toevoegingen van Sn en Mn of Mn en Ni een goed vloeigedrag vertonen in ieder geval bij de dik-dik (beiden ca. 2,5 mm) combinatie, waarbij er echter maar een kleine meniscus wordt gevormd. Het soldeer met Sn en Mn (Braze 580) geeft bij de verbinding Ti6Al4V aan AISI 316L nog wel enige scheurvorming te zien, terwijl bij het soldeer dat Mn en Ni (Braze 655) bevat geen scheurvorming is geconstateerd. De corrosiebestendigheid van dit soldeertype moest echter nog nader worden vastgesteld.

Aanvullend zijn nog een aantal soldeerproeven met een materiaaldiktecombinatie dun/dik, zowel in plaat/plaat als in pijp/plaat uitgevoerd met de soldeersoorten op AgCu-basis met toevoegingen van Sn en Mn of Mn en Ni (Braze 580 en 655). Het corrosiegedrag van één van deze soldeertypen is eveneens nader bekeken in het hier gerapporteerde onderzoek.

2 MATERIALEN

METALEN

De voor het vervolgonderzoek gebruikte metalen zijn dezelfde als bij het vorige onderzoek, zie tabel 1.

Tabel 1: Toegepaste metalen

Metaaltype	Materiaalvorm	Leverttoestand	Leverancier	Uitzettingscoëff. α $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
AISI 316L	plaat 0,6 mm	onbekend	M.C.B.	18 (20-1000°C)
	plaat 2,5 mm	koudgewalst finish 2B		
	pijp ϕ 30x2 mm	gelast en gegloeid		
Titaan	plaat 0,5 mm	grade 2	Highways	8,7 (20-200°C)
	plaat 3,5 mm	grade 2		
Ti-6Al-4V	plaat 0,5 mm		via DMVS	9,3 (20-200°C)
	plaat 2,5 mm			

SOLDEERMATERIAAL

De aanvullende vloeiproeven zijn in duplo uitgevoerd met twee solderen (nr 6 en 7) van een zevental soldeersoorten, die in het eerder uitgevoerde onderzoek zijn toegepast, zie tabel 2.

Tabel 2: Toegepaste soldeermaterialen en materiaalcombinaties

Volg- nr	Soldeer- type	Soldeer- samenstelling	Leverancier	Soldeer- geometrie		Soldeertemp. (°C)	
				vorm	dikte (mm)	Ti /AISI 316L	Ti6Al4V /AISI 316L
6	Braze 580	Ag57Cu33Sn7Mn3	Lucas Milhaupt	draad	ϕ 0,8	800	800
7	Braze 655	Ag65Cu28Mn5Ni2	Lucas Milhaupt	draad	ϕ 0,8	850	850

3 UITVOERING EN RESULTATEN

3.1 Vloeioproeven op plaat-plaatverbindingen

De vloeioproeven zijn in duplo uitgevoerd met twee soldeertypen Braze 580 en Braze 655 (nr 6 en 7) op de combinatie titaan/AISI 316L en op de combinatie Ti6Al4V/AISI 316L.

DOSEERWIJZE SOLDEER

Het soldeer in draadvorm wordt aan één kant (voorkant) gedoseerd op ca. 7 mm van het einde van het T-proefstuk. Als doseervolume voor het aangebrachte soldeer is bij het dunne staander materiaal een vijfvoud van de inhoud van de soldeernaad aangehouden.

PROEFSTUKKEN

De lengte van de staanders en de liggers van de T-proefstukken is afhankelijk van het beschikbare materiaal op 95 mm gehouden, waarbij de breedte van de liggers 20 mm bedraagt en die van de staanders 10 mm. De proefstukdelen zijn vóór het solderen aan die kanten geslepen waar gesoldeerd moest worden.

De staanders zijn met molybdeenafstandfolie van 1 mm breed en 25 µm dik op ca. 7 mm van beide einden op de liggers geplaatst. Door middel van een staaldraad dat om de uiteinden is gewikkeld, zijn de staanders in positie gehouden.

RESULTATEN

Het resultaat van de aanvullender vloeioproeven uitgevoerd met de soldeertypen "Braze 580" (soldeer 6) en "Braze 655" (soldeer 7) zijn weergegeven in tabel 3.

De presentatie van de resultaten is gelijk gehouden aan die van het voorgaande onderzoek.

De resultaten van de vloeioproeven zullen per materiaalcombinatie en per soldeer worden behandeld.

Titaan / AISI 316L

- het vloei gedrag van beide soldeertypen Braze 580 en Braze 655 is voldoende, waarbij de meniscus echter wel klein is;
- van de met Braze 580 gesoldeerde T-proefstukken is na het solderen de AISI 316L staander aan het begin voor een aanzienlijk deel los, waarschijnlijk als gevolg van inwendige spanningen in combinatie met scheurvorming;
- in de met Braze 655 gesoldeerde T-proefstukken is na het solderen scheurvorming over ca 37 mm opgetreden aan de kant waar het soldeer is gedoseerd.

Ti6Al4V / AISI 316L

- het vloeigedrag van het soldeertype Braze 580 is nogal gevarieerd van goed tot slecht, hetgeen in één geval waarschijnlijk is veroorzaakt door het niet goed aanliggen van het soldeer tegen de staander tijdens het solderen, hetgeen nog versterkt wordt door het sterk uitvloeien van het soldeer over de ligger; de meniscus is eveneens gevarieerd van middelmatig tot klein;
- het vloeigedrag van het soldeertype Braze 655 is redelijk te noemen, waarbij de gevormde meniscus wel klein is; er is geen zichtbare scheurvorming opgetreden.

