



Precipitatiehardende roestvast staal

Voordat er gelast kan worden, moet er enige voorkennis zijn van het te lassen basismateriaal en hoe dit tot stand is gekomen. In vorige afleveringen van deze rubriek zijn de ferritische en martensitische roestvaste staalsoorten aan de orde gekomen. In de praktijkrichtlijn voor de indeling van metalen volgt hierop groep 7.3: de precipitatiehardende roestvaste staalsoorten.

De groep precipitatiehardende roestvaste staalsoorten is eigenlijk het buitenbeentje van de groep roestvaste staalsoorten. Afhankelijk van de warmtebehandeling kan een hoge sterkte en hardheid verkregen worden gecombineerd met de corrosievastheid van austenitische roestvaste typen. De rek grens en treksterkte van deze stalen liggen respectievelijk boven 1100 en 1400 MPa.

De precipitatieharding treedt op door toevoeging van koper, aluminium, titanium, niobium en molybdeen. Het voordeel van precipitatiehardende staalsoorten is dat ze geleverd kunnen worden in oplosingsgegloude conditie (solution treated condition). In deze conditie is het materiaal nog goed verspanbaar. Sterktetoename wordt gerealiseerd door na verspanen, op lage temperatuur, een warmtebehandeling uit te voeren. Deze behandeling is bekend als verouderen; 'ageing' of 'age-hardening'. Het voordeel van deze laagtemperatuurbehandeling is dat het werkstuk niet vervormt. Wel treedt een weinig slinken van het werkstuk op; tussen circa 0,05 en 0,1 procent.

De chemische samenstelling van de staalsoorten is zodanig dat zij in het grensgebied van de austenitische en de ferritische structuur liggen. Als het staal

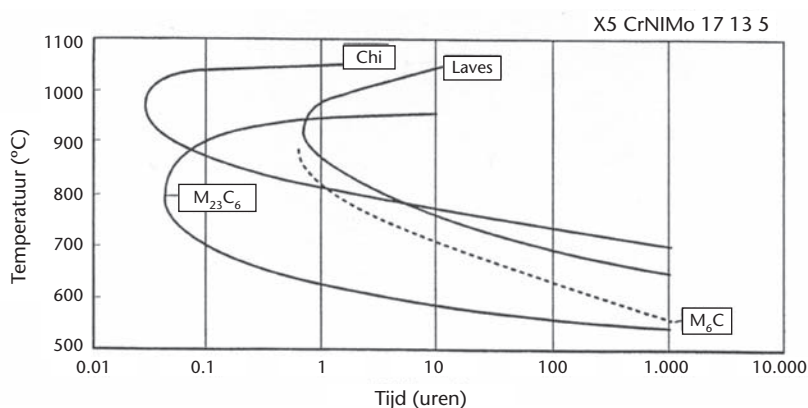
een oplosgloeibehandeling krijgt en vervolgens wordt afgeschrikt, wordt een structuur van martensiet en metastabiele austeniet verkregen. Afhankelijk van de stabiliteit onderscheidt men drie groepen: martensitische, half-austenitische en austenitische stalen [4].

- **Martensitisch (17-4 PH): de martensitische precipitatiehardende staalsoorten** krijgen na oplosgloeien en afschrikken een hoge sterkte door Cu-, Mo- en W-uitscheidingen. Omdat de staalsoorten een laag koolstofgehalte hebben, meestal lager dan 0,1 gew. procent, is de martensiet relatief zacht. De structuur is voornamelijk austenitisch op de anealing temperatuur (1040 tot 1065°C). Tijdens de afkoeling tot kamertemperatuur transformeert de austeniet tot martensiet. Dit resulteert in een hardheid van 380 MPa, na gloeien op 480°C scheidt het koper uit in zeer fijne precipitaten die alleen met de elektronenmicroscopie te zien zijn. Hierdoor neemt de sterkte toe tot circa 1200 MPa. De toename van de hardheid ontstaat door een combinatie van de vorming van martensiet en het uitscheiden van precipitaten.

- **Semi-austenitisch (17-7 PH): in de half-austenieten** zit meer Ni en/of minder Cr, waardoor de austeniet stabiel is. Deze austeniet wordt door warmtebehandelingen, onderkoeling of koudvervormen omgezet in martensiet. Bij kamertemperatuur is de structuur austenitisch. Hierdoor is het materiaal goed te bewerken en koud te vervormen. Door het materiaal te gloeien bij lage temperatuur ontstaan er precipitaten, intermetallische verbindingen of carbiden. Hierdoor wordt koolstof aan de matrix onttrokken, waardoor de austeniet instabiel wordt en om kan slaan in martensiet tijdens afkoelen tot kamertemperatuur.

