

# Kenmerken en eigenschappen van roestvaststaal staal (1)

Ing. N.W Buijs

Van Leeuwen Stainless b.v., Beesd

Ondanks legio toepassingen bestaan er nog te veel misverstanden omtrent roestvaststaal. Wat is roestvaststaal en hoe kunnen diverse corrosievormen op eenvoudige wijze worden bestreden of voorkomen. Dit zijn enkele facetten, die in drie artikelen worden behandeld om het begrip omtrent roestvaststaal te verduidelijken.

Wat wordt nu precies onder het begrip roestvaststaal verstaan? In de praktijk blijkt, dat de term roestvrijstaal ook nog veel gebezigd wordt, maar dit is op zich genomen een minder gelukkige uitdrukking, omdat roestvaststaal ook zijn beperkingen heeft qua corrosieprestaties. Door deze beperkingen kan er toch een aantasting ontstaan, die veelal te maken heeft met het oxidatieproces, dat in de volksmond ook wel roesten wordt genoemd. Daarom is de term roestvrij alleen te gebruiken bij metalen die uiterst edel zijn, zoals goud en platina.

Edel wil zeggen dat het metaal zich thermodynamisch in een stabiele positie bevindt waardoor het blijft zoals het is. Men zegt dan ook wel dat het metaal passief is, omdat het immers niet reageert met zijn omgeving. De graad van stabiliteit van een metaal in een bepaald waterig milieu hangt ook af van factoren zoals:

- Redox-potentiaal;
- pH (zuurgraad);
- de temperatuur van de oplossing.

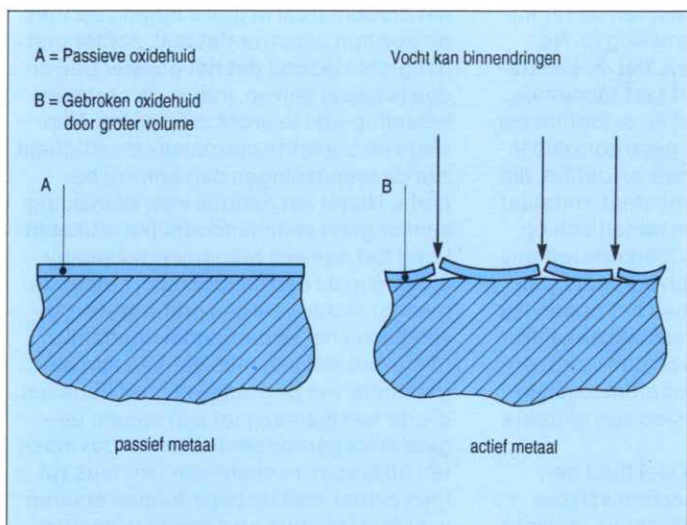
Roestvaststaal reageert onder normale omstandigheden niet met zijn omgeving dus kunnen we stellen, dat roestvaststaal een passief metaal is. In die situaties dat roestvaststaal wel geheel of gedeeltelijk reageert met zijn omgeving, verdwijnt geheel of plaatselijk de passiviteit, waardoor corrosie het gevolg is. Corrosie is gedefinieerd als een aantasting van een metaal vanwege een chemische of elektrochemische reactie met een medium, dat in contact staat met dat metaal. Men kan dan spreken over respectievelijk algehele of lokale aantasting. Daarom komen in dit artikel naast het mechanisme waarom roestvaststaal niet roest, ook diverse corrosievormen ter sprake die men veelal op eenvoudige wijze kan bestrijden of zelfs kan voorkomen.

