


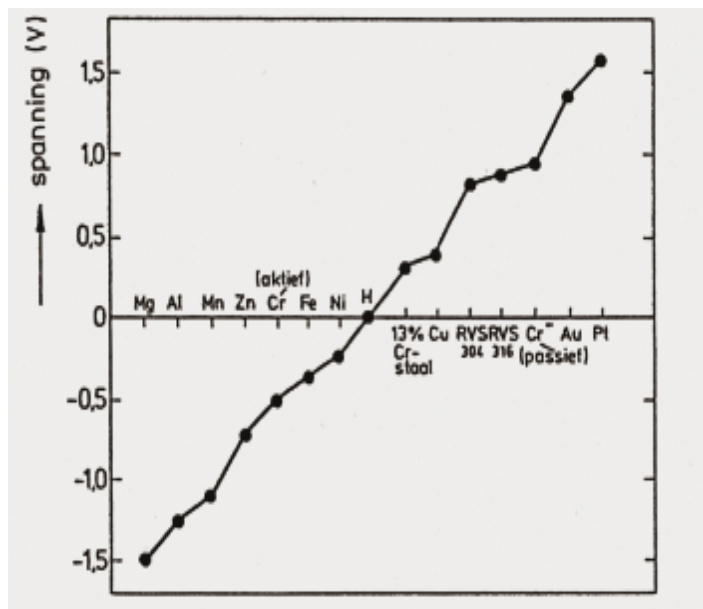
INFOFICHES ROESTVAST STAAL [DEEL 1]

HISTORIEK EN HOOFDGROEPEN

In de reeks infofiches Roestvast Staal (rvs) zullen een aantal basisprincipes en specifieke aspecten behandeld worden. Het is de bedoeling dat de 'leek' basisinfo kan vinden en dat personen die vertrouwd zijn met de materie beschikken over een praktijkgerichte infobrochure.

Deel 1 zal de geschiedenis van het ontstaan van de materialen behandelen. Er zal tevens kort worden ingegaan op de vraag: "Waarom is roestvast staal roestvast?" Daarnaast zullen de diverse hoofdgroepen worden besproken.

 Ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, FWeldl, Onderzoekscentrum van het BIL, Technologische Adviseerdienst, Dienst gesubsidieerd door IWT;
Ir. Wim Van Haver, Onderzoekscentrum van het BIL



Figuur 1: de potentiaalwaarden van een aantal elementen in de spanningsreeks

REEKS INFOFICHES

Deel 2

In deel 2 zal de indeling van de rvs-types worden behandeld en worden tabellen gegeven met de richtanalyse van de meest gebruikte types. Tevens zullen er vergelijkende tabellen worden gegeven met de Europese indeling en met de Amerikaanse (AISI). Alhoewel rvs een zeer goede weerstand heeft tegen corrosie, kan bij foutief gebruik, of onder speciale omstandigheden, toch corrosie optreden.

Deel 3

De verschillende types corrosie zullen in deel 3 worden besproken. Tevens zal een opsomming worden gegeven van een aantal 'gevaarlijke' metallografische structuren welke kunnen ontstaan onder bepaalde gebruiksomstandigheden.

Deel 4

Deel 4 behandelt dan de keuze van het toevoegmateriaal voor het lassen van de diverse types, ook de "zwart-wit" verbindingen worden niet vergeten, met de

bespreking en praktische toepassing van het Schaeffler-De Long-diagramma.

Het lassen van de meest gebruikte types wordt kort besproken, zonder al te veel in detail te treden. Tevens zullen tabellen worden gegeven met de samenstelling van de lastoevoegmaterialen.

Deel 5 en 6

Deel 5 en 6 gaan in op de courant gebruikte lasprocessen voor deze materialen, namelijk TIG- en MIG- (MAG-) lassen, het

lassen met beklede elektroden en plasmalassen.

Deel 7

Deel 7 zal gaan over de oppervlaktebehandelingen van roestvast staal.

