

Titaan TIPE-XL pijpsystemen

Een nieuw perspectief die de drempel om titaan toe te passen aanmerkelijk verlaagt

Titaan is vanwege zijn uitzonderlijke reactiviteit in de praktijk een 'alles of niets' metaal. Omdat dankzij deze reactiviteit een taaie dichte oxydehuid ontstaat die buitengewoon goed aan de ondergrond verbonden is, blijft het metaal uiterst passief in de meeste oxyderende milieus. In sterk reducerende milieus wordt deze huid relatief snel afgebroken waardoor het metaal binnen korte tijd zelfs geheel in oplossing kan gaan. Dit rechtvaardigt daarom de uitdrukking 'alles of niets'.

N.W. Buijs

De heer Buijs is werkzaam bij Van Leeuwen Stainless B.V. te Beesd.

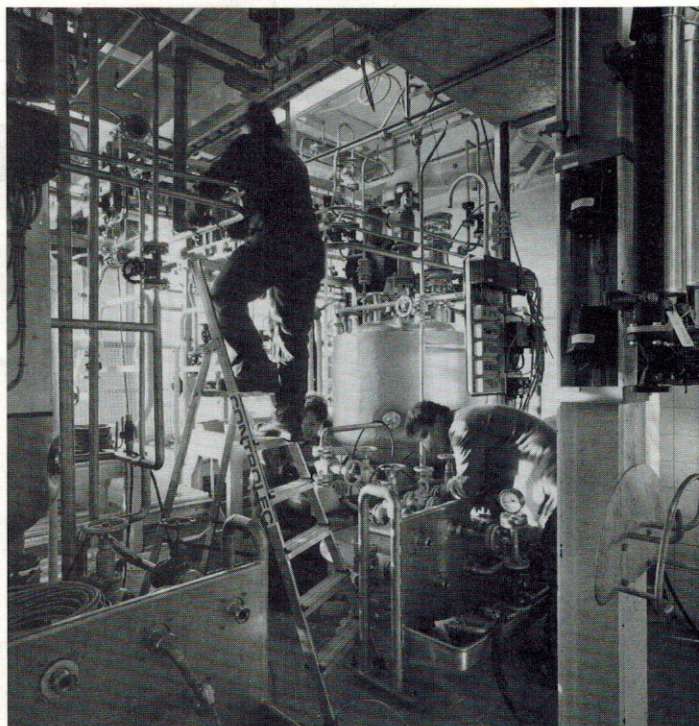
Hoewel er met legeringselementen zoals palladium, nikkel en molybdeen een aanzienlijke verbetering van de corrosiebestendigheid is te bewerkstelligen in reducerende milieus worden titaanlegeringen toch primair gebruikt in oxyderende omstandigheden. Een ander gevolg van dit 'alles of niets' karakter is dat als het eenmaal voldoet men nagenoeg geen corrosie behoeft te verwachten. Zo geven Amerikaanse producenten een garantie van 40 jaren bij het gebruik van titaan in zeewater in de onbehandelde staat. In feite zou men er ook het dubbele van kunnen maken want titaan wordt nu eenmaal niet aangetast in zeewater en dat geldt ook voor de chloorhoudende milieus. Dit betekent dat een corrosietoets niet nodig is wat weer tot geringere wanddikten leidt waardoor bijvoorbeeld de warmteoverdracht zal verbeteren.

Een Amerikaanse producent, Titanium Industries, heeft daarom een nieuw type pijp op de markt gebracht onder de naam TIPE-XL. De uitdrukking XL kan verwarring zaaien omdat dit kan worden geassocieerd met 'extra groot'. Met de aanduiding XL worden hier echter pijpen bedoeld die een extra dunne wanddikte hebben (extra light). Met deze extreem dunwandige buizen is voor een gegeven buissysteem aanzienlijk minder massa gemoeid dan bij het op het oog goedkopere materiaal. Deze massabesparing kan zo groot zijn, dat de kosten bij toepassing van titaan in dezelfde grootte orde komen te liggen als van bijvoorbeeld gangbare roestvast staaltypen. Omdat titaan de laatste jaren ook nog sterk in prijs is gedaald wordt toepassing van dit metaal dubbel aantrekkelijk.