## Wat is roestvaststaal?

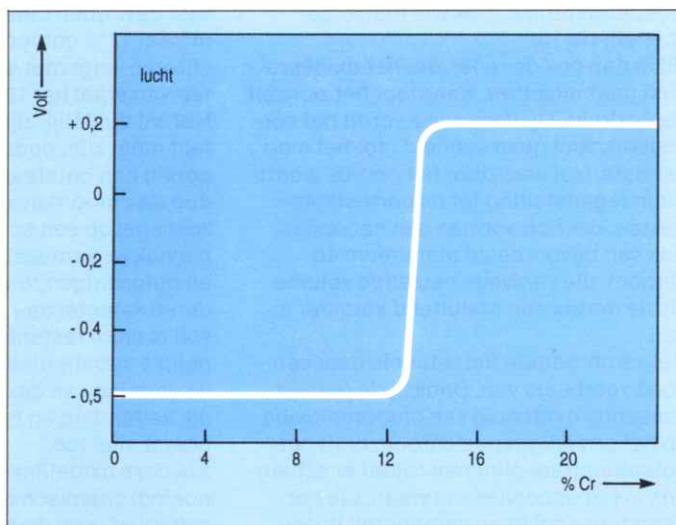
Voordat dit nader wordt gedefinieerd, zal



Vacuümunit t.b.v. een olieraffinaderij geheel uitgevoerd in roestvaststaal 316L.



1. Schematische voorstelling van wel en niet roesten



2. Invloed van het chroomgehalte van een ijzerchromlegering op de potentiaal gemeten ten opzichte van de H-electrode in water verzadigd met lucht

eerst het begrip ijzer en staal nader worden omschreven. IJzer (Fe) is een element, dat veelvuldig voorkomt in de aardkorst, maar nooit puur; het wordt meestal gevonden als ijzererts dat een verbinding is tussen ijzer en zuurstof. Ieder systeemstreeft naar de laagste energietoestand, dus dat betekent, dat het erts van ijzeroxide een stabiele verbinding is, die zonder actie van buitenaf altijd zo blijft.

Door middel van een actie van buitenaf kan men deze sterke verbinding verbreken met behulp van een chemische reactie, die relatief veel energie kost. Naast elektrolyse kan men dit doen met chemische reacties, die onder hoge temperatuur plaatsvinden, zoals bijvoorbeeld in een hoogoven. Met behulp van koolstof, dat wordt toegevoerd in de vorm van cokes, en met energie vindt er een endotherme reactie plaats, waarbij warmte nodig is om deze reactie te kunnen laten plaatsvinden (kader 1).

Zo ontstaat er ruwijzer, dat vloeibaar onderin de hoogoven verzameld en af en toe afgetapt wordt. Het ruwe ijzer dat ontstaan is, gaat naar de staalfabriek voor het op peil brengen van de juiste analyse. De aanwezigheid van enkele tienden procenten koolstof maakt van dit ijzer staal, zoals we dat in allerlei vormen dagelijks tegenkomen.

Staal is dus een legering van ijzer en een gecontroleerde hoeveelheid koolstof. Door het extra legeren van relatief geringe hoeveelheden elementen zoals nikkel, chroom, vanadium, molybdeen enzovoort, kan men vooral de mechanische waarden opvoeren, wat gedeeltelijk te danken is aan allerlei warmtebehandelingen die men op dergelijke stalen kan toepassen. In dit artikel zal daar niet verder op worden ingegaan.

Eén ding hebben alle ongelegeerde en lichtgelegeerde staalsoorten gemeen en dat is, dat zij alle een actieve conditie bezitten of met andere woorden, al deze staalsoorten zullen reageren met vooral

zuurstof, indien er een elektrolyet (bijvoorbeeld water) aanwezig is. Dit resulteert in het feit, dat het oppervlak gaat oxyderen (verbranden), zodat er een corrosieproduct ontstaat dat ook wel roest wordt genoemd.

Teneinde deze roestvorming tegen te gaan kan men het oppervlak een behandeling geven, zoals het coaten (schilderen), het galvaniseren (zink deklaag), invetten, verrubberen, enzovoort. Al deze deklagen voorkomen dat het elektrolyet in verbinding komt met het staal en zo lang er geen imperfecties ontstaan in deze deklagen, gaat het allemaal goed. Zodra echter door bijvoorbeeld een beschadiging een gaatje in de deklaag ontstaat, begint in alle hevigheid de corrosie op dit plekje toe te slaan, waardoor men spreekt over een lokale aantasting. Uiteraard gebeurt dit echter ook weer alleen indien er een elektrolyet aanwezig is. Dit is dan ook de reden, dat onderhoudsploegen zeer waakzaam allerlei staalconstructies inspecteren om dergelijke zeer ongewenste aantastingen te voorkomen.

