



Technische informatie – Roestvast staaltypen

Eigenschappen van enkele veelvoorkomende roestvast staaltypen.

In dit artikel wordt aandacht geschonken aan enkele veelvoorkomende austenitische en duplex roestvast staal typen. Er zal kort worden ingegaan op hun kenmerkende eigenschappen en karakteristieken. In de volgende artikelen zullen een aantal ferritische en precipitatie hardende roestvast staaltypen worden behandeld.

Austenitische staaltypen

1. Algemene classificatie

Tabel 1 geeft een overzicht van samenstellingen en mechanische eigenschappen van een aantal austenitische roestvast staaltypen. Het basistype van deze austenitische soort is 302, beter bekend onder de aanduiding 18-8, een naam die vaak ook aan andere typen van deze soort wordt gegeven. Rondom dit basistype zijn er andere gegroepeerd, waarvan de specifieke toepassingen zijn verkregen door een aangepaste samenstelling.

Tabel 1 Nominale samenstelling en mechanische eigenschappen van austenitisch roestvast staal

Type	Nominale samenstelling (a) %	Toestand (b,c)	Rekgrens Mpa	Treksterkte	Rek 13in 50 mm %	Brinell hardheid HB	Rockwell hardheid HR	Izod-kerfslag (g) J
AISI 301 1.4310 x10CrNi18-8	max. 0,15C; 16-19,5Cr; 6,0-9,5Ni	zachtgegloeid	275	760	60	165	B85	135
		koudbewerkt	tot 1035	tot 1275	60-8	-	tot C41	-
AISI 302	max. 0,15C; 17-19Cr; 8-10Ni	zachtgegloeid	275	620	55	155	B82	135
		koudbewerkt	tot 1035	tot 1240	55-10	-	tot C35	-
AISI 303 (d)	max. 0,15C; 17-19Cr; 8,0-10,0Ni; 0,60Mo (op aanvraag)	zachtgegloeid	240	620	55	160	B84	115
		koudbewerkt	tot 690	tot 1240	55-30	tot 350	tot C35	-
AISI 304 1.4301 X5CrNi18-10 (e)	max. 0,07C; 18-20Cr; 8-12Ni	zachtgegloeid	240	585	55	150	B80	135
		koudbewerkt	tot 1035	tot 1240	55-10	tot 330	tot C35	-
AISI 305 1.4303 X4CrNi18-12	max. 0,12C; 17-19Cr; 10-13Ni	zachtgegloeid	255	585	55	156	B82	135
AISI 308	max. 0,08C; 19-21Cr; 10-12Ni	zachtgegloeid	240	585	55	150	B80	135
		koudbewerkt	tot 1035	tot 1240	55-10	tot 330	tot C35	-
AISI 309 (f)	max. 0,20C; 22-24Cr; 12-15Ni	zachtgegloeid	275	620	65	165	B85	135
AISI 310 (f)	max. 0,25C; 24-26Cr; 19-22Ni	zachtgegloeid	275	655	65	170	B87	135
AISI 314	max. 0,25C; 23-26Cr; 19-22Ni	zachtgegloeid	345	690	40	180	B90	120
		koudbewerkt	tot 860	tot 1035	40-10	-	tot C30	-
AISI 316 1.4401 X5CrNiMo 17-12-2; (e)	max. 0,08C; 16-18Cr; 10-14Ni; 2,0-3,0Mo	zachtgegloeid	240	585	55	150	B80	120
		koudbewerkt	tot 860	tot 1035	55-10	tot 300	tot C30	-
AISI 317 (e)	max. 0,08C; 18-20Cr; 11-15Ni; 3,0-4,0Mo	zachtgegloeid	275	620	55	160	B85	120
AISI 321 1.4541 X6CrNiTi18-10	max. 0,08C; 17-19Cr; 9-12Ni; Ti= min.5xC	zachtgegloeid	240	600	55	150	B80	120
		koudbewerkt	tot 860	tot 1035	55-10	tot 300	tot C30	-
AISI 347	max. 0,08C; 17-19Cr; 9-13Ni; Nb+Ta= min.10xC	zachtgegloeid	240	634	50	160	B84	120
		koudbewerkt	tot 860	tot 1035	50-10	tot 300	tot C30	-