Deel 8

Deel 8 beschrijft dan kort de thermische behandelingen.

Deel 9 en 10

En ten slotte worden in deel 9 en 10 diverse praktijkvoorbeelden behandeld waar het fout ging...

Ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, FWeldl, Onderzoekscentrum van het BIL, Technologische Adviseerdienst:
"Het is de bedoeling dat de 'leek' basisinfo kan vinden en dat personen die vertrouwd zijn met de materie beschikken over een praktijkgerichte infobrochure"



TABEL 1 - ENKELE TOEPASSINGEN VAN ROESTVAST STAAL

AISI-AANDUIDING	WERKSTOFNR.	EIGENSCHAP	TOEPASSINGSGBIED
AISI 200 serie		Austenitische Cr-, Ni-, Mn-legeringen	
AISI 300 serie		Austenitische Cr-, Ni-legeringen	
AISI 302	1.4310	Dieptrekken	Decoratie, keuken
AISI 303	1.4305	18/8 automatenstaal	Draaien, frezen
AISI 304	1.4301	Meest gebruikte 18/8-staal	Voeding, chemische industrie
AISI 304L	1.4306	Ongevoelig voor interkristallijne corrosie	Laskwaliteit
AISI 305	1.4303	Hoger Ni, dieptrekken	Potten, pannen, bestek
AISI 308	1.4315	Hoger Cr en Ni, i.v.m. met afbrand	Toevoegmateriaal Voor AISI 304
AISI 309	1.4828	Hittevast	Ovens, branders
AISI 310S	1.4845	Hittevast	Ovens, branders
AISI 316	1.4401	Na 18/8 meest gebruikt	Voeding, chemische industrie
AISI 316L	1.4403 / 1.4435	Ongevoelig voor interkristallijne corrosie	Laskwaliteit
AISI 316Ti	1.4571	Ongevoelig voor interkristallijne corrosie	Speciaal boven 400 °C
AISI 321	1.4541	Ongevoelig voor interkristallijne corrosie	Ook boven 400 °C
AISI 347	1.4550	Ongevoelig voor interkristallijne corrosie	Ook boven 400 °C
AISI 400 serie		Ferritische en martensitische chroomstalen	
AISI 409	1.4512	Goedkoop, hittebestendig, goede corrosieweerstand,	Dempers, automobiel
AISI 410	1.4006	Martensitisch	Hoge sterkte
AISI 420	1.4021	Martensitisch	Messenkwaliteit
AISI 430	1.4016	Decoratief	Automobielinindustrie
AISI 440	1.4112	Martensitisch, meer C	Scheermeskwiliteit

HISTORIEK

"Roestvast staal" is voor de leek een eenvoudig begrip. Dit is het materiaal dat niet stuk kan, nooit roest en tegen elke vorm van corrosie bestand is. Was het maar zo eenvoudig! Voor de ingewijde is het een zeer gecompliceerd onderwerp. Jaarlijks gaan enorme hoeveelheden staal verloren door corrosie. Om hier wat aan te doen werden verschillende types legeringen ontwikkeld die aan de (buiten-)lucht, of in een corrosief milieu of bij hoge temperatuur corrosievast zijn. Enkele belangrijke groepen van deze legeringen zijn de roestvaste chroom- en chroomnikkel staalsoorten. Deze kunnen eventueel nog gelegeerd zijn met andere legeringselementen om de eigenschappen, onder specifieke gebruiksomstandigheden, nog te verbeteren. Het is u misschien al opgevallen dat de term 'roestvast' en niet 'roestvrij' wordt gebruikt. Elk staal kan 'roestvrij' worden gemaakt, ontdaan van roest. Het materiaal is daarom dan nog niet 'roestvast', dit wil zeggen roest- of corrosiebestendig. Veelal wordt de foutieve terminologie gebruikt alhoewel men hetzelfde bedoelt. Uit de praktijk weten we dat deze staalsoorten onder bepaalde omstandigheden toch kunnen roesten. Een andere eigenschap van deze legeringen is dat ze tot een bepaalde temperatuur oxidatievast zijn. Een beschermende oxidehuid wordt gevormd die het onderliggende metaal tegen verdere oxidatie/aantasting beschermt. Ook hier kunnen bepaalde