Roesten is dus een chemische omzetting van ijzer naar ijzeroxide, zodat in feite genoemde formule andersom verloopt. We kunnen het roestproces voorstellen, zoals weergegeven in kader 1. Dit is een exothermische reactie, omdat er warmte vrijkomt.

Volledigheidshalve dient te worden opgemerkt, dat er ook nog andere reacties kunnen plaatsvinden zodat er bijvoorbeeld ook  $Fe_2O_3$  kan worden gevormd, maar dit is voor dit artikel verder niet relevant. Uit de twee genoemde reacties kan men opmaken, dat energie niet verloren gaat, want de energie die nodig was om het ijzererts vrij te maken komt weer vrij als het ijzer oxydeert tot zijn oorspronkelijke vorm.

Omdat ieder systeem streeft naar de laagste energietoestand, zal het dus duidelijk zijn dat het roestproces zonder preventie niet tegen te houden is. Het is te vergelijken met een boomstam die je met moeite tegen een berghelling naar boven hebt gerold. Laat je deze los, dan rolt deze automatisch terug naar beneden. Steek je er een stokje voor dan blijft de boomstam op dat hogere niveau, alhoewel deze potentiële energie heeft gekregen.

Het is dus zaak, dat we voortdurend een stokje moeten steken voor het oxidatieproces zodat dit niet plaats kan vinden. Naast de hierboven beschreven deklagen kan men ook het nodige bereiken met het hoger legeren van het staal, waardoor het roestvast wordt. In principe bereikt men dit alleen maar met het element chroom.

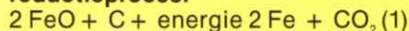
### Chroom gelegeerd staal

De passiviteit van puur ijzer is relatief gering. Toch blijkt uit de edelheidreeks, dat ijzer edeler is dan bijvoorbeeld aluminium en chroom, terwijl deze metalen zich zo passief gedragen in een elektrolyet. Dit komt doordat de gevormde oxidehuid (roestlaag) op het staal een groter volume heeft dan het onderliggende

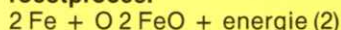
### Reductie- en oxydatieproces

kader 1

#### reductieproces:

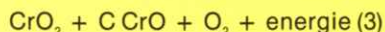


#### roestproces:



### Koolstofbinding aan chroom

kader 2



moedermateriaal (ook wel matrix genoemd) (afb 1.).

Dit is dan ook de reden dat het oxideproduct gaat uitzetten, waardoor het zichzelf kapot drukt. Op deze wijze vormt het corrosieproduct geen eenheid met het moedermateriaal waardoor het poreus wordt. Dit in tegenstelling tot de corrosieproducten, die zich vormen aan het oppervlak van bijvoorbeeld aluminium en chroom, die vanwege hetzelfde volume als de matrix een afsluitend karakter tonen.

Het verchromde fietsstuur is daar een goed voorbeeld van. Dankzij de perfect passende oxidehuid van chroomdioxide op het onderliggende chroom blijft het fietsstuur fraai glimmen totdat er scheurtjes in het oppervlak ontstaan, die het fietsstuur snel laten veranderen in een ontoonbaar geheel. Met andere woorden, hoewel aluminium en chroom onedeler zijn dan ijzer, manifesteren zij zich edeler dan ijzer, omdat deze elementen het 'voorrecht' hebben een passende oxidehuid te hebben die het materiaal dusdanig afsluit, dat er geen elektrolyet meer bij het moedermateriaal kan komen.