**Noot bij tabel:**

- a) Tenzij anders vermeld geven enkele getallen een maximum waarde.
- b) Eigenschappen in de koudbewerkte toestand zijn voor ongeveer ½ harde dunne plaat, behalve voor 303, waarvoor de eigenschappen zijn ontleend aan koud getrokken stof.
- c) Austenitisch roestvast staal wordt zachtgegloeid tussen 1010 en 1120°C.
- d) 303 Se heeft overeenkomstige eigenschappen; het S-gehalte is beperkt tot max. 0,06% en er is 0,15% min. Selenium nodig.
- e) Deze legeringen zijn leverbaar in extra-laag koolstof (L-typen) met een max. koolstofgehalte van 0,03%; rekgrens en treksterkte zijn iets lager. Tevens leverbaar met 0,10-0,16N (N-typen); rekgrens, treksterkte en hardheid zijn iets hoger, rek is iets lager.
- f) Het koolstof gehalte van 309 S en 310 S is beperkt tot max. 0,08%; rekgrens en treksterkte zijn lager.
- g) Bij kamertemperatuur

Dus, als een algemene classificatie van het austenitische roestvast staal hebben we het volgende:

- a) Basis 18-8 roestvast staal, 302 en 304 (1.4301 resp. X5CrNi18-10);
- b) Onstabiel roestvast staal met een hoge mate van deformatatieharding, 301 (1.4310 resp. X10CrNi18-8);
- c) Typen met een hoger nikkelgehalte om de deformatie-hardingsneiging te verlagen en de dieptrekeigenschappen te verbeteren, 305 (1.4303 resp. X4CrNi18-12);
- d) De hoog corrosievaste molybdeenhoudende typen 316 (1.4401 resp. X5CrNi17-12-2) en 317;
- e) Gestabiliseerde typen, 321 (1.4541 resp. X6CrNiTi18-10) en 347;
- f) De extra laag-koolstofhoudende typen 304L en 316L;
- g) De laselektrodetypen, 308 en 309;
- h) De oxidatievaste typen 308, 309 (1.4833 resp. X18CrNi23-13), 310 (1.4845 resp. X8CrNi25-21), 314 en 302B;
- i) De verspaanbare variant, 303.

Kerfslagtaaiheden worden niet per type opgegeven omdat er veilig mag worden aangenomen dat de kerfslagtaaiheid van austenitisch roestvast staal in haar geheel hoog is bij alle temperaturen, die zo laag kunnen zijn als die van vloeibaar stikstof (en waarschijnlijk nog lager), zolang het staal geen koude deformatie heeft ondergaan, waarbij wat martensiet is gevormd, want dan moet rekening worden gehouden met een lagere kerfslagtaaiheid. Zonder deze restrictie worden gewoonlijk Izod-kerfslagwaarden van rond de 135J bij temperaturen van -195°C (vloeibare stikstof). Gegevens bij nog lagere temperaturen zijn schaars, maar degene die beschikbaar zijn vertonen eveneens goede kerfslageigenschappen.

2. Basis 18-8; AISI 302 en 304

Deze staaltypen en met name type 304 vertegenwoordigen meer dan de helft van de totale roestvaststaalproductie. Type 304 is het werkpaard onder het roestvast staal: het wordt toegepast voor alledaags gebruik zoals huishoudelijke apparaten, architectuur, algemene doeleinden, maar ook voor hoogwaardig gebruik zoals voor kernreactoren en cryogene apparaten. Naast goede corrosie-eigenschappen bieden deze staaltypen een uitstekende vervormbaarheid alsmede zeer goede lasbaarheid. Het type 304, waarvoor de AISI-specificatie een koolstofgehalte opgeeft van maximaal 0,08% wordt vandaag de dag met veel lager koolstofgehalte geproduceerd, ongeveer 0,04%, omdat het AOD-smeltproces ontkoling makkelijker maakt. Lassen van dunwandig materiaal zal dan niet resulteren in sensitisering bij dit koolstofniveau.