toevoegingen van andere legeringselementen deze oxidatieweerstand verhogen. Het beschrijven van de hele geschiedenis van het ontstaan van deze roestvaste legeringen zou ons te ver leiden. Daarom hierna een zeer kort overzicht. Het begon in 1797 toen Vauquelin het element chroom kon isoleren/vrijmaken. De eerste publicaties van ijzerchroomlegeringen dateren uit 1820. Het duurde tot 1912 voor men de structuur, mechanische en de chemische eigenschappen kende. Pas na de Eerste Wereldoorlog, dus na 1918, werden deze materialen verder ontwikkeld om ze op industriële schaal te kunnen toepassen. Mede als gevolg van de nieuwe productiemethoden en de nieuwe toepassingsgebieden zijn in de loop van de tijd een zeer groot aantal typen ontstaan en het onderzoek gaat nog steeds verder.

WAAROM IS ROESTVAST STAAL 'ROESTVAST' ?

Of roestvast staal inderdaad bestand is tegen roesten blijkt uit de praktijk af te hangen van de gebruiksomstandigheden. De definitie is, in zijn eenvoudigste vorm: "Roestvast staal is een legering van ijzer met andere elementen, die een grote bestendigheid bezit tegen corrosie", of "Roest- en hittevaste staalsoorten zijn legeringen van ijzer met chroom en andere

elementen die een relatief grote bestendigheid bezitten tegen corrosie en/of oxidatie." Roestvast staal is roestvast omdat zich aan het oppervlak een dunne, maar gesloten oxidehuid heeft gevormd. Door dit beschermende laagje wordt het oxidatieproces, het 'roesten', zo sterk vertraagd dat we kunnen spreken van een roestvast materiaal. Bij 'gewoon' staal kan roesten/corrodieren wél optreden, omdat de oxidehuid ervan poreus is. De corrosiebestendigheid van roestvast staal is niet beperkt tot

ELEMENTEN DIE DE VORMING VAN EEN GESLOTEN OXIDEHUID BEVORDEREN ZIJN ONDER ANDERE: CHROOM, MOLYBDEEN, KOPER, ALUMINIUM, SILICIUM EN KOBALT

omstandigheden waarbij water een rol speelt. Ook in andere zogenaamde agressieve milieus, zoals die voorkomen in de petrochemische industrie, zijn deze materialen corrosiebestendig. Roestvast staal wordt dan ook toegepast

waar om technische, esthetische of gezondheidsredenen (of een combinatie daarvan) corrosie niet toelaatbaar is. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de voedingsindustrie, brouwerijen, keukeninrichtingen, medische apparatuur enz. (Tabel 1 geeft een overzicht van toepassingen waar roestvast staal wordt ingezet.) Elementen die de vorming van een gesloten oxidehuid bevorderen zijn onder andere: chroom, molybdeen, koper, aluminium, silicium en kobalt. Voegen we bijvoorbeeld aan gewoon koolstofstaal 1 à 2% koper toe (eventueel aangevuld met 0,1 à 0,2% fosfor) dan verbetert de corrosiebestendigheid onder

atmosferische omstandigheden reeds behoorlijk, dit zijn de zogenaamde 'Cor-Ten' of 'weathering steels'. Voor chemische toepassingen voldoet dit echter niet en wordt er chroom toegevoegd, eventueel gecombineerd met nikkel, molybdeen en soms aluminium. Aluminium, chroom en silicium zijn zeer effectief als het gaat om zuivere oxidatieweerstand aan de lucht en dan vooral bij hogere temperaturen.

