

Lasbaarheid van materialen - Titaan en titaanlegeringen

Titaan is een uniek materiaal, het is net zo sterk als staal maar is half zo zwaar als staal en heeft zeer goede corrosiebestendigheid.

Titaan en titaanlegeringen worden vooral toegepast vanwege eigenschappen als:

- Hoge sterkte - lage gewichtsverhouding (lichte constructies mogelijk)
- Grote corrosievastheid
- Gunstige mechanische eigenschappen bij verhoogde temperaturen.

Traditioneel liggen de toepassingen van titaan of haar legeringen in de lucht- en ruimtevaart en in de chemische apparatenbouw. De laatste tijd, vooral omdat de materiaalkosten aanzienlijk gedaald zijn, neemt het gebruik van titaan in andere industriële sectoren toe, bijvoorbeeld in de offshore- en energiesector.

Omdat het erg duur is om drukvoerende apparaten uit massief titaan te bouwen, wordt veelal de oplossing gekozen van een dunne titaan lining (losse bekleding) aan de corrosiebelaste zijde of van titaan-clad plaat.

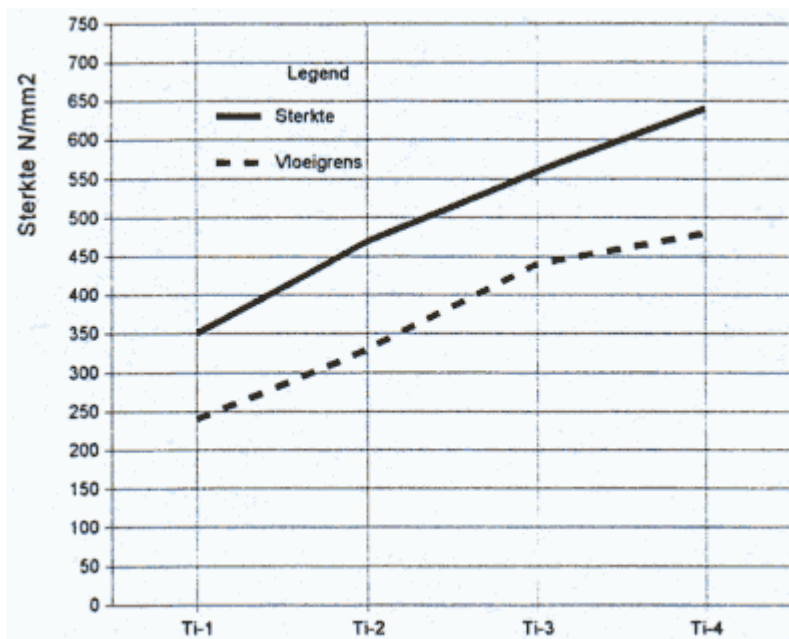


Foto 1: Eén van de grootste gelaste constructies in massief titaan gefabriceerd door Exotech BV te Vlissingen op weg naar z'n eindbestemming. Afmetingen opslagtank: diameter 11.260 mm, hoogte 15.500 mm, wanddikte 10-5 mm.

Materiaalsoorten

Er bestaan in principe drie legeringstypen te onderscheiden door hun microstructuur:

- Titaan in handelskwaliteit met een zuiverheid van 98-99,5 % Ti of met kleine toevoegingen van zuurstof, stikstof, koolstof en ijzer voor verbetering van de sterkte-eigenschappen (zie figuur 1). Deze materiaalgroep is goed lasbaar.
- Alpha-legeringen. Hiertoe behoren de enkelfasige titaanlegeringen die tot max. 7% aluminium bevatten met daarnaast (< 0,3%) kleine hoeveelheden zuurstof, stikstof of koolstof. Deze legeringsgroep is lasbaar, mits het basismateriaal in de oplosgegloeide toestand verkeert.
- Alpha-Beta-legeringen. Karakteristiek voor deze materiaalgroep is de tweefase-structuur die ze hebben gekregen door toevoeging van tot max. 6% aluminium in combinatie met beta-vormende legeringselementen als Vanadium (V), Chroom (Cr) en Molybdeen (Mo). Deze groep van basismaterialen is redelijk goed lasbaar, mits in de oplosgegloeide toestand.