Aluminium en chroom passiveren zichzelf aan de lucht, terwijl ijzer dit niet doet, omdat nu eenmaal de ijzeroxidehuid door zijn grotere volume porositeit bewerkstelligt, die het mogelijk maakt voor het elektrolyet voortdurend bij het moedermateriaal te komen. Hierdoor roest een ijzeren of stalen voorwerp op den duur door, zodat het uiteindelijk geheel is verdwenen en tot zijn oorspronkelijke vorm (erts) is teruggekeerd.

Ook het bekende vastroesten van een stalen bout is een gevolg van het uitzetten van de oxidehuid. Gelukkig hebben de metaalkundigen iets bedacht om het staal toch van een actieve conditie over te brengen naar een passieve conditie, zodat het roestvast is geworden. Dit hebben zij bereikt door het hoger te gaan legeren met het element chroom.

Als het chroomgehalte in het ijzer 12% tot 13% wordt, dan is de passiviteit zo goed geworden, dat de legering niet zal roesten in gewoon water en lucht. In afbeelding 2 zien we duidelijk de scherpe omslag van een negatieve potentiaal naar een positieve of wel een scherpe omslag van een actief gedrag naar een passief gedrag van het staal.

Dit komt doordat aan het oppervlak van het staal een dun taai oxidehuidje wordt gevormd van chroomdioxide, dat hetzelfde volume heeft als het onderliggende metaal. Daarom wordt het staal perfect afgesloten, zodat er geen elektrolyet meer bij het actieve metaal kan komen. Het is echter zeer belangrijk dat er altijd zuurstof aanwezig is om deze oxidehuid te vormen en in tact te houden. Ook weerstaat het passieve chroomstaal bijvoorbeeld verdund salpeterzuur bij kamertemperatuur, omdat dit zuur oxiderend reageert. De legering is dus roest-

vast geworden dankzij het feit dat er minimaal 12% chroom aanwezig is. Na chroom volgt molybdeen, dat de passiviteit van staal het sterkst laat toenemen. Het zal duidelijk zijn dat de oxidefilm perfect moet zijn, opdat er geen corrosie in poriën kan ontstaan. Deze oxidefilm, die dus uit chroomdioxide bestaat, ontstaat zeer snel op een schoon metallisch oppervlak in de meeste oxiderende milieus en oplossingen zoals bijvoorbeeld (verdund) salpeterzuur. Indien het oppervlak vuil is en/of restanten laslakken of dergelijke substanties bevat, dan wordt ook de vorming van deze oxidefilm aanzienlijk verhinderd en het risico van corrosie neemt snel toe.

Als deze oxidefilm (ook wel huid genoemd) chemisch of mechanisch beschadigd is en de condities zijn zodanig, dat deze huid zich niet kan herstellen (self-healing-effect), dan zal er lokale corrosie ontstaan, terwijl het restant van het oppervlak in tact blijft. In zure reducerende milieus kan het metaal veelal geen beschermende oxidehuid opbouwen omdat zuurstof wordt onttrokken dat hiervoor juist nodig is.

Een aanwezige oxidehuid kan zelfs gaan dissociëren (uiteen vallen), waardoor het metaal zich actief gaat gedragen en daardoor opgelost wordt in dergelijke milieus. De snelheid waarmee dit plaats vindt, kan worden gemeten en uitgedrukt in bijvoorbeeld mm/jaar. Uit deze uiteenzetting blijkt, hoe betrekkelijk het begrip roestvrij is.

### Chroomstaal

Het hoofdelement van roestvaststaal is chroom en de vereiste minimale hoeveelheid is 12%. Dat roestvaststaal corrosie kan weerstaan, komt door een simpele passivatie vanwege dit relatieve hoge chroomgehalte. In het algemeen kan men stellen, dat de corrosieweerstand toeneemt indien het chroomgehalte toeneemt. Ook verkrijgt men vanwege dit chroom een grotere weerstand tegen oxydatie bij hogere temperaturen. Chroom brengt geen wijziging aan in de structuur van zuiver ijzer dat ferritisch is. Men spreekt daarom ook vaak over ferritisch roestvaststaal. De fysische eigenschappen zijn ook nagenoeg identiek aan ferritisch staal. Indien er voldoende koolstof aanwezig is, kunnen de chroomstalen zelfs worden gehard, zoals koolstofstaal waardoor ook de treksterkte toeneemt.