Algemeen

Titaan is een metaal dat ten koste van veel energie wordt vrijgemaakt uit zijn oxyden door middel van reductieprocessen. Deze toegevoegde energie kan weer vrijkomen als titaan oxydeert. Titaan heeft unieke eigenschappen zoals:

- zeer goede corrosiebestendigheid; titaan is immuun voor corrosie in zout- of zeewater milieus. Het is zeer bestendig tegen een groot aantal zuren, basen, watertypen en industriële chemicaliën.
- lage soortelijke massa (4,51); deze is ongeveer 56% van die van staal en dat betekent dat eenzelfde massa titaan ruwweg een twee keer zo groot volume heeft als staal. Als titaan licht wordt gelegerd kan door de daarmee verkregen hogere mechanische waarden de gewichtsbesparing verder worden opgevoerd;
- lage uitzettingscoëfficiënt;
- hoog smeltpunt;
- niet magnetisch;
- extreem korte radio-actieve halfwaardetijd;
- superieure erosieweerstand; titaan biedt een superieure weerstand tegen erosie, cavitatie of botsingsinslag. Titaan is op zijn minst twintig keer meer bestand tegen erosie dan bijvoorbeeld koper-nikkellegeringen, waardoor de stromingssnelheden hoger kunnen zijn.



Titaan TIPE-XL pijpsystemen

- hoog efficiënte warmteoverdracht; onder operationele omstandigheden is de warmteoverdracht van titaan ongeveer dezelfde als die van koper-nikkellegeringen. Hiervoor zijn diverse redenen op te geven zoals:
 - . veel dünnere wanddikten vanwege hoge sterkte;
 - . de titaan-oxydefilm op het oppervlak heeft een gunstig effect.

Fysische, chemische en mechanische eigenschappen

In de ASTM normen worden diverse technisch zuivere en gelegeerde titaantypen omschreven. Aangezien titaan dikwijls in de technisch zuivere toestand wordt toegepast zijn hiervan vier typen ontwikkeld die zijn onderverdeeld in grade 1, 2, 3 en 4 met oplopende onzuiverheid en mechanische eigenschappen. Voor een globale indruk van de fysische eigenschappen van titaan in vergelijking met andere metalen zijn enkele gegevens weergegeven in tabel 1. Titaan blijkt een negatieve normaalpotentiaal te hebben, het passieve gedrag van titaan is dan ook het directe gevolg van de chemische bestendigheid in talloze agressieve milieus van de gevormde oxydehuid. Bij kamertemperatuur bezit titaan een hexagonale dichte pakingsstructuur, α -fase, die zich niet leent voor warmtebehandeling. Bij 880°C treedt er een transformatie op naar een kubisch ruimtelijk gecentreerde structuur, β -fase, die stabiel is tot het smeltpunt.

Tabel 1 Vergelijkbare fysische gegevens.

eigenschap	titaan	aluminium	koper	ijzer	magnesium
smeltpunt °C	1660	660	1084	1535	650
dichtheid	4,51	2,70	8,94	7,86	1,74
warmtegeleidings-coëfficiënt in M/mK	16,2	210	385	50	139
uitzettingscoëfficiënt in 10 ⁻⁶ /K	8,4	24	17	12	26
elektrische weerstand bij 20°C in $\mu\Omega\cdot\text{cm}$	48,2	2,68	1,72	10	4,4
elasticiteitsmodulus in 10 ³ N/mm ²	105	70	120	200	45
normaalpotentiaal in volt	-1,63	-1,66	+0,327	-0,44	-2,37