Samenvattend kan worden gesteld dat:

- het vloeigedrag van beide soldeertypen Braze 580 en Braze 655 op zowel de combinatie dik titaan aan dun AISI 316L als de combinatie dik Ti6Al4V aan dun AISI 316L goed is te noemen, hoewel het dan wel noodzakelijk is dat het soldeer goed aanligt tijdens het solderen, daar als gevolg van het sterk uitvloeien van het soldeer er te weinig soldeer overblijft om de naad te vullen;
- de met Braze 580 gesoldeerde T-proefstukken vertonen aanzienlijke scheurvorming die bij de combinatie titaan aan AISI 316L zelfs resulteert in het meer dan de helft loszitten van de AISI 316L staander.

Tabel 3: Resultaten vloeiproeven op combinatie titaan en Ti-6Al-4V met AISI 316L

Proef-nummer	Materiaal dikte (mm)	Sold. temp. (°C)	Vloeilengte		Meniscus		Kromming in midden (mm)	Bijzonderheden
			(mm)	(%)				
	Ti/RVS		V/A	V/A	V	A		
Combinatie titaan (ligger) met AISI 316L (staander)								
TR6-8	3,5/0,6	800	89/89	94/94	kl	kl	0,15	aan begin 48 mm los
TR6-9	3,5/2,5	800	91/91	91/91	kl	kl	0,15	aan begin 58 mm los
TR7-10	3,5/0,6	850	89/89	89/89	kl	kl	0,15	aan begin scheur van 39 mm
TR7-11	3,5/0,6	850	83/83	89/89	kl	kl	0,25	aan begin scheur van 35 mm
	TAR/RVS	Combinatie Ti-6Al-4V (ligger) met AISI 316L (staander)						
TAR6-8	2,5/0,6	800	24/24	28/28	mi/kl	mi/kl	0,35	onvold. gevloeid
TAR6-9	2,5/0,6	800	93/93	100/100	mi/kl	mi/kl	0,4	gestopt bij afst.folie
TAR7-10	2,5/0,6	850	66/66	70/70	kl	kl	0,45	
TAR7-11	2,5/0,6	850	78/78	82/82	kl	kl	0,45	gestopt bij afst.folie

Opmerking: meniscus gr - groot; mi - middelmatig; kl - klein
vloeilengte V - voorkant (plaats soldeer); A - achterkant

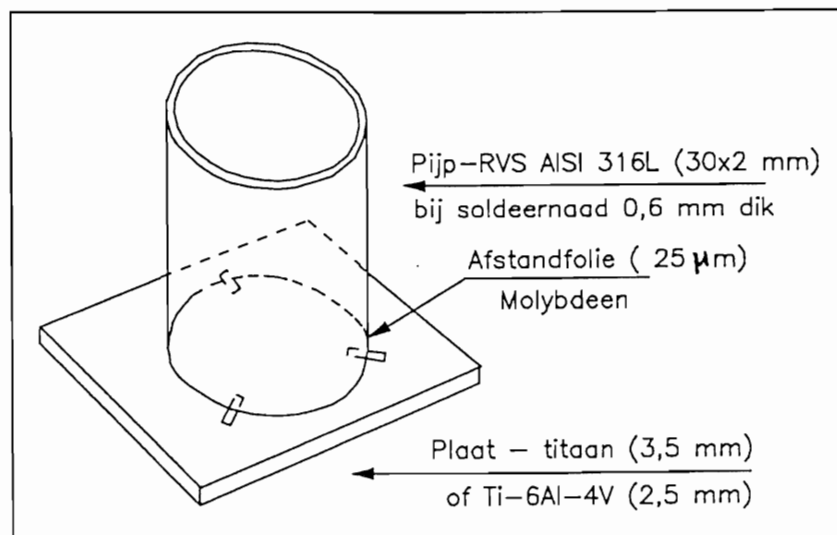
Codering proefstukken : — TR = Ti / AISI 316L; TAR = Ti6Al4V / AISI 316L;
— nummer soldeersoort [6 en 7] 6 Braze 580
7 Braze 655
— volgnummer van de proef.

3.2 Vloeiproeven op stompe pijp-plaatverbindingen

Het tweede onderdeel van dit onderzoek bestaat uit aanvullende vloeiproeven op pijp-plaatverbindingen, waarbij het pijpmateriaal bestaat uit AISI 316L van ϕ 30 mm en een wanddikte van 2 mm. Het plaatmateriaal bestaat uit titaan van 3,5 mm of Ti6Al4V van 2,5 mm dik. De gebruikte proefstukvorm wordt gegeven in figuur 1; de wanddikte aan de soldeerkant van de pijp is ingenomen tot 0,6 mm.

De pijp wordt door middel van drie stripjes molybdeenfolie van 25 μ m dik op afstand van de plaat gehouden. Voor de vloeiproeven op pijp-plaatverbindingen wordt gebruik gemaakt van dezelfde twee soldeertypen, namelijk Braze 580 en Braze 650. Het soldeer wordt op drie plaatsen naast de afstandfolie gedoseerd, waarbij de totale soldeerhoeveelheid ca. 5 maal het spleetvolume is, zoals eveneens bij de T-proefstukken gebruikt is. Dit om bij de geringe spleetbreedte toch voldoende soldeer te hebben.