Figuur 2: Maximum sterkten voor ongelegeerd titaan. Grade 1 tot en met 4 met oplopend zuurstofgehalte.

Hoe groter het aandeel van de beta-fase in de structuur des te moeilijker wordt het lassen. De meest toegepaste legeringen met hun ASTM-codering worden met hun voornaamste legeringselementen en hun minimum treksterkte in tabel 1 weergegeven. In tabel 2 is de indeling volgens ISO/TR 15608 weergegeven.

De meest gebruikte Ti-legeringen in lasconstructies zijn de drie ongelegeerde handelskwaliteiten en de typen met 6% Al en 4%V (grade 5 en 23), laatst genoemde vooral in de vliegtuigbouw.

Tabel 1: Meest toegepaste Titaanlegeringen met het daarvoor aanbevolen lastoevoegmateriaal.

ASTM Grade	Globale samenstelling	Treksterkte (min) MPa	Toevoegmateriaal	Toepassing
1	Ti max. 0,15 O	240	ERTi-1	1
2	Ti max. 0,25 O	345	ERTi-2	1
3	Ti max. 0,35 O	450	ERTi-3	1
4	Ti max. 0,45 O	550	ERTi-4	1
5	Ti 6Al - 4V	895	ERTi-5 (ELI)	2
6	Ti 5Al - 2.5 Pd	830	ERTi-6	3
7	Ti 0.20 O -0.2 Pd	345	ERTi-7	2
9	Ti 3Al - 2.5V	620	ERTi-9	3
11	Ti 0.2Pd	240	ERTi-11	1
12	Ti 0.3 Mo - 0.7 Zr	483	ERTi-12	3
23	Ti 6Al - 4V (ELI)	900	ERTi-5 (ELI)	4
25	Ti 6Al - 4V - 0.06Pd	900	RTi-25	4

ELI = Extra laag gehalte aan interstitiële elementen (voor hoogste taaiheid).

Toepassing	Omschrijving
1	Algemene apparatenbouw-offshore-platen, strip, buizen, draad en staf
2	Lucht- en ruimtevaart
3	Als 1, echter betere corrosievastheid en hogere sterkte, meestal voor pijpen en buizen
4	Voor allerhoogste corrosievastheid en sterkte ook toegepast voor prothesen en implantaten.

Tabel 2. Indeling titaanlegeringen volgens ISO/TR 15608.

Groep	Sub-groep	Type titaan legering
51		Puur titaan
	51.1	Titaan met $O_2 < 0,20\%$
	51.2	Titaan met $0,20\% < O_2 \leq 0,25\%$
	51.3	Titaan met $0,25\% < O_2 \leq 0,35\%$
	51.4	Titaan met $0,35\% < O_2 \leq 0,40\%$
52		Alpha legeringen: Ti-0,2Pb, Ti-2,5Cu, Ti-5Al-2,5Sn, Ti-8Al-1Mo-1V, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo, Ti-6Al-2Nb-1Ta-0,8Mo
53		Alpha-beta legeringen: Ti-3Al-2,5V, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-6V-2Sn, Ti-7Al-4Mo
54		Vergelijkende beta en beta legeringen: Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-13V-11Cr-3Al, Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn, Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo

Lastoevoegmaterialen

Titaan en haar legeringen worden meestal gelast met toevoegmaterialen (lasdraad) waarvan de samenstelling overeenkomt met die van het basismateriaal. De aanbevolen lastoevoegmaterialen worden met hun codering volgens de specificatie AWS A.16-90 eveneens in tabel 1 weergegeven (AWS = American Welding Society).

Soms worden voor de hoger gelegeerde titaansoorten met verhoogde sterkte lastoevoegmaterialen gebruikt, die lager gelegeerd of minder sterk zijn om een hogere taaierheid van het lasmetaal te bereiken. Zo wordt bijvoorbeeld een ongelegeerde lasdraad ERTi-2 wel gebruikt als toevoegmateriaal bij het lassen van Ti-6Al-4V en Ti-5Al-2,5Sn om een goede combinatie van lasbaarheid, sterkte en vervormbaarheid te verkrijgen.