Diverse roestvaststaalsoorten hebben chroom als enig legeringselement, maar de meeste kwaliteiten bevatten ook nog significante hoeveelheden van andere legeringselementen. Het doel van deze toevoegingen is in het algemeen de corrosiebestendigheid te laten toenemen en/of de structuur te laten wijzigen. Incidenteel kan er mee worden beoogd, dat de mechanische sterkte erdoor opgevoerd wordt. Resumerend kan men stellen, dat

het chroomstaal in grove lijnen veel lijkt op gewoon constructiestaal, echter met het grote verschil dat het passief geworden is en zal blijven, indien de corrosiebelasting niet te groot zal worden. Vanwege de beperkte corrosiebestendigheid zijn de toepassingen dan ook vrij beperkt. Naast het gebruik voor eenvoudig keukengerei en huishoudelijke artikelen krijgt het ook een toenemende belangstelling in de carrosseriebouw, omdat de mechanische waarden prima zijn en bovendien is het onderhoudsvriendelijk. In dit verband kan men denken aan het geraamte van de stads- en streekbussen, die de fabrikanten met een steeds langere en gegarandeerde levensduur moeten afleveren. In chemische milieus zal men echter snel de beperkingen ervaren van deze legering en daarom is destijds de zogenaamde 18/9 geïntroduceerd, die naast een nog hoger chroomgehalte ook nikkel toegevoegd heeft gekregen.

### Chroomnikkelstaal 18/8

Zoals eerder is gesteld, neemt de corrosiebestendigheid toe, naarmate het chroomgehalte toeneemt. Bij deze kwaliteit heeft de legering ongeveer 18% chroom en bovendien heeft die zo'n 8% nikkel. Deze legering wordt vaak aangeduid met de term '304' (AISI 304).

Nikkel (Ni) beïnvloedt de structuur en de mechanische eigenschappen van het roestvaststaal. Als het nikkelgehalte hoog genoeg is, dan verkrijgt het roestvaststaal een austenitische structuur. We spreken dan gemakshalve over austenitisch roestvaststaal. Vergeleken met de pure chroomstalen leidt dit tot significante veranderingen van de:

- mechanische eigenschappen
- betere verwerkbaarheid en taaiheid;
- hogere temperatuursterkte;
- verbeterde lasbaarheid;
- fysische eigenschappen, zoals bijvoorbeeld het niet-magnetisch worden.

In sommige milieus wordt de corrosieweerstand door de aanwezigheid van nikkel verhoogd. Het toepassingsgebied van deze legering is uiteraard veel ruimer dan bij het chroomstaal vanwege de unieke en vaak veel betere eigenschappen. Gedacht kan worden aan installaties in de voedsel- en zuivelindustrie en in milde chemische processen.

Zoals al eerder is gesteld, bevordert het element molybdeen de passiviteit van het roestvaststaal en het blijkt, dat er al bij twee procent molybdeen (Mo) een significante verbetering optreedt van de corrosieprestaties van de chroomnikkelstalen. Zo ontstaan de chroomnikkelmolybdeenstalen ook wel '316' genoemd.