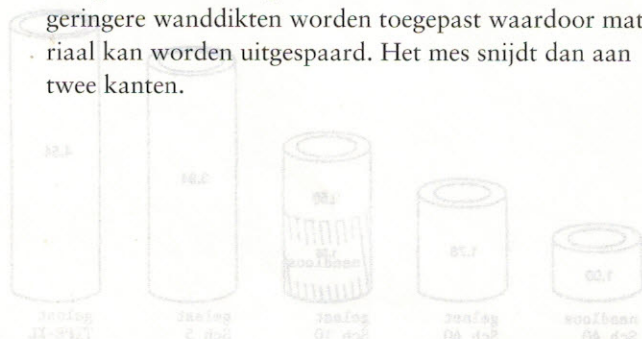
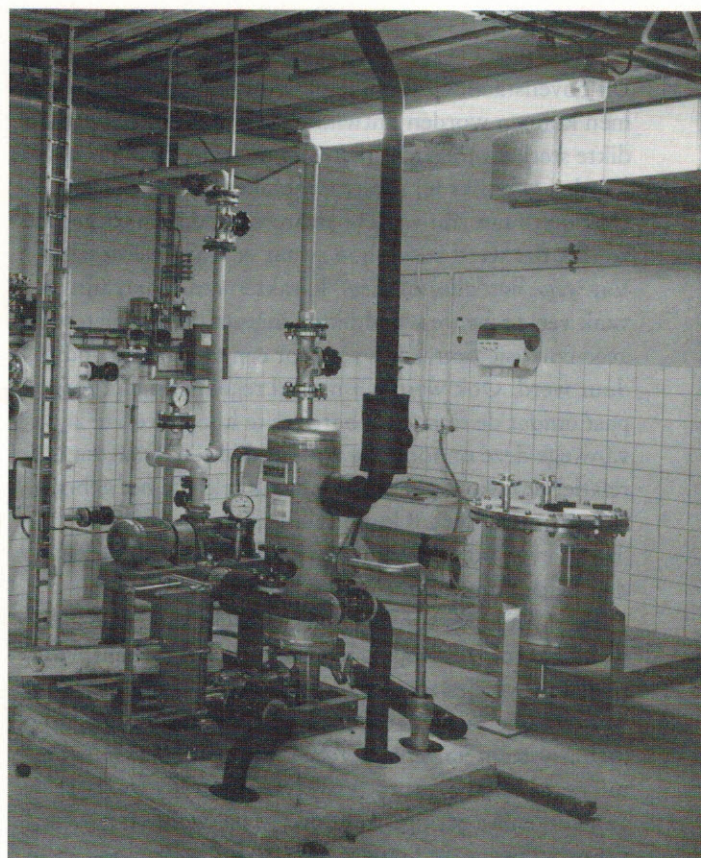
Legeringselementen zullen in het algemeen deze transformatie-temperatuur beïnvloeden waardoor er ook α - β legeringen ontstaan die wel kunnen worden warmtebehandeld. Een hexagonale structuur bezit weinig glijvlakken waardoor de taaiheid van zuiver titaan bepaald niet optimaal is, wat op zich ook weer bepaalde voordelen heeft. In tabel 2 zijn van enkele titaantypen de mechanische eigenschappen weergegeven, waaruit duidelijk blijkt hoezeer relatief geringe hoeveelheden legeringselementen

Tabel 2 Mechanische eigenschappen van enkele titaanlegeringen.

type titaan	0,2% rek-grens in MPa	treksterkte in MPa	rek in %
Ti-grade 1	170	240	24
Ti-grade 2	275	345	20
Ti-grade 3	380	450	18
Ti-grade 4	485	550	15
Ti-grade 5	830	1100	10
Ti-grade 7	275	345	20
Ti-grade 12	345	483	18

Titaan TIPE-XL pijpsystemen

de mechanische eigenschappen kunnen verbeteren. In tabel 3 is van enige typen de chemische samenstelling weergegeven. Het hoogst gelegeerde type is grade 5 dat voornamelijk wordt toegepast in de ruimte- en luchtvaart vanwege zijn hoge mechanische waarden. De corrosiebestendigheid daarentegen is niet zo hoog als die van andere typen doch dat speelt een minder grote rol in dergelijke toepassingen. Door legeren met palladium wordt de corrosiebestendigheid enorm vergroot, vooral in reducerende omstandigheden. Ook blijkt de spleetcorrosiegevoeligheid door legeren met palladium nagenoeg te zijn verdwenen. Omdat palladium zo kostbaar is is een goedkoper alternatief ontwikkeld: grade 12 waar geringe hoeveelheden nikkel en molybdeen de taak van palladium over nemen, hetgeen gedeeltelijk is gelukt. Grade 12 is derhalve veel corrosiebestendiger dan grade 2, maar nog niet zo bestendig als grade 7. Wel kunnen met grade 12 vanwege de betere mechanische sterkte geringere wanddikten worden toegepast waardoor materiaal kan worden uitgespaard. Het mes snijdt dan aan twee kanten.