De proeven zijn in duplo uitgevoerd voor zowel de combinatie van AISI 316L met het titaan als met het Ti6Al4V.



Figuur 1 Proefstukvorm voor de pijp-plaatvloeiproeven

RESULTATEN

De resultaten van de pijp-plaatvloeioproeven zijn weergegeven in tabel 4.

De resultaten worden per materiaalcombinatie (dik-dun) behandeld:

Titaan aan AISI 316L met Braze 580

- het soldeer is helemaal rondgevloeid, waarbij een kleine meniscus is gevormd; er wordt wel een geringe lekkage gemeten bij één van de afstandfolies;
- één van de proefstukken (TR6-11) is na het solderen losgesprongen.

Titaan aan AISI 316L met Braze 655

- het soldeer is helemaal rondgevloeid, waarbij een kleine meniscus is gevormd;
- de op een temperatuur van 850°C gesoldeerde proefstukken blijken een kleine lek te vertonen; het met een iets hogere temperatuur (875°C) gesoldeerd extra proefstuk blijkt wel dicht te zijn.

Ti6Al4V aan AISI 316L met Braze 580

- het soldeer is helemaal rondgevloeid, waarbij een kleine meniscus is gevormd;
- beide proefstukken blijken een kleine lek te vertonen.

Ti6Al4V aan AISI 316L met Braze 655

- het soldeer is helemaal rondgevloeid, waarbij een kleine meniscus is gevormd;
- de op een temperatuur (850°C) gesoldeerde proefstukken blijken een kleine lek te vertonen; het met een iets hogere temperatuur van 875°C gesoldeerd extra proefstuk blijkt wel dicht te zijn.

Samengevat kan worden, dat voor:

Titaan aan AISI 316L gesoldeerd met Braze 580 of Braze 655

- Het soldeer is voldoende aangevloeid, maar er wordt een kleine meniscus gevormd.
- De meeste verbindingen zijn niet vacuümdicht ($> 1 \cdot 10^{-5}$ mbar l/sec). Alleen het extra met het Braze 655 op 875°C gesoldeerde proefstuk is vacuümdicht.

Ti6Al4V aan AISI 316L gesoldeerd met Braze 580 of Braze 655

- Het soldeer is voldoende aangevloeid, maar er wordt slechts een kleine meniscus gevormd.
- De meeste verbindingen zijn niet helemaal vacuümdicht ($> 1 \cdot 10^{-5}$ atm cm³/sec). Alleen het extra met het Braze 655 op 875°C gesoldeerde proefstuk is vacuümdicht.

Tabel 4 Resultaten vloeiproeven op plaat-pijpverbindingen van titaan en Ti-6Al-4V met AISI 316L

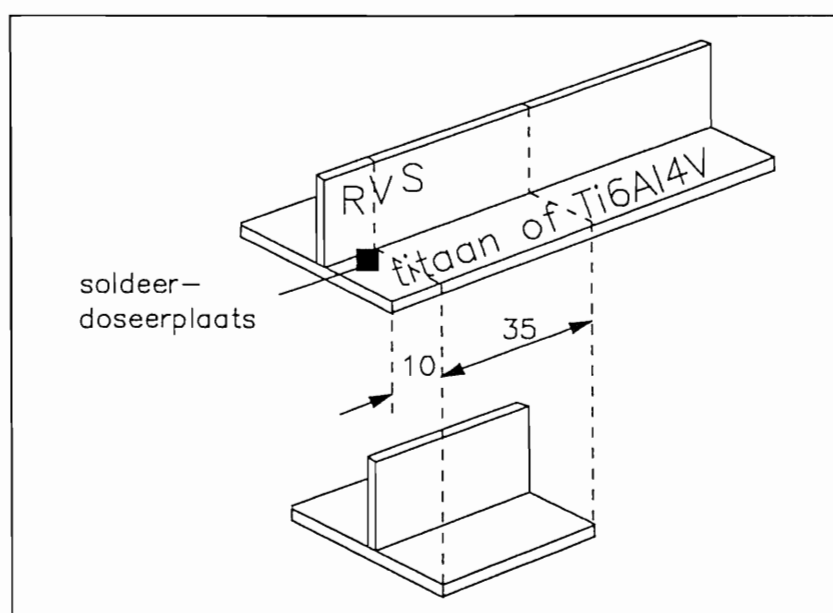
Proef- nummer	Materiaal- dikte (mm) Ti / AISI 316L	Sold. temp. (°C)	Vloeilengte		Meniscus		Lekproef	Bijzonderheden
			(mm) Bu/Bi	(%) Bu/Bi	Bu	Bi		
Combinatie titaan (plaat) met AISI 316L (pijp)								
TR6-10	3,5/0,6	800	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	Bij afst.folie lek;
TR6-11	3,5/0,6	800	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	Losgesprongen na het solderen
TR7-12	3,5/0,6	850	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	
TR7-13	3,5/0,6	850	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	Bij afst.folie lek; scheuren in sold.
TR7-14	3,5/0,6	875	94/94	100/100	kl	kl	Dicht	
	TiAlV / AISI 316L	Combinatie Ti-6Al-4V (plaat) met AISI 316L (pijp)						
TAR6-12	2,5/0,6	800	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	
TAR6-13	2,5/0,6	800	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	
TAR7-14	2,5/0,6	850	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	
TAR7-15	2,5/0,6	850	94/94	100/100	kl	kl	Lek ¹⁾	
TAR7-16	2,5/0,6	875	94/94	100/100	kl	kl	Dicht	