Lasonvolkomenheden (gebreken in lasverbindingen)

Titaan en haar legeringen zijn redelijk goed lasbaar op voorwaarde dat de juiste voorzorgsmaatregelen genomen worden. TIG- of plasma-lasprocessen met argon of argon-helium als schermgas worden algemeen toegepast voor materiaaldikten < 10 mm. Daarbij wordt veelal zonder toevoegmateriaal gelast bij het TIG-lassen tot materiaaldikten < 3 mm en bij het plasmalassen < 6 mm. Bij het MIG-lassen wordt de voorkeur gegeven aan pulserend booglassen boven kortsluit-booglassen vanwege het minder spatten daarbij.

De meest voorkomende gebreken in smeltlasverbindingen zijn:

- Porositeit in het lasmetaal
- Grote brosheid
- Scheurvorming door verontreinigingen.

Stollings-scheuren of waterstof-scheuren zijn hoogst zeldzaam in Titaan lassen.

Porositeit in het lasmetaal

Dit is wel het meest voorkomende gebrek in titaanlasverbindingen. Omdat vooral ook bij titaan de oplosbaarheid voor gassen in de vaste (gestolde) fase aanzienlijk lager is dan in de vloeibare fase, ontstaat porositeit doordat gassen die tijdens de stolling willen ontwijken in de vorm van bellen tussen de dendrieten worden ingesloten.

Ook bij titaan is waterstof, afkomstig uit vocht of waterdamp in de boogatmosfeer of op het oppervlak van het basismateriaal of lastoevoegmateriaal, weer de belangrijkste veroorzaker van porositeit. Ook vet en andere verontreinigingen kunnen een bron voor waterstof zijn.

Het is daarom van het grootste belang om de las en z'n omgeving goed te reinigen door allereerst te ontvetten, met stoom, een oplosmiddel, alkalisch of dampontvetting.

Alle oppervlakte-oxiden moeten daarna grondig worden verwijderd door beitsen in een HF-HNO₃-oplossing of door licht schuren of borstelen met roterende schone roestvaststaal borstels. Onder geen beding gewone staalborstels gebruiken !
Machinale lasnaad voorbereidingen zoveel mogelijk 'droog' uitvoeren! Na deze behandelingen moet er goed opgelet worden dat de lasomgeving niet meer met blote handen wordt aangeraakt voor het lassen.

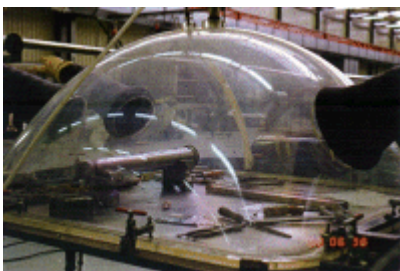


Foto 2: Het lassen van titaan onderdelen in een plexiglas lascouveuse bij Schelde Exotech BV.

Verbrossing

Brosheid van de lasverbinding kan worden veroorzaakt door verontreinigingen in het lasmetaal hetzij door gasopname (zuurstof en stikstof) hetzij door opname van stof, zoals ijzerdeeltjes op het oppervlak.

Bij materiaaltemperaturen boven 500 C vertoont titaan een grote affiniteit tot zuurstof, stikstof en waterstof. Het lasbad, de WBZ en het afkoelende lasmetaal moeten daarom door een toegevoerd inert gas worden afgeschermd tegen de omringende atmosfeer.

Bij onvoldoende afscherming zal er onder meer oxidatie van het oppervlak van de las en haar directe omgeving optreden. Zo'n dunne oxide-laag op het oppervlak vertoont een zogeheten interferentiekleur, afhankelijk van haar dikte, dat wil zeggen van de ernst van de oxidatie. Aan deze interferentiekleuren kan men afschatten of de inert gasbescherming voldoende is geweest of dat in mindere of ernstiger mate verontreiniging is opgetreden. Een zilverkleurig of stro-geel lasoppervlak wijst op een goede tot voldoende gasbescherming. Een grijs of wit lasuiterlijk wijzen op ontoelaatbare verontreiniging door zuurstof door onvoldoende gasafscherming. Een donkerblauwe kleur is voor sommige toepassingen nog net acceptabel, doch er moet dan in ieder geval naar verbetering van de gasbescherming worden gestreefd.