### Chroomnikkelmolybdeenstaal

Molybdeen heeft hetzelfde effect op de structuur als chroom en in het algemeen verhoogt het de corrosieweerstand van zowel het ferritische als de austenitische

Tabel 1. Relatie tussen structuur, samenstelling, hardbaarheid en magnetisme van roestvaststaalsoorten

RVS type	%C	%Cr	%Ni	hardbaar	magnetisch
ferritisch	0,08	12-14	--	neen	ja
	0,10	16-19	--	neen	ja
	0,25	24-28	--	neen	ja
martensitisch	0,09	12-14	--	ja	ja
	0,17	16-18	1,25-2,5	ja	ja
ferritisch-austenitisch	0,10	24-27	4,5-7	neen	ja
austenitisch	0,10	16-26	7-26	neen	neen

Tabel 2. Chemische samenstelling van diverse roestvaststaaltypen

AISI type	C% max.	Si% max.	Mn% max.	Cr	Mo	Ni	overige
304	0,08	0,75	2,0	18-20	--	8-11	--
304L	0,03	0,75	2,0	18-20	--	8-13	--
310	0,15	0,75	2,0	24-26	--	19-22	--
316	0,08	0,75	2,0	16-18	2-3	11-14	--
316L	0,03	0,75	2,0	16-18	2-3	10-15	--
316Ti	0,08	0,75	2,0	16-18	2-3	10-14	Ti=5xC
321	0,08	0,75	2,0	17-20	--	9-13	Ti=5xC
410	0,15	1,0	1,0	11,5-13	--	--	--
430	0,12	1,0	1,0	16-18	--	--	--
630	0,04	0,6	0,28	16,0	--	4,25	3Cu,3Cb, 0,27 Ta

Tabel 3. Mechanische eigenschappen van diverse roestvaststaaltypen

AISI type	0,2% rek grens	Treksterkte N/mm <sup>2</sup>	breekrek L=5D %	insnoering	kerfslag arbeid Joule
304	185	500-700	50	60	85
304L	175	450-700	50	60	85
316	205	500-700	45	60	85
316L	195	450-700	45	60	85
321	205	500-750	40	50	85
410	300 of 450*	550-750	20 of 18*	--	85 of 70*
630	1000	1100	1-15	--	--

\*) afhankelijk van de warmtebehandeling.

Tabel 4. Equivalenten van een aantal veel voorkomende roestvaststaaltypen

AISI USA	DIN D.	AFNOR Fr.	JIS JAPAN	SIS ZWEDEN	BS ENGELAND
304	1.4301	Z6CN1809	SUS 304	2332	304 S15
304L	1.4306	Z2CN1810	SUS 304L	2352	304 S12
316	1.4401	Z6CND1711	SUS 316	2347	316 S16
316L	1.4404	Z2CND1712	SUS 316L	2348	316 S12
316Ti	1.4571	Z6CNDT1712	--	2350	320 S17
321	1.4541	Z6CNT1810	SUS 321	2337	321 S31
410	1.4006	Z12C13	SUS 410	2302	410 S21
630	1.4542	Z6CNU1704	SUS 630	--	--

valt, omdat de corrosiebestendigheid in het steeds agressiever wordende zeewater opmerkelijk goed is. Ook de toenemende vraag naar de zogenaamde duplexstructuren (ferritisch/austenitisch) is een niet meer weg te denken ontwikkeling, omdat men hier te maken heeft met een unieke combinatie van relatief hoge mechanische eigenschappen en hoge corrosiebestendigheid.

### Hoofdgroepen

In afhankelijkheid van de structuur kan men het roestvaststaal in vier hoofdgroepen indelen, namelijk:

- ferritisch roestvaststaal;
- martensitisch roestvaststaal;
- austenitisch/ferritisch roestvaststaal;
- austenitisch roestvaststaal.

Bepaalde karakteristieken zoals hardbaarheid en magnetisme staan in een directe relatie met de structuur. Om enig inzicht in de diverse parameters van roestvaststaaltypen te krijgen, wordt verwezen naar tabel 1.

Alvorens wat dieper in te gaan op de diverse corrosie-aspecten en eigenschappen van deze vier hoofdgroepen volgt eerst nog een overzicht van de invloeden van andere mogelijke aanwezige elementen in het roestvaststaal (kader 3).

Voor een overzicht van de chemische samenstelling van veel voorkomende soorten roestvaststaal wordt verwezen naar tabel 2. Alle waarden in de tabellen zijn richtwaarden die redelijk een gemiddelde aangeven van de diverse normeringen die marginaal onderling kunnen verschillen.