Opmerking: meniscus : gr - groot; mi - middelmatig; kl - klein
vloeilengte : Bu - buitenkant (plaats soldeer); Bi - binnenkant
1) Lek = > 1.10⁻⁵ mbar l/sec

3.3 Corrosie-onderzoek op plaat-plaatverbindingen

De corrosieproeven zijn slechts uitgevoerd op twee met Braze 655 gesoldeerde T-proefstukken, bestaande uit de combinaties dun AISI 316L aan dik titaan en Ti6Al4V proefstuk TAR 7-10 en één proefstuk (TR7-9) van dik titaan aan dik AISI 316L uit het eerder uitgevoerde onderzoek. Andere proefstukken zijn niet onderzocht, daar bij het doorslijpen van deze proefstukken de soldeernaad reeds doorscheurde en het dunne RVS-deel lossprong.

De corrosieproefstukken zijn uit de vloeiproefstukken genomen, zoals is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 Corrosieproefstuk uit vloeiproefstukken

MILIEU

Het toegepaste milieu is gelijk gehouden aan dat uit het vorige onderzoek. Het betreft een aangezuurde keukenzoutoplossing met een pH van 3,1-3,3. Deze oplossing bevat 5 gew. % NaCl aangezuurd met azijnzuur, volgens ASTM G85-85.

WERKWIJZE

Er wordt een bekersglas 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 proefstukjes 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 goede zuurgraad gebracht. De proefstukken worden onderzocht op de aanwezigheid van corrosieproducten na 1, 2, 5, 12, 20, 30, 50 en 70 dagen indien mogelijk. De proefstukken worden elke keer gespoeld met water, vervolgens gespoeld met alcohol en tenslotte gedroogd met de föhn. Als hulpmiddel bij de visuele beoordeling wordt een loep met een vergroting van 40x gebruikt.

REINIGING

De proefstukken worden voor het corrosie-onderzoek US-getrild in aceton op 50°C en daarna afgespoeld met alcohol.

RESULTATEN

De resultaten van de corrosieproeven zijn weergegeven in tabel 5.

Per soldeertype en materiaalcombinatie worden de resultaten hieronder besproken.

Titaan / AISI 316L met Braze 655

Het betreft onderzoek op het proefstuk TR7-9:

- na 1 dag reeds een geringe aantasting, waarbij een wit/groen corrosieproduct ontstaat op bepaalde delen van de soldeernaad;
- na 2 dagen is er aan de achterkant van het proefstuk over de gehele lengte een spleet zichtbaar; bij een lichte aanraking valt het proefstuk uiteen, waarbij de breuk zich bevindt in het grensvlak van het soldeer met het AISI 316L;
- als gevolg van de corrosieve aantasting is het proefstuk iets in gewicht (massa) toegenomen; deze toename bedraagt slechts 0,4 mg (na 2 dagen).

Ti6Al4V / AISI 316L met Braze 655

Het betreft onderzoek op het proefstuk TAR7-10:

- na 1 dag is de naad van het proefstuk reeds in geringe mate aangetast over een klein gedeelte van 10 mm aan de voorkant en 9 mm aan de achterkant;
- na 2 dagen naast wat toename van witte corrosieproducten ook bij het begin van de soldeernaad en breuklijn tussen soldeer en het Ti6Al4V zichtbaar;
- na 7 dagen naast witte ook groene corrosieproducten over een lengte van 25 mm aan de voorkant en 20 mm aan de achterkant;
- na 10 dagen is het proefstuk uiteengevallen bij het uitnemen uit de vloeistof, waarbij de breuk zich bevindt in het grensvlak van het soldeer met het AISI 316L;

- hoewel er corrosieve aantasting heeft plaats gevonden is er geen gewichtsverandering waargenomen.

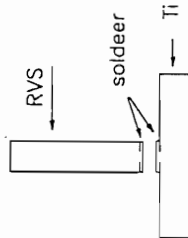
Samenvattend kan voor het corrosie-onderzoek worden gesteld, dat bij de combinatie:

- **titaan of Ti6Al4V met AISI 316L en het soldeer Braze 655** de verbinding bezwijkt na respectievelijk 2 en 10 dagen; de breuk ligt in het grensvlak van het soldeer en het AISI 316L.