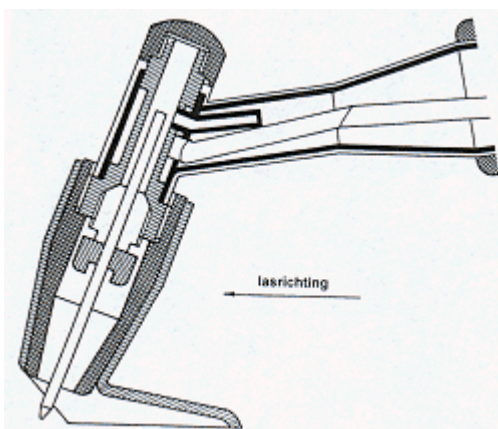
Voor kleinere producten is het 't veiligst om in een zogeheten couveuse te lassen, waarbij het product geheel in een met inert gas gevulde ruimte is geplaatst, waarin zich ook de lastoorts en het eventuele lastoevoegmateriaal bevinden. Bij voorkeur wordt de boog dan nog gestart op een separaat titaanplaatje zodat de nog in de ruimte resterende zuurstof wordt verbrand en de concentratie hiervan in de couveuse kan dalen tot onder 20 ppm voordat aan het echte werkstuk wordt gelast (zie foto 2).



Foto 3: Het lassen van een titaanleiding met een speciaal aangepaste TIG-toorts met 'gasslof' bij Schelde Exotech BV te Vlissingen.

Ook lokaal aangebrachte 'couveuses' die afsluiten op het te lassen titaan oppervlak beogen dezelfde veilige inerte lasatmosfeer. Bij het lassen van titaanbuizen kent men in dat opzicht met name de laskop die volledig rond de te verbinden pijpeinden afsluit en waarbinnen de toorts automatisch rond de pijp draait (orbitaal).

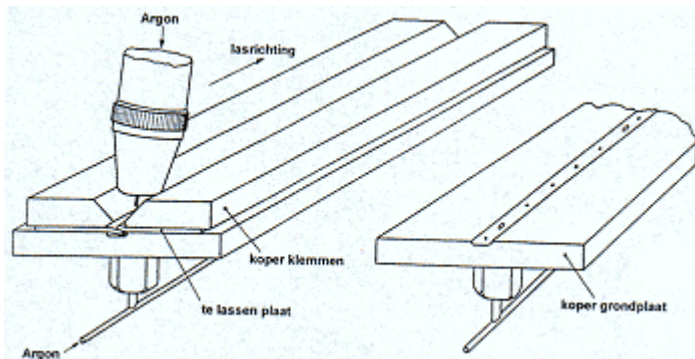
Wanneer deze bij voorkeur toegepaste totale afsluiting niet mogelijk of niet praktisch uitvoerbaar is moeten lastoortsen worden gebruikt met zogeheten volgstoffen, waardoor laminair uitstromend inert gas wordt gevoerd om de las en haar omgeving voldoende te beschermen tot deze afgekoeld zijn tot ca. 450 C (zie figuur 2 en foto 3).



Figuur 2: Gasslof voor TIG-toorts

van materialen: Titaan en titaanlegeringen

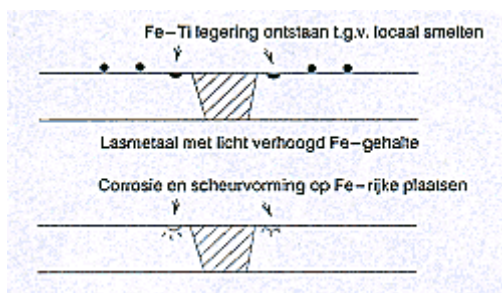
De vorm en afmetingen van deze volg-sloffen worden bepaald door de lasvorm, terwijl de lengte ervan wordt bepaald door de lasstroom en de lassnelheid. Het is ook van groot belang wanneer niet in een couveuse gelast wordt dat de onderzijde (doorlassingszijde) eveneens wordt beschermd tegen oxidatie. Voor rechte naden wordt hiertoe veelal een strip met groef toegepast waardoor heen argon met voldoende flow wordt toegevoerd (zie figuur 3). In pijp- of koker verbindingen wordt meestal inwendig gespoeld of over de gehele lengte of over een zone ter plaatse van de doorlassing. Bij spoelen over de gehele lengte is het wenselijk om het zuurstofgehalte van het uitredende argon te meten met een zuurstofmonitor, waarbij een streefwaarde van max. 30 ppm moet worden aangehouden.



