Titaan: materiaal met toekomstperspectieven

Ing. N. W. Buijs

Hoewel titaan al ruim 45 jaar bekend is, heeft het als toepassing op grote schaal nog weinig van betekenis kunnen zijn. Dit komt voornamelijk door de onbekendheid die dit materiaal ten deel is gevallen, ondanks de positieve eigenschappen van dit in sommige opzichten unieke materiaal. Dit artikel tracht een bijdrage te leveren om titaan in de belangstelling te plaatsen.

Titaan is eigenlijk een uniek element omdat dit relatief onedele metaal zich zo uitzonderlijk edel gedraagt, en bovendien beschikt over een hoge sterkte-gewicht verhouding en goede mechanische eigenschappen. Vooral de exceptionele sterkte-gewichtverhouding heeft dit metaal zeer veel toepassingen gegeven in de vliegtuigbouw en ruimtevaart. Deze sterkte is enorm opgevoerd door de toevoeging van 6 % aluminium en 4 % vanadium (tabel **1**).

Eigenschappen

Bij kamertemperatuur heeft titaan een hexagonale pakkingsstructuur met relatief weinig glijvlakken. Dit verklaart dat het metaal niet zo simpel te vervormen is (α-fase). Boven de 880 °C slaat deze structuur om in een kubisch ruimtelijk patroon β-fase) die stabiel blijft tot het smeltpunt. Legeringselementen kunnen de α- en β-verhouding beïnvloeden, omdat zij de overgangstemperatuur van α naar β naar boven of meer beneden doen bewegen.
Elementen die de α-structuur bevorderen zijn aluminium, tin en zuurstof. Deze stabilisatoren zorgen ervoor dat een dergelijke titaanlegering niet warmte-behandeld kan worden. Elementen die de temperatuur van de fasenverandering verlagen, of wel de β-fase bevorderen, zijn ijzer, chroom en vanadium.
Commercieel zuivere titaan legeringen (no. 1 t/m 4, tabel 1) zijn alle legeringen die zeer goed lasbaar zijn. Ook de no. 5 is door de aanwezigheid van palladium een α-legering en daarom ook uitstekend lasbaar. Type no. 7 (6A14V) is een $\alpha + \beta$-legering die in gegloeide toestand een treksterkte heeft van 850 N/mm², doch na een warmtebehandeling een treksterkte bereikt van minimaal 1.100 N/mm² (tabel **2**). De lasbaarheid is minder doch nog zeer acceptabel. De dichtheid is 4,51 en opmerkelijk laag in vergelijking met staal (7,86) en relatief hoog in vergelijking met aluminium (2,70), maar de sterkte-gewichtverhouding blijft een zeer aantrekkelijk gegeven. Indien we de belangrijkste gegevens van gangbare metalen op een rij zetten, komen we op de vergelijkingstabel van tabel **3**.

Corrosiegedrag

Uit het normaal-potentiaal blijkt hoe onedel titaan is, doch zijn exceptionele corrosiebestendigheid dankt dit metaal aan een zeer stabiele en hechte oxidehuid die het metaal uitzonderlijk passiveert. De affiniteit tot zuurstof is zo groot dat titaan onmiddellijk oxideert als het aan lucht of aan oxidatief milieu

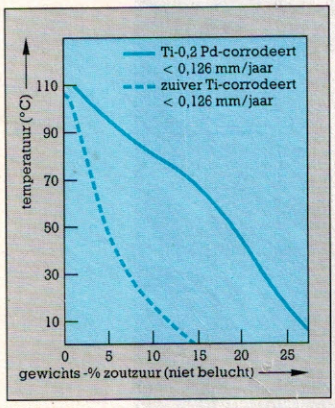
Tabel 1. Titaan en titaanlegering specificatie

no.	type	ASTM	DIN	luchtvaart specificaties British Standards TA	American AMS	American MIL-T 9046 9047	opmerkingen
1	Ti35A/115	1	3.7025	1	—	CP4 —	commercieel zuiver titaan
2	Ti50A/125	2	3.7035	2, 3, 4, 5	4902, 4941	CP3 —	
3	Ti65A/130	3	3.7055	—	4942, 4951, 4900	CP2 —	
4	Ti75A/160	4	3.7065	6, 7, 8, 9	4901	CP1 CP-70	
5	Ti0.2 % Pd	7,11	—	—	—	— —	industriële legeringen met hoge corrosiebestendigheid
6	Ti-Code 12	12	—	—	—	— —	
7	Ti-61-4V/318	5	3.7165	10, 11, 12 28, 56	4911, 4928	AB1/AB2	legeringen met middelhoge sterkten
8	Ti-4A1-4 Mo-2.5Sn (550)	—		45-51 en 57	—	—	
9	Ti-10Fe-2V-3A1 (10-2-3)	—	—	—	4933	— —	β-legeringen met zeer hoge mechanische eigenschappen
10	Ti-15V-3A1-3Cr-3Sn (15-3)	—	—	—	4914	— —	
11	Ti-6A1-2Sn-4Zr-2Mo (6-2-4-2)	—	—	—	4975, 5976	AB4	legeringen ontwikkeld voor motoren in luchtvaart
12	Ti-6A1-2Sn-4Zr-6Mo (6-2-4-6)	—	—	—	4981	—	