Tabel 3 Chemische samenstelling van enige titaantypen.

element	grade 2	grade 3	grade 5	grade 7	grade 12
zuurstof max.	0,25	0,35	0,20	0,25	0,25
stikstof max.	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03
waterstof max.	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
koolstof max.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08
ijzer max.	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30
aluminium	-	-	5,5-6,8	-	-
vanadium	-	-	3,5-4,5	-	-
molybdeen	-	-	-	-	0,2-0,4
nikkel	-	-	-	-	0,6-0,9
palladium	-	-	-	0,25	-
rest totaal	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Titaan TIPE-XL pijpsystemen

TIPE-XL pijpen

Uit bovenstaande zal duidelijk worden dat nu pijpsystemen kunnen worden ontwikkeld die wat betreft wanddikte sterk kunnen afwijken van de wanddikten zoals die worden gebruikt bij roestvast staal en nikkellegeringen. Ook bij titaan zijn vaak te zware wanddikten toegepast zonder dat werd beseft hoe zwaar er was 'overdesignd'. Vanwege het 'alles of niets' karakter van titaan zijn er vaak veel te zware wanddikten ingezet op plaatsen waar geen corrosie optreedt waardoor een systeem onnodig duur werd. Ook werd het metaal regelmatig niet toegepast omdat de financiële barrière te hoog bleek te zijn vanwege deze onnodig zware wanddikten. Daarom is de relatief dunwandige TIPE-XL ontwikkeld die het gebruik van titaan verder zal kunnen stimuleren omdat het 'break-even point' uiteraard veel eerder wordt bereikt dan bij de conventionele wanddikten.

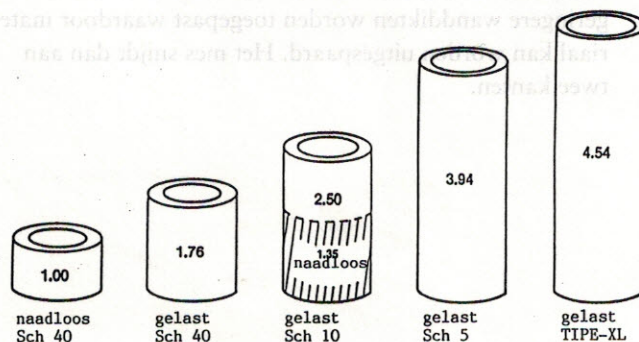
Tabel 4 geeft een vergelijkend overzicht van een aantal wanddikten. Duidelijk is te zien hoezeer kostbaar materiaal kan worden uitgespaard als wordt afgestapt van de wanddikten die zijn verbonden aan het traditionele pijpmatensysteem volgens de ANSI normen. Hierbij dient uiteraard altijd te worden overwogen of het toepassen van dergelijke geringe wanddikten mechanisch gezien verantwoord is. Indien dat niet zo is, dan kan ook worden overwogen of het constructief mogelijk is om extra ondersteuning toe te passen alvorens te besluiten om toch weer over te gaan op zwaardere wanddikten.

Economisch aspect

Titaanpijp is op zich niet zo kostbaar als vaak wordt aangenomen. Zoals in de aanhef reeds is beschreven dienen alle aspecten te worden beschouwd voordat een idee wordt verkregen van wat een pijpsysteem nu eigenlijk kost. De titaankiloprijs mag niet zo maar worden gerekend want aspecten zoals het soortelijk gewicht, het achterwege blijven van een corrosietoeslag e.d. moeten ook worden meegenomen.

In afbeelding 1 is het onderlinge verband weergegeven tussen de prijsverschillen is het onderlinge verband weer-

Afb. 1 De onderlinge prijsverhouding van verschillende titaanpijp-uitvoeringen.