Deze typen worden bij tijd en wijle gebruikt in de deformatiegeharde toestand. De temperatuur waarbij de koude deformatie wordt gegeven beïnvloedt in aanzienlijke mate de mechanische eigenschappen, aangezien er wat martensiet zal worden gevormd als de temperatuur wat wordt verlaagd. Koud deformerend bij temperaturen onder nul produceert een interessante en bruikbare combinatie van sterkte en taaiheid.

3 Hoger nikkelhoudend staal: AISI 305

Het hogere nikkelgehalte van dit staaltypen (10 tot 13%) stabiliseert de austeniet, waardoor martensietvorming wordt verhinderd. De resulterende geringe mate van deformatieharding is nodig bij intensieve vervormingsbewerkingen waaronder trekken en dieptrekken. Typische toepassingen zijn vulpenhouders, complexe vaten en koud gestuikte bevestigingsmiddelen.

4 Hoog corrosievaste typen: AISI 316 en 317

Deze staaltypen bevatten respectievelijk 2 tot 3% en 3 tot 4% molybdeen. Molybdeen verhoogt de corrosiebestendigheid in reducerende media alsmede de weerstand tegen spleetcorrosie en putcorrosie in chlorideoplossing. Aangezien molybdeen een krachtige ferrietbevorderaar is, moet het nikkelgehalte worden verhoogd om de vorming van (delta)ferriet te verhinderen. Een bijkomend gunstig effect van molybdeen is de verbeterde hoge temperatuurkruip- en treksterkte.



5 Gestabiliseerd staal: AISI 321, 347 en 348

Sensitisering (chromverarming nabij de korrelgrenzen) kan worden teruggedrongen door de toevoeging van sterke carbidevormers aan het austenitisch roestvast staal. Deze werkwijze is zeer populair in Duitsland. De aanwezigheid van dergelijke opzettelijk aangebrachte carbiden heeft echter een nadelige invloed op de polijstbaarheid van het staal. Uitbrokkelende carbiden beschadigen tijdens het polijsten het staaloppervlak. Ook vanuit putcorrosiestandpunt is de aanwezigheid van 'vreemde' deeltjes aan het staaloppervlak nadelig. Het gebruik van gestabiliseerde staalsoorten moet eigenlijk worden afgeraden. De hoge-temperatuureigenschappen van gestabiliseerd roestvast staal zijn vanwege de aanwezigheid van de carbiden juist beter dan die van ongestabiliseerde typen.

De samenstelling van 321 komt overeen met die van 304, maar er is titaan toegevoegd met een minimum van 5 x het koolstofgehalte. In 347 is de carbidevormer een mengsel van niobium en tantaal, dat is toegevoegd in een hoeveelheid van minimaal 10 x het koolstofgehalte. In 348 heerst dezelfde samenstelling, maar daar is het tantaal beperkt tot 0,1%; dit type is dan ook voor het merendeel gestabiliseerd door niobium. De mechanische eigenschappen bij kamertemperatuur van de gestabiliseerde typen zijn dezelfde als die van 304.

6 Extra laag-koolstofstaal: AISI 304L en 316L

Dit staal bevat maximaal 0,03% koolstof met als doel het reduceren van sensitisering van lassen of tijdens spanningsarmgloeien. De extra laag-koolstoftypen nemen de overhand over gestabiliseerd staal, vooral omdat met het AOD-smelt-proces deze staaltypen op economisch verantwoorde wijze kunnen worden gefabriceerd. De rekgrens van de L-typen is lager dan die van hun 304- en 316- tegenhangers en om die reden zijn hun toegestane ontwerpwaarden lager. Om dit probleem te overwinnen zijn er aangepaste typen ontwikkeld waaraan stikstof is toegevoegd, 304LN en 316LN, die tot 0,18% stikstof bevatten. Stikstof in vaste oplossing verhoogt de rekgrens tot ten minste het niveau van de standaardtypen 304 en 316. Bovendien vertraagt stikstof sensitisering.