Figuur 3: Kleminrichting voor het lassen van dunne plaat

Scheurvorming door verontreiniging

Als er ijzer of ijzer-roestdeeltjes als oppervlakte verontreiniging aanwezig zijn die in het smeltbad worden opgenomen leidt dit tot een drastische afname van de corrosievastheid en bij voldoende hoog ijzergehalte zelfs tot verbrossing. Ijzerdeeltjes op de WBZ zijn al even schadelijk omdat deze in gesmolten toestand met het titaan een eutectische verbinding vormen met een laag smeltpunt. Naast microscheurtjes is een afname van de corrosievastheid het gevolg doordat deze ijzer-titaanverbindingen preferent aangetast worden. Het mechanisme van deze scheurvorming en preferente corrosie wordt schematisch weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: Mechanisme van microscheurvorming en corrosie als gevolg van in het oppervlak ingebedde ijzerdeeltjes.

Met andere metaal-verontreinigingen op titaan zijn soortgelijke schadelijke mechanismen mogelijk.

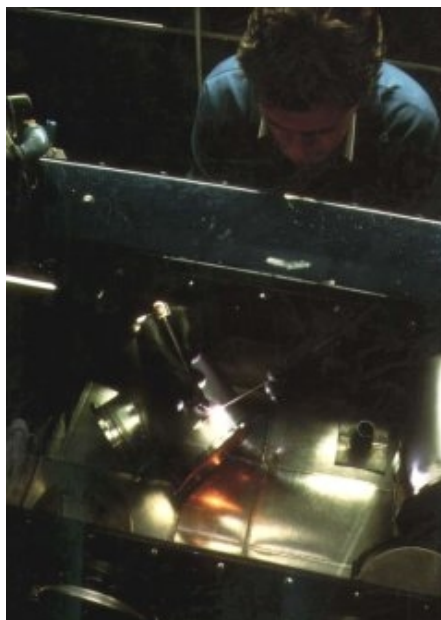
Daarom is het van het grootste belang dat titaan wordt verwerkt in een schone

ruimte gescheiden van andere materialen. Lassers moeten attent zijn op en waken tegen het inbedden van vreemde metaaldeeltjes in het titaanoppervlak door:

- Vermijding van verwerking van andere materialen en vooral staal in de directe omgeving.
- Zoveel mogelijk afdekken van de titaan oppervlakken met karton of kunststoffolie.
- Geen gereedschappen en vooral staalborstels gebruiken die eerder voor de verwerking van andere materialen zijn gebruikt.
- Niet met schoenen lopen over onbedekte titaan oppervlakken.
- Kort voor het lassen de lasnaad en directe omgeving goed met roestvaststaal borstels te borstelen.
- Titaan nooit aan te pakken met vuile handschoenen.

Nogmaals gezegd: Ter vermijding van eerder genoemde problemen van corrosie en scheurvorming en verkleining van het risico van verbrossing door ijzerverontreiniging, is het 't meest veilig en praktisch om titaan te verwerken in een speciaal daarvoor ingerichte en afgescheiden schone ruimte en door lassers die weten waar ze mee bezig zijn!

Voor verdere informatie kan onder meer verwezen worden naar de recent door NIL-TCV uitgegeven 'Praktijkaanbevelingen voor het lassen van Titaan en Titaanlegeringen' PA.08.43 2008.



Deze aflevering in de rubriek 'Laskennis opgefrist' is een bewerking van 'Job Knowledge for welders Part 24' uit TWI Connect door Co van der Goes, geactualiseerd eind 2008.

Inlichtingen

Nederlands Instituut voor Lastechniek
Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Website: www.nil.nl
e-mail: info@nil.nl

Informatie en advies van het NIL wordt verstrekt in goed vertrouwen en is gebaseerd op de huidige stand der technische kennis. Er kan geen garantie verleend worden aan de resultaten of effecten door toepassing van de informatie van deze website. Ook kan er geen verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid geaccepteerd worden voor iedere vorm van verlies of schade .