Chroom als legeringselement levert de beste corrosievastheid op. Dit is te danken aan de plaats van dit element in de elektrochemische spanningsreeks (zie figuur 1). De reeks loopt van elektropositief, en zeer edel, naar elektronegatief en onedel. In actieve toestand heeft chroom een negatieve potentiaal (-0,56 V), ijzer is in deze toestand edeler (-0,44 V) met een minder negatieve potentiaal. De chroomoxidehuid op het oppervlak van roestvast staal bezit een positieve potentiaal van +0,8 V, chroom is in deze toestand passief. De genoemde waarden gelden tegenover de zogenaamde standaard-waterstofpotentiaal van 0 Volt. Het chroomgehalte en de aanwezigheid van andere elementen beïnvloeden deze waarde.

Figuur 1 geeft de potentiaalwaarden van een aantal elementen in de spanningsreeks. Roestvast staal heeft een chroomgehalte van 12 tot +/- 30%. Bij een laag chroomgehalte (12-14%) is tevens de oppervlaktestgesteldheid van invloed op de corrosieweerstand.

TABEL 2 - FYSISCHE EIGENSCHAPPEN

Aanduiding		Re 0,2 0,2% rekgrens MPa	Re _m treksterkte MPa	A Rek %	Hardheid HRB	Gem. uitzettings- coëfficiënt bij 20 °C 10 ⁻⁶ K ⁻¹ 20 - 400 °C
EN	AISI / ASTM					
Austenitisch roestvast staal						
1.4301	304	210 - 230	520 - 720	45	80	17,5
1.4306	304L	200 - 220	500 - 670	45	79	18,0
1.4436	316	220	530 - 730	40	-	17,5
1.4404	316L	220 - 240	520 - 680	45 - 40	79	17,5
1.4541	321	200 - 220	500 - 720	40	80	17,5
1.4450	347	200 - 220	500 - 720	40	85	17,5
Ferritisch roestvast staal						
1.4512	409	220 - 280	380 - 560	25	75	11,6
1.4016	430	260 - 280	430 - 630	20 - 18	85	10,5
1.4749	446	380	550 - 585	15 - 13	83 - 84	11,0
Martensitisch roestvast staal						
1.4006	410	205 - 450	550 - 850	20 - 12	90	12
Duplex roestvast staal						
1.4462		460 - 480	640 - 950	25 - 20	31	14
Precipitatiehardend roestvast staal						
1.4542	630	600 - 1150	850 - 1300	12 - 8	-	11,6
Staal						
S235JR		235	340 - 470	24 - 26		12,0
S355JR		355	490 - 630	20 - 22	-	12,0

HOOFDGROEPEN

Om de corrosievastheid en de mechanische eigenschappen te verbeteren worden naast chroom nog andere legeringselementen toegevoegd, zoals nikkel, molybdeen, titaan, koper, niobium (wordt soms ook columbium genoemd), stikstof enz. Afhankelijk van de manier van legeren en de hoeveelheid legeringselementen kunnen verschillende structuurfases ontstaan, en dit soms zelfs naast elkaar. Zo bestaat er roestvast staal met ferritische, martensitische, austenitische of ferritisch-austenitische structuur (zie figuur 2).

In de meeste normen die op dit gebied bestaan is er dan ook een indeling volgens deze vier hoofdgroepen van roestvast staal:

- ferritisch chroomstaal,
- martensitisch chroomstaal,
- ferritisch/austenitisch chroomnikkelstaal ook wel "duplex" staal genoemd,
- austenitisch chroomnikkelstaal,

Eigenlijk bestaan er vijf hoofdgroepen *rvs*. Doorgaans worden de precipitatiehardende *rvs* ook als een aparte categorie beschouwd.

Alhoewel deze staalsoorten in de "dagelijkse" praktijk minder worden toegepast zal hier toch ook worden op ingegaan.

Deze hoofdgroepen onderscheiden zich van elkaar op metallurgisch vlak en zijn fysisch en mechanisch duidelijk verschillend.