Tabel 4 Vergelijking van diverse pijpafmetingen.

nominale pijpafmetingen in inch	uitwendige diameter in mm	TIPE-XL	Schedule 5S	Schedule 10S	Schedule 40S
3/4	26,7	1,42	1,65	2,11	2,87
1	33,4	1,42	1,65	2,77	3,38
1 1/4	42,2	1,42	1,65	2,77	3,56
1 1/2	48,3	1,42	1,65	2,77	3,68
2	60,3	1,42	1,65	2,77	3,91
2 1/2	73,0	1,88	2,10	3,05	5,16
3	88,9	1,88	2,10	3,05	5,49
4	114,3	1,88	2,10	3,05	6,02
6	168,3	2,18	2,77	3,40	7,11

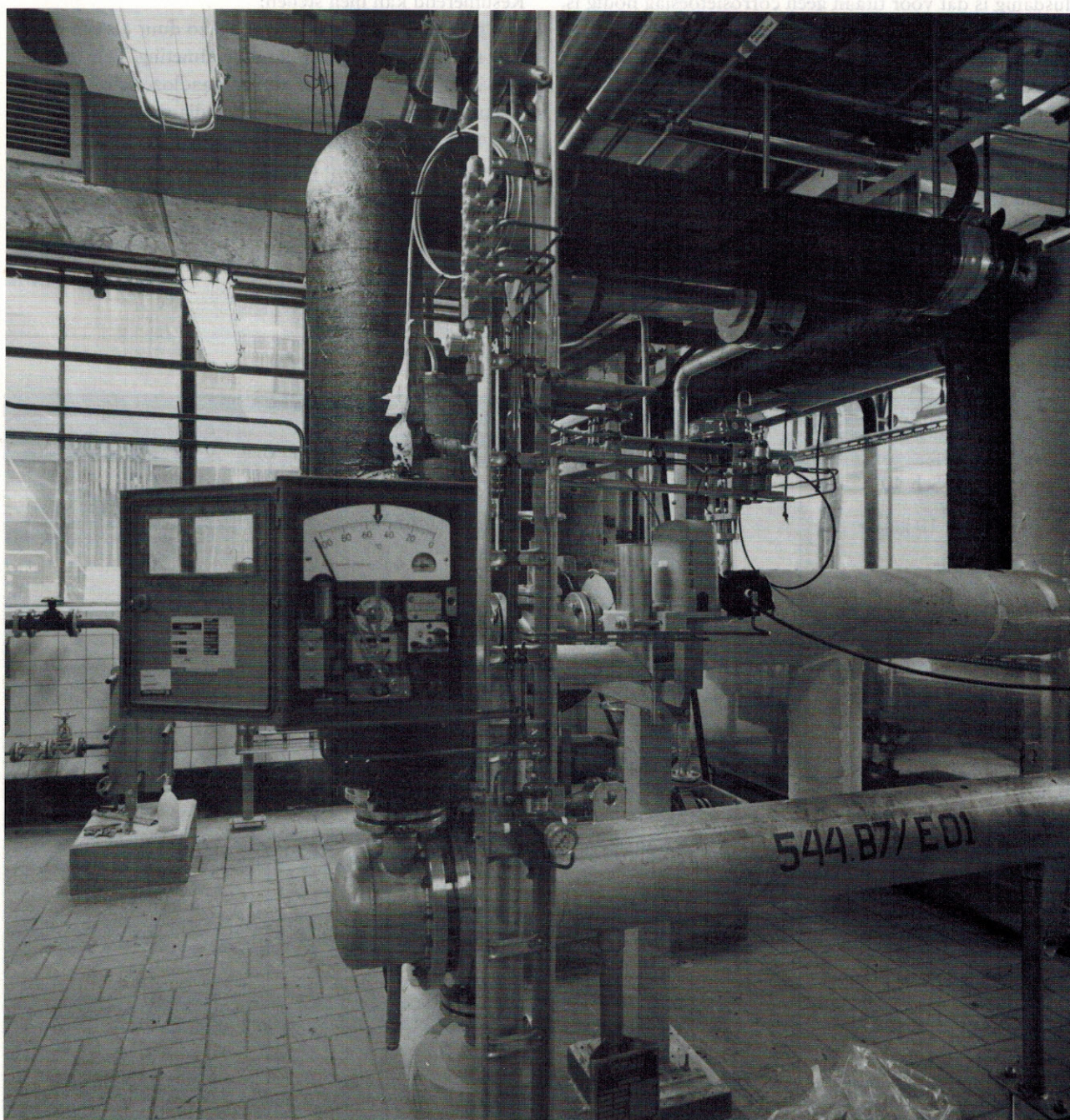
Titaan TIPE-XL pijpsystemen

gegeven tussen de prijsverschillen van de diverse titaanpijpen. In de praktijk blijkt dat gelaste pijp ongeveer 35% goedkoper is dan een naadloze met de dezelfde wanddikte. Wordt de aankoop prijs van een naadloze titaanpijp in schedule 40 uitvoering op 1 gesteld dan is te zien wat men voor hetzelfde geld aan meters kan verkrijgen in de andere uitvoeringen.