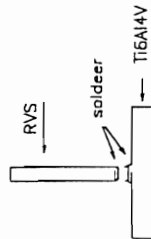
Tabel 5 : Visueel onderzoek aan corrosieproefstukken van Titaan en Ti6Al4V aan AISI 316L (zuur milieu; duplo-serie)

Nr	Basismat.	Soldeer	Gewicht (g)	Dagen	Voorkant proefstuk	Achterkant proefstuk	Kopse kant			
							A	B		
TR 7-9	Ti/ AISI 316L	Braze 655	22,6659	0	naad goud/bruin gekleurd; één holte in soldeer	naad goud/bruin gekleurd	-	-		
				1	wit/groen corrosieproduct op 13 mm, over een lengte van 6 mm met onderbrekingen en op 24 mm over een lengte van 9 mm met onderbrekingen	wit corrosieproduct op 5 mm, over de gehele lengte van de naad met onderbrekingen				
				2	22,6663 (0,0004)	spleet over de gehele lengte, proefstuk valt uiteen na licht buigen RVS-stander	spleet over de gehele lengte, proefstuk valt uiteen na licht buigen RVS-stander			
TAR 7-10	Ti6Al4V / AISI 316L	Braze 655	9,8412	0	naad zilver gekleurd; op 15 en 30 mm een holte in het soldeer	naad zilver gekleurd	-	-		
				1	wit corr.product over een lengte van 10 mm	wit corr.product over een lengte van 9 mm				
				2	bij het beginpunt van de naad breuklijn soldeer/ligger	bij het beginpunt van de naad breuklijn soldeer/stander	spleet met wit corr.-product	-		
				3	bij beginpunt naad breuklijn soldeer/ligger; wit/groen corr.-product over 20 mm lengte	bij beginpunt naad breuklijn soldeer/stander; wit/groen corr. product over 20 mm lengte				
				7	wit/groen corr.prod. over 25 mm lengte	wit/groen corr.prod. over 20 mm lengte	spleet met wit corr.-product	spleet		
				10	9,8412 (0,0000)	proefstuk is uiteengevallen bij het uitnemen uit de vloeistof				

NA 2 DAGEN



NA 10 DAGEN



3.4 Microscopisch onderzoek aan plaat-plaat T-verbindingen in gesoldeerde toestand

Van een aantal gesoldeerde T-proefstukken (TR7-9 uit eerder uitgevoerd onderzoek, TAR6-9 en TAR7-10) is een dwarsdoorsnede gemaakt. Deze doorsneden zijn lichtmicroscopisch bekeken.

Het lichtmicroscopisch onderzoek is weergegeven in de figuren 3 t/m 5.

De resultaten worden per metaalcombinatie en soldeertype besproken.

Titaan / AISI 316L met Braze 655 (proefstuk TR7-9)

- De soldeernaad vertoont veel holten, die waarschijnlijk veroorzaakt zijn door onvoldoende vloeien van het soldeer;
- het soldeer vertoont aan de kant van het AISI 316L een smalle zone, waar ogenschijnlijk een scheur in loopt.

Ti6Al4V / AISI 316L met Braze 580 (proefstuk TAR6-9)

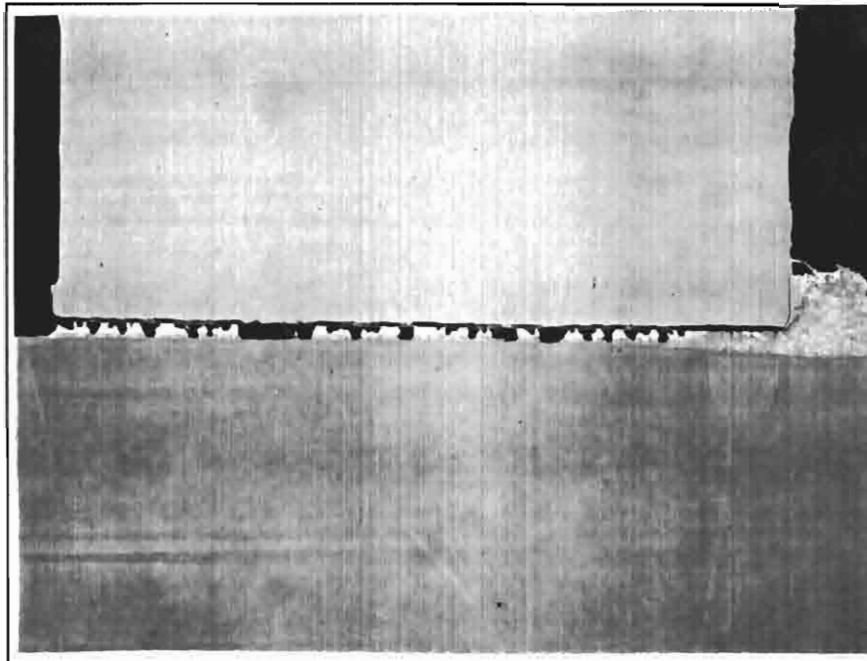
- De soldeernaad geeft een goede overgang te zien naar zowel de Ti6Al4V-kant als de AISI 316L-kant;
- er zijn in dit gedeelte van de doorsnede (85 mm vanaf het begin) van het proefstuk geen scheuren te zien; dit is opvallend daar bij de visuele waarneming reeds 58 mm van de AISI 316L-staander los was. Hieruit zou kunnen worden afgeleid dat de hechting van het soldeer aan de AISI 316L-kant onvoldoende is om de ontstane inwendige spanningen bij het afkoelen te weerstaan.

Ti6Al4V / AISI 316L met Braze 655 (proefstuk TAR7-10)

- De soldeernaad vertoont een goed uiterlijk zonder scheurvorming, waarbij zich aan de kant van het AISI 316L wel een dunne grillig gevormde laag bevindt.