7 Laselektrodetypen: AISI 308 en 309

Een van de toepassingen van deze staaltypen is die voor de laselektrodes. De samenstellingsbalans staat de vorming van een beheerste hoeveelheid deltaferriet toe in het neergegesmolten lasmetaal, een vereiste om warmscheuring van austenitisch roestvast staal te verhinderen. Deze staaltypen vinden nog andere toepassingen, maar daarover later.

8 Oxidatievaste typen AISI 302B, 308, 309, 310 en 314

De typen 308, 309 en 310 bezitten een hoog chroomgehalte dat hun een goede weerstand verschaft tegen oxidatie bij hoge temperaturen. Het verhoogde nikkelgehalte verbetert de weerstand tegen wisselende oxidatie. Het hogere legeringsgehalte van 310 draagt bij tot zijn zeer goede sterkte bij hoge temperaturen. De typen 302B en 314 bevatten respectievelijk 2 tot 3% en 1,5 tot 3% silicium. Het hoge siliciumgehalte verbetert niet alleen de weerstand tegen oxidatie, maar vertraagt en in veel gevallen onderdrukt volledig het verschijnsel van opkoling bij hoge temperaturen.

9 Verspaanbare typen: AISI 303 en 303Se

Het hoge zwavel- en seleniumgehalte van deze staaltypen verbetert hun verspaanbaarheid. Om die reden worden ze uitsluitend geproduceerd in de vorm van dikke en dunne staven en worden ze voornamelijk gebruikt voor massaproductie op draadsnij-automaten. De versie met selenium wordt toegepast voor grote diameters en wanddikten en is niet zo populair als de zwavelhoudende versie. De corrosievastheid van deze typen wordt nadelig beïnvloed door de aanwezigheid van sulfiden en er moet voor worden gewaakt dat ze niet op plaatsen worden gebruikt waar hun corrosievastheid tekortschiet.



Austenitisch-ferritisch of duplex roestvast staal

Deze roestvaststaalklasse is al lange tijd bekend, maar heeft tot zo'n jaar of tien geleden geen praktische rol van betekenis gespeeld. De gestegen behoefte aan roestvast staal met betere weerstand tegen door chloriden geïnduceerde scheurvormende spanningscorrosie alsmede hogere mechanische sterkte hebben sedertdien duplex roestvast staal volop in de belangstelling geplaatst. Als resultaat van uitvoerige onderzoeken en ontwikkelingswerk zijn er talrijke nieuwe kneedlegeringen ontwikkeld en zijn er voldoende technische gegevens voortgebracht om duplex roestvast staal te behandelen als een aparte staalsoort, tussen enerzijds ferritisch roestvast staal en anderzijds austenitisch roestvast staal in. Als zodanig combineert duplex roestvast staal een aantal kenmerken van beide genoemde soorten: het is bestand tegen scheurvormende spanningscorrosie, zij het niet in die mate als ferritisch roestvast staal; de taaheid is superieur aan die van austenitisch roestvast staal en de mechanische sterkte is aanzienlijk groter dan die van austenitisch roestvast staal. De predominerende fasen bij duplex roestvast staal zijn ferriet en austeniet. De verhouding tussen deze fasen speelt een belangrijke rol bij het definiëren van de eigenschappen van dit staal.