Valt de keus op TIPE-XL dan kan voor hetzelfde geld 4,54

maal meer pijpmateriaal worden aangeschaft bij een gelijkblijvende uitwendige diameter. Uiteraard dient altijd rekening te worden gehouden met geringe afwijkingen die nu eenmaal kunnen ontstaan bij dergelijke prijsvergelijkingen.

De TIPE-XL pijp is zo ontworpen dat deze uitvoering een druk van 150 pound kan weerstaan en dat de pijp probleemloos onder vol vacuüm kan functioneren tot een



Titaan TIPE-XL pijpsystemen

temperatuur van 95°C. Deze omstandigheden komen in de praktijk het meest voor; statistisch gezien zelfs 75% waardoor men kan stellen dat dergelijke pijpen in de meeste toepassingen de traditionele uitvoeringen kunnen vervangen.

Ook is onderzocht hoe de prijzen van verschillende materialen zich ten opzichte van elkaar verhouden met dien verstande dat zij corrosie-technisch uitwisselbaar zijn. Dit houdt onder meer in dat de corrosieve belasting dusdanig is dat voor titaan geen corrosietoeslag nodig is. Daarom kan zoals in tabel 5 is gedaan de TIPE-XL pijp naast schedule 10 en 40 pijpen worden gezet die deze wanddikten wel nodig hebben vanwege de verwachte aantasting. Bij de hogere kwaliteiten is gekozen voor schedule 10 uitvoering omdat daar de verwachte aantasting veel geringer is. De prijs van TIPE-XL pijp is op 1 gesteld zodat men zich een beeld kan vormen hoe de onderlinge verhoudingen zijn; koolstofstaal schedule 40 kost dan slechts 0,21 en nikkellegering C276 schedule

10 maar liefst 5,63 zoveel (zie tabel 5).

Uit de praktijk blijkt hoezeer men verrast is over de prijsverhoudingen die uit tabel 5 blijken. In de USA werden vooral stalen pijpen die voorzien waren van allerlei voeringen vrij snel vervangen door deze nieuwe pijpvorm. Deze ontwikkeling zet zich verder door, recentelijk ook in Nederland voor zover het milieu dat toelaat.

Resumerend kan men stellen:

Een gelaste titaanpijp is 0,65 maal zo duur als een naadloze titaanpijp van exact dezelfde afmeting. Een TIPE-XL pijp is 0,49 maal zo duur als een naadloze schedule 5 titaanpijp met dezelfde uitwendige diameter.

Een TIPE-XL pijp is 0,34 maal zo duur als een naadloze schedule 10 titaanpijp met dezelfde uitwendige diameter.

Tabel 5 Prijsverhouding tussen diverse pijpmaterialen.

materiaal	2 inch pijp prijsverhouding	4 inch pijp prijsverhouding	6 inch pijp prijsverhouding
koolstofstaal Sch 40	0,21	0,19	0,20
RVS 304 Sch 10 gelast	0,35	0,32	0,30
FRP vinylester	0,73	0,48	0,45
staal met polypropyleen	0,56	0,48	0,46
RVS 316 Sch 10 gelast	0,57	0,52	0,47
staal met PVDC voering	0,74	0,62	0,58
titaan TIPE-XL	1,00	1,00	1,00
RVS 316 Sch 40 gelast	1,09	1,32	1,43
titaan gr 2 Sch 10 gelast	1,82	1,57	1,49
titaan met PVDF voering	1,97	1,69	1,69
staal met teflon voering	2,28	1,96	2,11
staal met emaille	3,35	2,08	2,00
legering 20 Sch 10 gelast	2,55	2,33	2,33
staal met PTPE voering	2,84	2,46	2,54
nikkel Sch 10 gelast	3,37	3,31	3,29
legering C276 Sch 10 gelast	5,63	5,80	5,67