Samenvattend kan worden gesteld, dat:

- het **Braze 580** soldeer wel een goede scheurvrije verbinding bij de combinatie van **Ti6Al4V** aan **AISI 316L** kan opleveren, maar dat de inwendige spanningen er voor zorgen dat een gedeelte van de verbinding losraakt in de overgang van het soldeer en het AISI 316L;
- het **Braze 655** soldeer bij het onderzochte proefstuk TR7-9 (titaan aan AISI 316L) onvoldoende is aangevloeid, gezien de vele holten in de soldeernaad;
- het **Braze 655** soldeer bij het onderzochte proefstuk TAR7-10 (Ti6Al4V aan AISI 316L) een goede scheurvrije soldeernaad te zien geeft; of dit over de gehele lengte van de naad het geval is, kan niet met zekerheid worden gesteld.

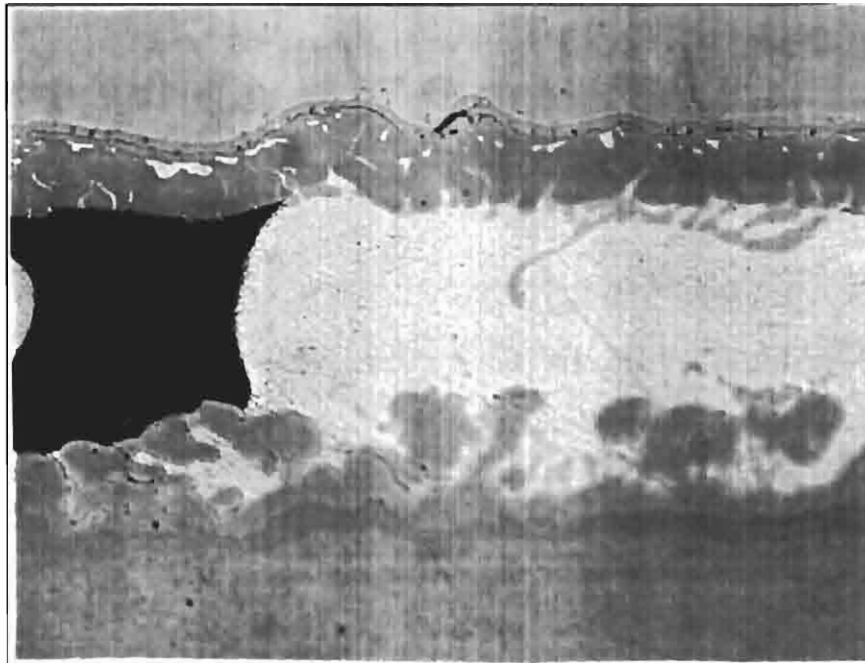
**Figuur 3a**

Proefstuk TR7-9
soldeer: Braze 655
dwarsdoorsnede

onder: titaan
boven: RVS

Fotonr H7091

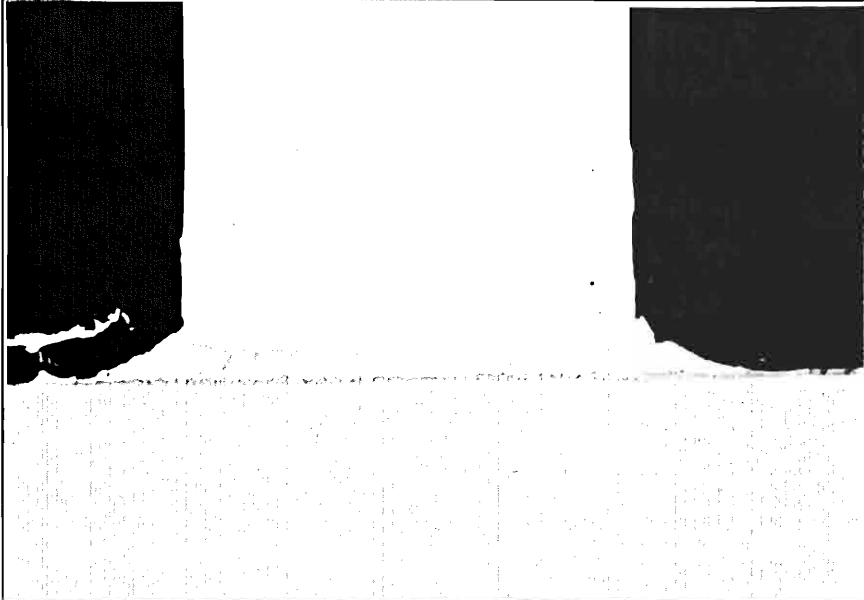
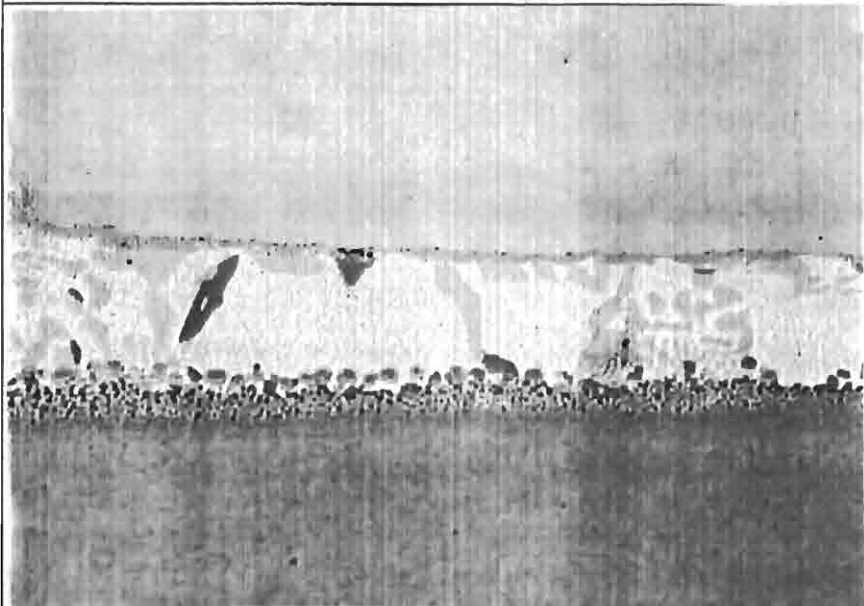
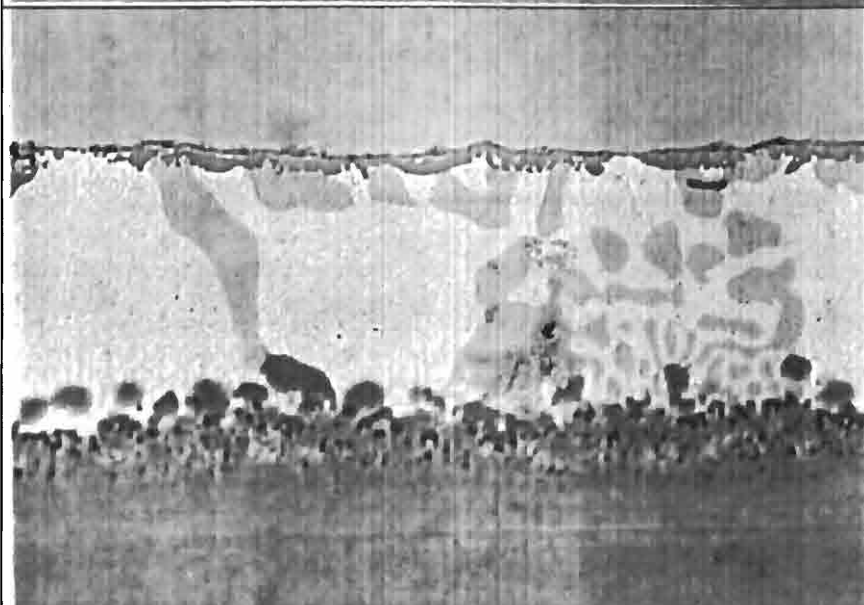
V = 80x