1 Commercieel leverbare duplexlegeringen

Tabel 2 geeft een overzicht van de al wat oudere alsmede van een aantal recentelijk ontwikkelde duplex legeringen en hun samenstelling. De chroomgehalten van deze staaltypen liggen op 3 niveau's: 18, 22 en 25%. Het nikkelgehalte varieert van 3 tot 6% en de hoofdfunctie ervan is structuurbeheersing. Alle legeringen bevatten molybdeen, hetgeen een aanwijzing is voor het feit dat dit staal ontworpen is voor corrosieve toepassingen, waarvoor in het algemeen een corrosievastheid wordt gevraagd die beter is dan die van 304 en in sommige gevallen zelfs beter dan die van 316. De nieuwere legeringen bevatten ook een hoger stikstofgehalte, dat is toegevoegd voor structuurbeheersing, sterkte en verbeterde corrosievastheid. In geval van gietlegeringen kan de verhouding van austeniet en ferriet worden voorspeld aan de hand van het Schaeffler- of het DeLongdiagram. Deze diagrammen zijn echter niet strikt toepasbaar op kneedlegeringen, omdat de ferriet die bij stolling ontstaat zoals voorspeld door deze diagrammen, bij warm bewerken bij 1000 tot 1200°C voor een deel overgaat in austeniet. Een adequaat equivalentiediagram voor kneedlegeringen is (nog) niet voorhanden. De eerste duplex roestvaststaaltypen waren gevoelig voor warmscheuring, die uitging van chroomcarbide op de austeniet-ferriet grensvlakken. Dit probleem is verholpen door het koolstofgehalte te verlagen of door toevoeging van titaan om koolstof te binden tot titaancarbide.

Tabel 2 Legeringssamenstelling in gew. % van enkele commerciële duplex roestvaststaaltypen, alsmede richtwaarden voor hun mechanische eigenschappen in de zachtgegloeide toestand bij kamertemperatuur.

Type	Nominale samenstelling %	Ferriet %	0,2 rekgrens MPa	Trek-strekte Mpa	Rek %
Ferral um 255 (a)	max. 0,08C; 24-27Cr; 4,5-6,5Ni; 2-4Mo; 1,3-4,0Cu	50	min.480	min. 740	min. 20
7 Mo (b)	max. 0,08C; 23-28Cr; 2,5-5,0Ni; 1,0-2,0Mo;	85	565	683	31
U30 (c)	max. 0,03C; 20-22Cr; 5,5-8,5Ni; 2,0-3,0Mo; 0,5Cu	30-50	315-440	590-800	20-15
3 RE60 (d)	max. 0,03C; 18,5Cr; 4,7Ni; 2,7Mo;	50	450	700-900	30
SAF 2205 (d)	max. 0,03C; 22Cr; 5,5Ni; 3,0Mo	45	410-450	680-900	25

Noot bij tabel:

- a) Handelsmerk van Cabot Corp.
- b) Handelsmerk van Carpenter Technology Corp.
- c) Handelsmerk van Creusot-Loire.
- d) Handelsmerk van Sandvik AB



2 Uitscheiding van fasen in duplex roestvast staal

Als duplex roestvast staal wordt zachtgegloeid bij 1000 tot 1150°C, dan zijn de enige aanwezige fasen ferriet en austeniet. In het algemeen is snelle koeling vereist om uitscheiding van andere fasen te verhinderen. Bij temperaturen beneden 1000°C is duplex roestvaststaal niet stabiel en ontstaan er bijkomende fasen: verscheidene carbiden, brosse chroomrijke fasen en alfa prime (α').

Er scheiden zich 2 typen chroomcarbiden af op de korrelgrenzen M_7C_3 en $M_{23}C_6$. M_7C_3 precipiteert bij 950 tot 1050°C en kan worden ontlopen door dit temperatuurinterval in minder dan 10 minuten te passeren. $M_{23}C_6$ precipiteert zeer snel beneden 950°C. Sigma-faseprecipitatie wordt versterkt door polybdeen en kan worden omzeild door in minder dan 2 à 3 minuten langs 900°C af te koelen. Alfa prime (α')-uitscheiding vindt uitsluitend in de ferriet plaats en geeft 475°C-verbrossing. Omdat alleen de ferriet bros wordt terwijl de austeniet onaangetast blijft, verbrost de legering als geheel niet zo ernstig als bij ferritisch roestvast staal het geval is bij de uitscheiding van alfa prime.