Dit is vooral van belang bij de beoordeling van de lasbaarheid. Hierop zal later worden ingegaan.

EIGENSCHAPPEN

De fysische en mechanische eigenschappen van roestvast staal verschillen sterk van deze van ongelegeerd staal. Maar ook als men kijkt naar de hoofdgroepen van *rvs* dan zijn de eigenschappen sterk verschillend. Deze verschillen zijn toe te schrijven aan de structuur van het metaalrooster. Ferritisch chroomstaal heeft een kubisch ruimtelijk gecenterd rooster (dat de inspiratiebron vormde voor het ontwerp van het Atomium te Brussel).

Martensitisch chroomstaal daarentegen heeft een vervormd ferritisch rooster met koolstof in oververzadigde vaste oplossing. Een austenitische structuur daarentegen heeft een zogenaamd kubisch vlakken gecenterd rooster. De kenmerken van de verschillende hoofdgroepen worden hierna afzonderlijk behandeld.

In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de verschillende fysische eigenschappen van een

aantal van de hoofdgroepen. Als referentie zijn tevens de eigenschappen van ongelegeerd koolstofstaal opgenomen.

Ferritisch chroomstaal

Deze staalsoorten bevatten 12 tot 28% chroom (Cr). Het koolstofgehalte is gewoonlijk lager dan 0,15%.

Ferritisch chroomstaal is magnetiseerbaar en in het algemeen niet hardbaar. Hieruit blijkt onder andere dat deze stalen een relatief laag warmtegeleidingsvermogen hebben, vergeleken met dat van ongelegeerd staal.

Een belangrijke eigenschap van ferritisch chroomstaal is dat de structuur bij het opwarmen tot aan het smeltpunt gelijk blijft.

Daardoor zal de korrelgroei, die bij hoge temperaturen kan zijn opgetreden (zoals bijvoorbeeld door lassen), niet verdwijnen door een thermische behandeling. Zoals bekend bevordert korrelgroei de brosheid van een metaal.

We moeten hier dan ook zeker rekening mee houden bij het lassen van ferritisch chroomstaal. Toevoeging van bepaalde legeringselementen zoals nikkel, titaan, vanadium en stikstof vermindert enigszins deze gevoeligheid voor korrelgroei. Wanneer ferritisch chroomstaal langdurig wordt gegloeid tussen 600 en 850 °C kan zich een nieuwe fase vormen aan de korrelgrenzen, de zogenaamde sigma-fase.

Het gaat hier om een intermetallische ijzer-chroomverbinding die bij kamertemperatuur zeer hard en bros is en dus resulteert in lage kerfslagwaarden. Hoe hoger het chroomgehalte, hoe gevoeliger het materiaal is voor het ontstaan van deze fase.

Er is dan nog een fenomeen dat bij ferritisch chroomstaal kan leiden tot een verlaagde ductiliteit (verlaagde kerfslagwaarde, kerftaaiheid). Dit is de 475 °C brosheid die veroorzaakt wordt door het uitscheiden van een chroomrijke fase.

Een andere eigenschap van ferritisch chroomstaal is dat het (afhankelijk van chemische samenstelling en korrelgrootte van het materiaal) bij lage temperatuur (beneden de 0 °C), bros kan zijn. Daarom zal men het materiaal dan ook licht voorwarmen bij het lassen (100-200 °C).