Titaan TIPE-XL pijpsystemen

Fittingen

Het spreekt voor zich dat er een compleet fittingprogramma op de markt wordt gebracht met dezelfde TIPE-XL afmetingen als van de buizen. Men kan dan denken aan bochten, concentrische en excentrische lasverloopstukken alsmede T-stukken en stub-ends (laskragen). Ook zijn er gemodificeerde bochten ontwikkeld die een verlengd recht stuk hebben waardoor de assemblage wordt vergemakkelijkt. Ook hier geldt dat de extra dunne wanddikte kostbaar materiaal uitspaart hetgeen de prijs van een pijpsysteem omlaag brengt. Naast de gebruikelijke fittingen zijn er ook speciale fittingen ontwikkeld met een geëxpandeerde uitloop waardoor een pijp in de fitting kan worden geschoven. Deze mofverbinding kan dan met slechts één rondlas definitief tot stand komen. Het voornaamste voordeel is dat het fitwerk snel kan worden uitgelijnd en geassembleerd omdat een dergelijke las veel sneller is gemaakt dan in het geval van een stuiklas. Een ander voordeel is dat er geen flenzen, boordringen en laskragen meer nodig zijn. Dergelijke fittingen zijn tot 6 inch leverbaar als bochten, T-stukken en kruisverbindingen.

Verkrijgbaarheid

TIPE-XL pijpen en fittingen zijn in de gelaste uitvoering verkrijgbaar met uitwendige diameters van 3/4 t/m 24 inch. Deze verkrijgbaarheid zal de komende jaren aanzienlijk toe gaan nemen zodra de industrie de voordelen van dit geheel nieuwe pijpsysteem gaat ervaren. Een ontwikkeling waar dit artikel wellicht aan bij zal dragen. De vanuit voorraad leverbare standaardlengte van de TIPE-XL pijpen is 6,4 meter. Op bestelling kunnen zelfs lengten worden geleverd van maximaal 15,3 meter.

Corrosiebestendigheid

Hoewel dit artikel niet uitvoerig wil ingaan op het aspect van de corrosiebestendigheid is het onvermijdelijk om dit onderwerp toch even onder de aandacht te brengen. Om een indruk te krijgen van titaan als 'alles of niets' metaal is in tabel 6 aangegeven hoe diverse metalen zich houden in met zuurstof verrijkt zeewater. Dit verklaart dat er titaanfabrikanten zijn die onbehandeld titaan garanderen in zeewater voor een periode van 40 jaar. Ook in natchloorhoudende milieus is er geen merkbare aantasting van het titaan waar te nemen.

Tabel 6 Corrosie in zeewater met 100 ppm zuurstof bij 230°C gedurende 15 dagen (de pH was 6,1).

materiaal	spleetcorrosie	corrosiesnelheid	
		basismetaleel $\mu\text{m}/\text{jaar}$	lasmetaal $\mu\text{m}/\text{jaar}$
RVS 316L	ernstig*	6200	3680
legering 625	ernstig*	488	2210
legering C276	ernstig*	-	-
titaan gr 2	geen	-	3
titaan gr 12	geen	-	-

* meer dan 127 $\mu\text{m}/\text{jaar}$

Titaan TIPE-XL pijpsystemen

Testen

Na het fabriceren van de TIPE-XL pijpen worden deze aan de volgende beproevingen onderworpen:

- treksterktebepaling
- buigtest
- samendruktest
- hydraulische test
- afmetingenbepaling met een laserstraalunit
- wervelstroomonderzoek

Bovendien kunnen op verzoek van de afnemer de volgende additionele testen worden gedaan:

- pneumatisch onderzoek (luchtdruk onder water)
- ultrasoon onderzoek
- röntgen onderzoek (geheel of gedeeltelijk)
- bepaling van mechanische waarden bij verhoogde temperatuur

Overspanningen

Hieronder volgt een berekeningsmethode teneinde een verantwoorde overspanning te krijgen door het juiste aantal steunpunten te bepalen. Hierbij is rekening gehouden met de vibratiegevoeligheid van de titaanpijpen. De waarden die uit deze berekeningsmethode naar

voren zijn gekomen zijn verzameld in tabel 7. De volgende parameters zijn van invloed op de maximale overspanning:

- a) gewicht van de pijp
- b) gewicht van de isolatie en weersbescherming
- c) windbelasting
- d) gewicht van het te transporteren medium

In de berekening is uitgegaan van watergewicht, 122 kg/m² windbelasting en 320 kg/m³ isolatiebelasting.