3 Mechanische eigenschappen

De rekgrens van duplex-staal is ongeveer twee tot drie keer hoger dan die van austenitisch roestvast staal (400-550 MPa tegen 200-250 MPa), terwijl de treksterkten ongeveer dezelfde zijn. De hogere rekgrens is een niet te onderschatten voordeel dat kan resulteren in aanzienlijke gewichtsbesparing. De rek van duplex roestvast staal is lager dan die van austenitisch roestvast staal, maar is niettemin voldoende voor bewerking of voor de meeste bedrijfsomstandigheden. De taaiheid van duplex roestvast staal ligt tussen die van austenitisch en ferritisch roestvast staal in. De variatie in taaiheid, uitgedrukt in de taai-brosvergangstemperatuur wordt beheerst door de hoeveelheid ferrietfase. De austenietfase, die zeer taai is, heeft een gunstige invloed.

Als het ferrietgehalte hoger wordt dan ongeveer 60 à 70% daalt de Charpy V-kerfslagenergie scherp. De meeste commerciële typen bevatten ongeveer 50% ferriet en bezitten om deze reden redelijk goede taaiheid. Er moet echter in gedachten worden gehouden dat in duplexkneedlegeringen de austeniet en ferriet in banen liggen in de walsrichting en dat de taaiheid afhangt van de oriëntatie. Optimale taaiheidswaarden worden verkregen als de kerfslagproeven zodanig worden uitgevoerd dat de scheuringsrichting haakt staat op de bandstructuur.

Optimale taaiheid van duplex roestvast staal wordt verkregen door snelle koeling vanaf de zachtgloeitemperatuur. Langzame koeling of verblijf op de tussenliggende temperatuur zal relusteren in diverse graden van verbrossing vanwege uitscheiding van alfa prime (475°C-verbrossing) en sigma-fasevorming. De vorming van sigma-fase wordt versterkt door molybdeen, dat wordt gebruikt als legeringselement in vrijwel alle commerciële duplex roestvaststaaltypen. De twee verbrossingsverschijnselen worden waargenomen in het 400 tot 500°C-temperatuurtraject en boven 700°C.

4 Corrosie en spanningscorrosie

De algemene corrosieweerstand van commercieel duplex roestvast staal varieert met het gehalte aan chroom, molybdeen en stikstof. In het merendeel van de corrosieve media is duplex roestvast staal superieur aan de typen 304 en 316. De weerstand van duplex roestvast staal tegen putcorrosie is eveneens superieur aan die van de typen 304 en 316. De kopergelegeerde duplex roestvaststaaltypen die 25% chroom en 3% molybdeen bevatten hebben goede corrosieweerstand in zeewater, zelfs in warm zeewater.

Duplex roestvast staal wordt onder bepaalde omstandigheden gebruikt in CO₂-leidingsystemen alsmede voor bepaalde sourgas down-hole-buizen in de oliewinning.

De weerstand van duplex roestvast staal tegen interkristallijne corrosie varieert binnen de commerciële legeringen hoofdzakelijk als een functie van het koolstofgehalte en de austeniet-ferrietbalans. Legeringen met een hoog koolstofgehalte en een naar ferriet doorslaande fasebalans zijn gevoelig voor interkristallijne corrosie en vereisen zachtgloeien na lassen. De overgrote meerderheid van de commerciële legeringen heeft een laag koolstofgehalte (<0,03%). Het vermogen van duplex roestvast staal om zich tegen interkristallijne corrosie weer te stellen hangt af van de legeringssamenstelling, het lasproces en het milieu waarin de constructie dienst moet doen.

Hoewel duplex roestvast staal gevoelig is voor door chloride geïnduceerde scheurvormende spanningscorrosie is het duidelijk superieur aan austenitisch roestvast staal. Het gedrag wordt beïnvloed door samenstelling en fasebalans; hoe hoger de hoeveelheid ferriet, des te beter is de weerstand tegen spanningscorrosie. De drempelwaarde van de spanning waaronder geen spanningscorrosie optreedt ligt bij duplex roestvast staal veel hoger dan die van 304. Net als bij het interkristallijne corrosiegedrag moet bij de weerstand tegen scheurvormende spanningscorrosie van duplex roestvast staal rekening worden gehouden met de samenstelling, de fasebalans, het spanningsniveau en het milieu.

Ir. A.J. Schornagel