Door de beperkte lasbaarheid wordt ferritisch chroomstaal niet zoveel toegepast als constructiemateriaal in de

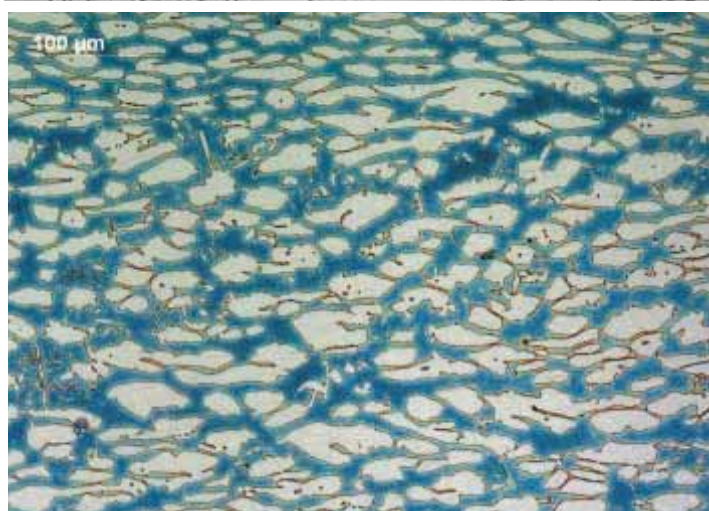
Figuur 2 (van boven naar onder):

Ferritisch chroomstaal

Martensitisch chroomstaal

Austenitisch chroomnikkelstaal

Ferritisch-austenitisch chroomnikkelstaal



chemische industrie.

Martensitisch chroomstaal

Deze bevatten in de regel 12 tot 18% Cr en geen nikkel, maar wel een relatief hoog koolstofgehalte. Martensitisch chroomstaal lijkt, metallografisch gezien, sterk op gehard koolstofstaal. Omdat het koolstofgehalte relatief hoog is zijn martensitische chroomstalen, dit in tegenstelling tot de ferritische chroomstalen, wel hardbaar. Martensitische chroomstalen komen in lasconstructies vrijwel niet voor. Ze worden wel veel toegepast voor de fabricage van messen, medische instrumenten, turbineonderdelen, matrijzen en dergelijke. Met andere woorden: meestal daar waar naast corrosievastheid ook slijtvastheid wordt verlangd.

Ferritisch-austenitisch chroomnikkelstaal

Deze staalsoorten, en dan vooral de 'duplex'-soorten, kennen een grote belangstelling door hun relatief geringe gevoeligheid voor spannings- en putcorrosie ('pitting'). De ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten zijn magnetiseerbaar maar niet hardbaar.

Ze bevatten als hoofdlegerings-elementen chroom (18-28%) en nikkel (4-10%). Verder wordt 1,5-3% molybdeen toegevoegd. De naam 'duplex' is te danken aan de structuur welke ongeveer 50% austeniet en 50% ferriet bevat. Dankzij de moderne/speciale smelttechnieken werd het mogelijk deze staalsoorten economisch te vervaardigen. Ze onderscheiden zich van andere/conventionele rvs door een combinatie van factoren zoals de verhoogde rekgrens en een verhoogde weerstand tegen corrosie. Deze staalsoorten zijn ook gevoelig aan 475°C-brosheid en, in mindere mate dan de ferritische (rvs) staalsoorten, gevoelig voor



De definitie is, in zijn eenvoudigste vorm: "Roestvast staal is een legering van ijzer met andere elementen, die een grote bestendigheid bezit tegen corrosie", of "Roest- en hittevaste staalsoorten zijn legeringen van ijzer met chroom en andere elementen die een relatief grote bestendigheid bezitten tegen corrosie en/of oxidatie"

korrelgroei. Voorwarmen van deze materialen vóór het lassen is meestal niet nodig; het is wel aan te bevelen om de interpas-temperatuur tijdens het lassen te beperken tot zo'n 150-180 °C. Sigmafasevorming kan ontstaan bij langdurige verhitting tussen 600 tot 850 °C.

Austenitisch chroomnikkelstaal

Om tot deze groep te behoren moet de som van het chroom- en nikkelgehalte minstens 26% bedragen. De bekende 18/8 en 18/10-typen behoren tot deze hoofdgroep. Het C-gehalte bedraagt maximum 0,08% of 0,03% (L-kwaliteit). Austenitisch chroomnikkelstaal is niet magnetiseerbaar en bezit een homogene microstructuur. Deze maakt het materiaal taai, zacht en vervormbaar. De

mechanische eigenschappen zijn goed, ook bij zeer lage temperatuur (tot -196 °C).