De mechanische waarden zijn weergegeven in tabel 3.

De termen zoals AISI 304 en AISI 316 komen voort uit de Amerikaanse norm. In vele geïndustrialiseerde landen heeft men zijn eigen normering; zo kent Duitsland de zogenaamde Werkstoffnummers die ook veel in ons land worden gebruikt. Teneinde meer duidelijkheid te verschaffen over al die typen kan men in tabel 4 de aanduidingen zien van de diverse equivalenten. Ook hier geldt, dat de typen in grove lijnen met elkaar in overeenstemming komen. Deze grove overeenstemming leidt in de praktijk meestal wel tot volwaardige uitwisselbaarheid.

Zoals uit de tabellen blijkt, wordt er naast 304 en 316 ook gesproken over 304L en 316L waar ten onrechte van gezegd wordt, dat de L slaat op laskwaliteit. Dit is een groot misverstand, omdat het slechts te maken heeft met het lagere koolstofgehalte (low carbon) zoals uit tabel 2 blijkt. De reden dat deze gemodificeerde kwaliteiten zijn ontwikkeld, wordt in deel 2 verklaard. □ MK

### Literatuur

Ing. N.W. Buijs: Het corrosiegedrag van roestvaststaal, Roestvaststaal nr. 4, 5 en 6 (1989)

Roestvaststaal kenmerken en eigenschappen (2) verschijnt in MK3.

## Invloedselementen

kader 3

### Invloeden van mogelijke aanwezige elementen in roestvaststaal:

- **Stikstof (N):** Stikstof doet de sterkte van de austenitische roestvaststalen toenemen en beïnvloedt de structuur op dezelfde wijze zoals nikkel dat doet. In een zekere mate kan het zelfs nikkel vervangen mits de structuur austenitisch is.
- **Koper (Cu):** Koper verbetert de corrosiebestendigheid in bepaalde zuren. Soms kan toevoeging van koper leiden om tot precipitatieharding te komen.
- **Titaan (Ti) en Niobium (Nb):** Deze elementen stabiliseren de roestvaststalen omdat zij het koolstof binden waardoor het risico tot interkristallijne corrosie sterk afneemt. De affiniteit van koolstof t.o.v. titaan is groter dan die t.o.v. chroom, waardoor de kans gering is dat er ongewenste chroomcarbiden worden gevormd die zich in de regel altijd afzetten op de korrelgrenzen, hetgeen tot interkristallijne corrosie kan leiden. Titaan- en niobiumcarbiden zullen zich zeer dispers verdelen over de matrix waardoor de kans op interkristallijne corrosie te verwaarlozen is.
- **Mangaan (Mn):** Mangaan bevordert de vervormingseigenschappen van het roestvaststaal bij hoge temperaturen en bovendien worden de mechanische eigenschappen verbeterd. Mangaan is een austenietvormer en kan daarom ook als vervanger van nikkel fungeren, zoals dat het geval is bij de AISI200 roestvaststalen.
- **Fosfor (P) en zwavel (S):** Fosfor en zwavel zijn in principe altijd ongewenste elementen en zullen door hun verontreinigende werking altijd gemeden moeten worden.

roestvaststalen. In sommige landen worden dergelijke molybdeenhoudende roestvaststalen (AISI 316) 'zuur-vrij' genoemd, omdat deze kwaliteiten zo'n opmerkelijke corrosieweerstand bieden tegen agressieve waterige zwavelverbindingen. Overigens dient men de term 'zuurvrij' te mijden binnen de roestvaststaalterminologie. Dit type is in het algemeen

goed te gebruiken in vele chemische processen en in zeewatertoepassingen. Er is de laatste jaren een tendens om het molybdeengehalte nog verder te laten stijgen, zodat er superroestvaststaaltypen ontstaan zoals 245SMO. In dit artikel krijgen die geen aandacht, omdat dit te ver zou voeren. Het is echter wel een ontwikkeling die niet weg te cijferen