Tabel 2. Mechanische eigenschappen bij kamertemperatuur

no.	type	0,2 % rekgrens min (MPA)	treksterkte (MPA)	rek (%)	SM (kg/dm³)	lasbaarheid
1	Ti35A/115	170	240	24	4,51	uitstekend
2	Ti50A/125	275	345	20	4,51	uitstekend
3	Ti65A/130	380	450	18	4,51	uitstekend
4	Ti75A/160	485	550	15	4,51	uitstekend
5	Ti0.2 % Pd (Gr. 7)	275	345	20	4,51	uitstekend
6	Ti Code 12	345	483	18	4,51	uitstekend
7	Ti-6A1-4V/318	830	1100	10	4,45	goed
8	Ti-4A1-4Mo-2.5Sn	860	1160	10	4,60	slecht
9	Ti-10-2-3	1100	1250	8	4,65	goed
10	Ti-15-3	1100	1280	10	4,76	uitstekend
11	Ti-6-2-4-2	830	1100	10	4,54	goed
12	Ti-6-2-4-6	970	1300	10	4,65	redelijk

wordt blootgesteld. Dit houdt ook in dat titaan beschikt over een self-healing-effect, waardoor kleine of grote beschadigingen onmiddellijk hersteld worden. Een voorwaarde is wel dat er (een weinig) zuurstof aanwezig is.
Dit betekent dat titaan minder toepasbaar is in reducerende milieus, deels vanwege het niet aanwezig zijn van zuurstof, en deels doordat de passieve oxidehuid kan dissociëren waardoor corrosie ontstaat. Voorbeelden van reducerende zuren zijn waterstoffluoride, mierenzuur, oxaalzuur, en dergelijke. Deze zuren tasten titaan wel aan doch de corssiesnelheid kan verminderd worden door ijzer- of koperionen toe te voegen. Is dit proces technisch niet haalbaar en moet men toch titaan toepassen, dan kan men palladium toevoegen aan het titaan (0,2 %). Ook zou men kathodische bescherming kunnen toepassen. De invloed van koper- en ijzerionen zijn in afbeelding **1** weergegeven. Ook is het relevant om een grafisch voorbeeld te geven indien men palladium toevoegt (afb. **2**).
Het zal duidelijk zijn dat titaan het beste functioneert in een oxidatief milieu. Een Amerikaanse titaanproducent garandeert een levensduur van maar liefst veertig jaar in een zeewater-milieu, omdat de corrosiesnelheid nihil blijkt te zijn. Dit is ook het geval in chloorhoudende milieus waardoor titaan in dit marktsegment zeer populair is. Door de oxiderende invloed van salpeterzuur is titaan zelfs bestand tegen koningswater.
Het beschermingsmechanisme is in feite identiek aan de oxide-huidvorming van aluminium en roestvast staal, doch de titaan-oxidehuid is veel stabieler en is beter hechtend zodat het moedermateriaal beter beschermd kan worden.
Titaan heeft ook een zeer hoge weerstand tegen put- en spanningscorrosie en reageert veelal kathodisch ten opzichte van vele metalen dankzij het 'edel'-gedrag van de taaie oxidehuid. In tabel **4** blijkt dan ook het relatief onedele titaan zich uitzonderlijk goed gedraagt in zeewater. Geconcludeerd mag worden dat titaan zich bij de edele metalen en legeringen mag rekenen.
Een zwak punt is de geringe weerstand tegen spleetcorrosie doch dat kan bestreden worden door het toevoegen van 0,2 % palladium. Ook zijn er experimenten gedaan met palladium-houdend poeder waardoor men dit zeer kostbare metaal alleen op de gewenste plekken aanbrengt. In de praktijk blijkt dit te functioneren.