Indien men zelf de overspanning wil berekenen kan men gebruik maken van de volgend formule:

$$L = C \cdot \sqrt{s/m_g}$$

L = de lengteoverspanning

C = constante = 0,447

s = spanning die aanbevolen wordt, bijvoorbeeld door de Dienst van het Stoomwezen

m = doorsnede modulus van de pijp

g = gewicht van de pijp gedurende het gebruik

Slot

Hoewel in dit artikel vanwege een noodzakelijke beknoptheid, niet uitgebreid kan worden ingegaan op vele andere details zoals geavanceerde fittechnieken en

Tabel 7 Maximale toelaatbare overspanning in meter van titaanpijpen tot en met een uitwendige diameter van 6 inch NB.

pijpfmeting in inch	TIPE-XL					Sch 5s				
	temperatuur in °C					temperatuur in °C				
	38	93	149	204	260	38	93	149	204	260
¾	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6
1	2,0	1,9	1,6	1,5	1,3	2,4	2,3	2,1	1,9	1,8
1½	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
2	2,6	2,4	2,2	2,0	1,9	3,2	3,0	2,7	2,5	2,3
2½	3,1	2,9	2,6	2,4	2,3	3,7	3,5	3,2	3,0	2,7
3	3,3	3,1	2,8	2,6	2,4	4,0	3,7	3,4	3,2	2,9
4	3,6	3,6	3,0	2,8	2,6	4,4	4,1	3,7	3,5	3,2
6	4,7	4,4	4,0	3,7	3,4	5,5	5,1	4,7	4,3	4,0

Titaan TIPE-XL pijpsystemen

nadere informatie over maattechnische overspanningen die van toepassing zijn bij hoge drukken of vacuüm bij verhoogde en hoge temperaturen, verschaft het toch voldoende informatie om een dergelijk pijpsysteem nader in overweging te nemen. De voordelen van geringe wanddikten zijn uitgebreid aan de orde geweest doch de eerlijkheid gebiedt te stellen dat het nadeel van geringe wanddikten niet uit het oog mag worden verloren. In dit verband valt te denken aan het mechanisch zwakker zijn en aan de hogere te stellen eisen aan het vakmanschap van de lassers. Dit laatste wordt trouwens weer grotendeels ondervangen door verbindingen te maken met nieuwe expansietechnieken waardoor de onderdelen zonder te lassen lekdicht aan elkaar worden bevestigd.

Literatuur

- 1) TIPE-XL - A cost effective titanium piping system by Titanium Industries USA.
- 2) Titaan een goed alternatief; ing. N.W. Buijs - Metaal en Kunststof nr. 17, 18, 19 en 20 jaargang 1991.

Foto's

De foto's bij dit artikel zijn beschikbaar gesteld door Gist Brocades te Delft. Installateur was Klip B.V., Lekkerkerk. ◀

Tabel 7a Maximale toelaatbare overspanning in meter van titaanpijpen tot en met een uitwendige diameter van 6 inch NB.

pijpfmeting in inch	Sch10s					Sch 40s				
	temperatuur in °C					temperatuur in °C				
	38	93	149	204	260	38	93	149	204	260
¾	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	2,6	2,4	2,1	2,0	1,9
1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2
1½	3,5	3,2	2,9	2,7	2,5	3,8	3,5	3,2	3,0	2,7
2	3,8	3,6	3,3	3,0	2,8	4,3	4,0	3,6	3,4	3,1
2½	4,3	4,0	3,6	3,4	3,1	5,0	4,7	4,2	3,9	3,6
3	4,6	4,3	3,9	3,6	3,4	5,6	5,2	4,7	4,4	4,0
4	5,0	4,7	4,3	4,0	3,7	6,3	5,9	5,4	5,0	4,6
6	6,0	5,6	5,1	4,7	4,3	7,7	7,2	6,5	6,0	5,6