Koudvervorming doen treksterkte

en hardheid van het materiaal toenemen, maar dan nemen rek, insnoering en taaiheid van het materiaal af.

In het algemeen zijn de austenitische chroomnikkelstaal-soorten goed lasbaar. Ze zijn niet hardbaar en niet (erg) gevoelig voor korrelgroei, maar wel gevoelig voor

warmscheuren van het lasmetaal (vooral wanneer de chroom-nikkel verhouding kleiner is dan of gelijk aan 1,8). Deze warscheurgevoeligheid neemt af wanneer in het stollend materiaal een bepaald percentage ferriet aanwezig is. Bij verdere afkoeling wordt dit voor het overgrote deel omgezet in austeniet. In de praktijk streeft men naar een restferrietgehalte (het zgn. delta-

**IN HET ALGEMEEN
ZIJN DE
AUSTENITISCHE
CHROOMNIKKELSTAAL-
SOORTEN GOED
LASBAAR, NIET
HARDBAAR EN NIET
(ERG) GEVOELIG
VOOR KORRELGROEI**

ferriet) van 3-10%.

De rekgrens van austenitisch roestvaststaal ligt relatief laag, en dit met een treksterkte die hoger ligt dan deze van ongelegeerd staal.

Toevoeging van stikstof zal de rekgrens doen toenemen.

Verder moeten we nog vermelden dat deze staalsoorten een hoge uitzettingscoëfficiënt hebben, een laag warmtegeleidingsvermogen en een hoge elektrische weerstand (zie tabel 2).

Precipitatiehardend chroomnikkelstaal

Dit buitenbeentje uit de groep van de roestvaste stalen biedt een compromis tussen de sterkte en hardheid van de martensitische rvs, en de corrosie-eigenschappen van de austenitische rvs.

Naast chroom (doorgaans ongeveer 17%) en nikkel worden elementen zoals koper, aluminium, titaan, niobium en molybdeen toegevoegd om precipitatieharding in de martensitische of austenitische matrix mogelijk te maken. Een warmtebehandeling op relatief lage temperatuur, voorafgegaan door koudvervorming, heeft een zeer aanzienlijke verhoging van sterkte en hardheid, alsook een hogere corrosieweerstand tot gevolg. Deze stalen kunnen zowel magnetiseerbaar als niet-magnetiseerbaar zijn, afhankelijk van hun chemische samenstelling. De lasbaarheid van deze staalsoorten is vergelijkbaar met deze van austenitisch chroomnikkelstaal.

Er wordt aangeraden om de precipitatieharding pas na het lassen toe te passen, aangezien anders een aanzienlijke daling van hardheid, sterkte en corrosieweerstand optreedt door de ingebrachte warmte. Aangezien dit niet altijd mogelijk is, worden deze stalen meestal niet gelast. □

De corrosiebestendigheid van roestvast staal is niet beperkt tot omstandigheden waarbij water een rol speelt. Ook in andere zogenaamde agressieve milieus, zoals die voorkomen in de petrochemische industrie, zijn deze materialen corrosiebestendig.



BIBLIOGRAFIE

1. Roestvaststaal lassen, Van voorbereiding tot nabewerking; Smitweld bv, Nijmegen (1986)
2. Lassen van roest- en hittevast staal, vm42, FME – NIL
3. The professional's Advisor on: Welding of Stainless Steels, AWS (American Welding Society - 1999)
4. Welding Handbook, Volume Four, Seventh Edition; Metals and their weldability, Chapter 2, Stainless Steels pp. 76-147 (AWS 1982)
5. Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 6: Welding, Brazing and Soldering (ASM – American Society for Metals, 1983)
6. Stahlschlüssel (Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH & Co. 2004).
7. Roestvast Staalgids 2006 pp. 30-35.