2. Corrosie van commercieel zuiver titaan en Ti-O,2Pd in niet-belucht zwavelzuur

Tabel 4. Galvanische serie van verschillende metalen in stromend zeewater (snelheid 4 m/s) bij 25 °C)

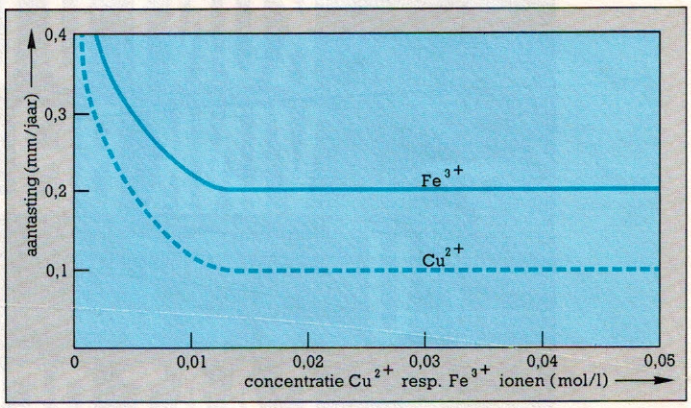
metaal	potentiaal ten opzichte van kalomel referentiecel
zink	1,03
aluminium	0,79
gietijzer	0,61
RVS 18/8	0,53
navel messing	0,40
koper	0,36
adm. messing	0,29
cupronikkel 90/10	0,28
cupronikkel 70/30	0,25
nikkel	0,20
inconel	0,17
zilver	0,13
titaan	0,10
monel	0,08
hastelloy C276	0,08

Lassen

De grote reactiviteit van titaan met zuurstof en stikstof bij hogere temperaturen, brengen de noodzaak met zich mee dat titaan in een couveuse of met speciale mee-loop-sloffen gelast dient te worden. Vooral boven de 400 °C is er een grote opnamedrang van zuurstof en stikstof zodat men zelfs een afkoelende las moet beschermen tegen ongewenste gasdiffusie. Ook kan men gebruik maken van het elektronen bundel-lassen. Het meest toegepaste gasbooglasproces is het TIG lassen. Als beschermgas wordt veelal zuiver argon, helium of een mengsel hiervan gebruikt.
Het zal duidelijk zijn dat elementen als waterstof en koolstof ook gemeden moeten worden en daarom is grondig ontvetten nodig, alsmede het niet aftekenen met potlood.

Tabel 3. Vergelijking eigenschappen van gangbare metalen ten opzichte van titaan

eigenschappen	Ti	Cu	Fe	Al
smeltpunt (°C)	1.660	1.085	1.535	660
soortelijke massa (kg/dm³)	4,51	8,94	7,86	2,70
lineaire uitzettingscoëfficiënt (10^{-6}/°C)	8,9	16,4	11,8	24,0
elektrische weerstand micro (Ω-cm (20 °C)	48,2	1,72	10	2,68
nominaal potentiaal (V)	- 1,63	+ 0,327	- 0,44	- 1,66
elasticiteitsmodules (N/mm²)	105.000	120.000	200.000	70.000



1. De invloed van koper- en ijzerionen

Toepassingen

Bovengenoemde unieke eigenschappen en de relatief gemakkelijke bewerkbaarheid van titaan hebben er voor gezorgd dat de toepassingen in verschillende marktsegmenten steeds meer toegenomen zijn. De relatief hoge prijs hebben weliswaar altijd een remmend effect gehad op het gebruik van titaan doch als functie van de tijd is titaan steeds goedkoper geworden waardoor het meer en meer in bereik komt van nieuwe gebruikersgebieden. Qua prijs kan titaan wedijveren met hoogwaardige nikkellegeringen vooral dankzij de aantrekkelijke soortelijke massa.
Toch zijn er in feite drie hoofdgroepen waar te nemen waar men titaan toepast, namelijk:
— de chemische industrie;
— lucht- en ruimtevaart;
— energie-techniek.
Als secundaire marktsegmenten kan men denken aan de scheepsbouw (koelers), medische technologie (bijv. implantaten en pace-makers), sieraden, elektrochemische toepassingen (titaan-anoden en korven), ontziltingsapparatuur, enzovoorts.
Met betrekking tot de chemische industrie dient opgemerkt te worden dat men titaan alleen daar toepast waar het milieu oxidatief is, zoals bij voorbeeld de chloorverwerkende industrie en salpeterzuurproduktie.
Het blijkt zelfs dat titaan zich absoluut inert gedraagt tegenover chloorgas en andere chloorverbindingen. Hierdoor kan men uiterst dun ontwerpen en/of volstaan met een dun titaal-cladlaagje op een pijpenplaat. Ook condensors van elektriciteitscentrales die met behulp van zeewater gekoeld worden, zijn veelal opgebouwd met uiterst dunwandige titaanpijpen, waardoor een efficiënte warmteoverdracht kan plaatsvinden. ■