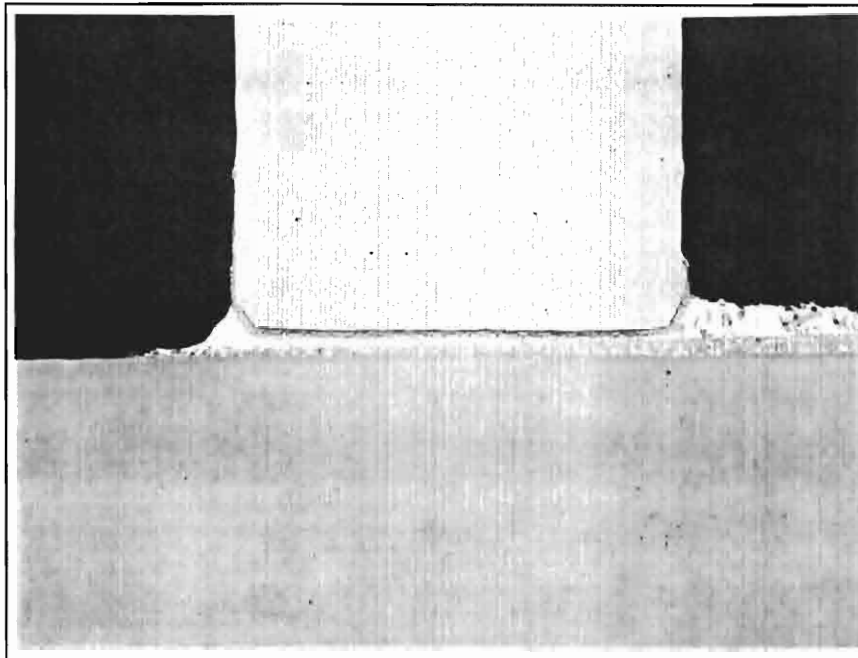
**Figuur 3b**

Proefstuk TR7-9
Detail figuur 3a
dwarsdoorsnede

Fotonr H7092

V = 1000x

	<p>Figuur 4a</p>
	<p>Proefstuk TAR6-9 soldeer: Braze 580 dwarsdoorsnede</p>
	<p>onder: Ti6Al4V boven: RVS</p>
<p>Fotonr: H7085</p>	
<p>V = 100x</p>	
	<p>Figuur 4b</p>
	<p>Proefstuk TAR6-9 Detail figuur 4a</p>
<p>Fotonr: H7086</p>	
<p>V = 500x</p>	
	<p>Figuur 4c</p>
	<p>Proefstuk TAR6-9 Detail figuur 4b</p>
<p>Fotonr: H7083</p>	
<p>V = 1000x</p>	

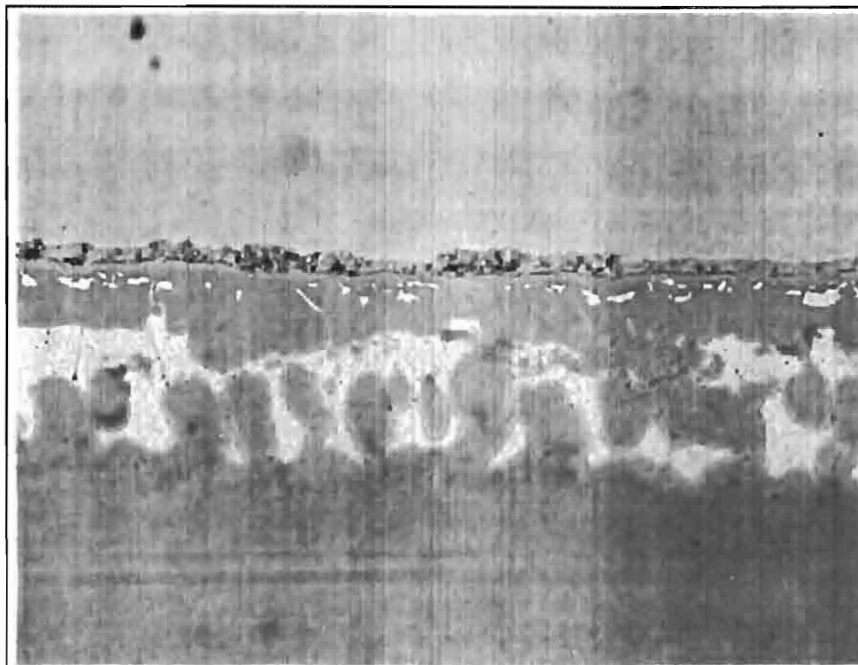
**Figuur 5a**

Proefstuk TAR7-10
soldeer: Braze 655
dwarsdoorsnede

onder: Ti6Al4V
boven: RVS

Fotonr: H7089

V = 100x

**Figuur 5b**

Proefstuk TAR7-10
Detail figuur 5a
dwarsdoorsnede

Fotonr: H7090

V = 1000x

4 CONCLUSIE

Aan de hand van het aanvullende onderzoek met de twee soldeertypen Braze 580 en Braze 655 kan het volgende worden geconcludeerd voor de:

VLOEIPROEVEN OP PLAAT-PLAAT T-VERBINDINGEN

- het vloeigedrag van beide soldeertypen Braze 580 en Braze 655 op zowel de combinatie dik titaan aan dun AISI 316L als de combinatie dik Ti6Al4V aan dun AISI 316L is goed te noemen, hoewel het dan wel noodzakelijk is dat het soldeer goed aanligt tijdens het solderen, daar als gevolg van het sterk uitvloeien van het soldeer er te weinig soldeer overblijft om de naad te vullen;
- de met Braze 580 gesoldeerde T-proefstukken vertonen aanzienlijke scheurvorming die bij de combinatie titaan aan AISI 316L zelfs resulteert in het meer dan de helft loszitten van de AISI 316L staander.

VLOEIPROEVEN OP STOMPE PIJP-PLAATVERBINDINGEN

- Van de titaan aan AISI 316L gesoldeerde pijp-plaatverbindingen met Braze 580 of Braze 655 is het soldeer voldoende aangevloeid, maar er wordt slechts een kleine meniscus gevormd.
- De meeste titaan/AISI 316L-verbindingen zijn niet vacuümdicht ($> 1 \cdot 10^{-5}$ mbar l/sec). Alleen het extra met het Braze 655 op 875°C gesoldeerde proefstuk is vacuümdicht.
- Van de Ti6Al4V aan AISI 316L gesoldeerde pijp-plaatverbindingen met Braze 580 of Braze 655 is het soldeer voldoende aangevloeid, maar er wordt slechts een kleine meniscus gevormd.
- De meeste Ti6Al4V/AISI 316L-verbindingen zijn niet vacuümdicht ($> 1 \cdot 10^{-5}$ mbar l/sec). Alleen het extra met het Braze 655 op 875°C gesoldeerde proefstuk is vacuümdicht.

CORROSIE-PROEVEN OP PLAAT-PLAAT T-VERBINDINGEN

- titaan of Ti6Al4V met AISI 316L en het soldeer Braze 655 de verbinding bezwijkt na respectievelijk 2 en 10 dagen; de breuk ligt in het grensvlak van het soldeer en het AISI 316L;

MICROSCOPISCH-ONDERZOEK AAN PLAAT-PLAAT T-VERBINDINGEN

- het Braze 580 soldeer wel een goede scheurvrije verbinding bij de combinatie van Ti6Al4V aan AISI 316L kan opleveren, maar dat de inwendige spanningen er voor zorgen dat een gedeelte van de verbinding losraakt in de overgang van het soldeer en het AISI 316L;

- het Braze 655 soldeer bij de onderzochte combinatie dik titaan aan dik AISI 316L onvoldoende is aangevloed, met vele holten in de soldeernaad;
- het Braze 655 soldeer bij de onderzochte combinatie dik Ti6Al4V aan dun AISI 316L een goede scheurvrije soldeernaad te zien geeft; of dit over de gehele lengte van de naad het geval is, kan niet met zekerheid worden gesteld.

TNO-Metaalinstituut



ing. C.C.J. Kaasschieter

voor accoord



ir. H.H. van der Sluis