- **Austenitisch (A-286): dit type behoudt zijn austenitische structuur bij alle temperaturen en ver-**

Figuur 1 - Vorming van carbiden en intermetallische fasen in X5 CrNiMo 17 13 5 [7]

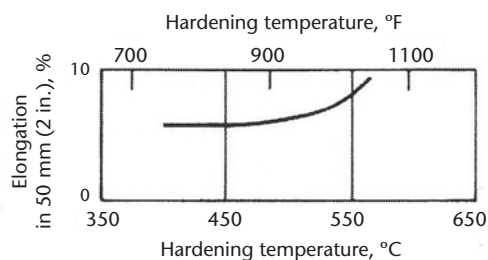
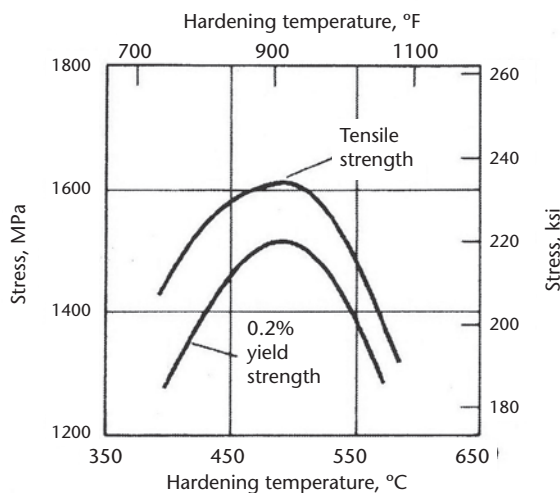


krijgt de sterkte uitsluitend door uitscheidingen en niet door martensietvorming. De sterkte van deze staalsoorten ligt dan ook veel lager. De verouderingstemperatuur ligt tussen 1095 en 1120°C, door snelle afkoeling blijft de precipitatiehardende fase in oplossing. Precipitatieharding treedt op tijdens verwarmen op 650-750°C door uitscheiding van nikkel-titaan intermetallische verbindingen. Hierdoor neemt de sterkte toe tot 590 MPa, al blijft de hardheid wel lager dan bij de martensieten en semi-austenieten.

Theorie verkrijgen van sterkte

De theoretische sterkte van een volkomen zuiver ijzerkristal is berekend op 28.000 MPa. In dat geval vallen rekgrens en treksterkte samen. Met andere woorden: plastische vervorming treedt niet op. Echter, door defecten in het metaalrooster (dislocaties enzovoort) kan plastische vervorming wel degelijk optreden waardoor de sterkte afneemt. Om de sterkte zo hoog mogelijk te houden, moet de dislocatiebeweging worden beperkt. Meerdere mechanismen zijn hiervoor verantwoordelijk:

- Korrelverfijning. Met een fijnere korrel neemt de sterkte toe.
- Deformatie introduceert meer dislocaties, die elkaar in hun beweging belemmeren.
- Het koolstofgehalte in het martensiet. Koolstof is interstitieel opgelost en vervormt het ijzerrooster. Met een hoger koolstofgehalte neemt de sterkte en hardheid toe.
- Het ontlaten van martensiet. Door het ontlaten van martensiet worden ϵ -carbiden uitgescheiden ($\text{Fe}_{2,4}\text{C}$, in de eerste ontlaattrap). De hardheid



Figuur 2 - Eigenschappen van 17-7PH bij diverse verouderingstemperaturen [5]

neemt toe. Door een gelijktijdige verlaging van de inwendige spanningen in de martensiet wordt het materiaal ook taaier.

- Secundaire harding door carbide-uitscheiding. Carbidevormende elementen zoals als Mo, W en V kunnen carbiden vormen bij ontlaten op hogere temperatuur (500-600°C). Het al gevormde cementiet lost op en carbiden zoals Mo_2C worden gevormd. De hardheid neemt sterk toe.

Tabel 1 - Overzicht van de chemische samenstelling (gew. procent) van enkele precipitatiehardende roestvaste staalsoorten [3]

Staal aanduiding	C max	Si max	Mn	P max	S max	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Al	Ti	V
X5CrNiCuNb16-4, 17-4PH Wstnr. 1.4542, AISI 630	0.07	0,7	≤1,5	0,04	0,015	15-17	3,0-5,0	≤0,60	5xC	-0,45	3,0-5,0	-	-
X7CrNiAl17-7, 17-7PH Wstnr. 1.4568, AISI 631	0.09	0,7	≤1,0	0,04	0,015	16-18	-	-	-	6,5-7,8	0,7-1,5	-	-
X5CrNiMoCuNb14-5, Wstnr. 1.4594	0.07	0,7	≤1,0	0,04	0,015	13-15	1,2-2,0	1,2-2,0	0,15-0,6	5,0-6,0	-	-	-
A286, Wstnr. 1.4944, AISI 660	0.08	1,0	≤1,0	0,025	0,025	13-16	-	1,0-1,75	-	24-27	-	1,90-2,30	0,10-0,50

- Secundaire harding door intermetallische verbindingen van het type Fe₂M. Deze uitscheidingen worden ook wel 'Laves fasen' genoemd.

De precipitatiehardende roestvaste staalsoorten krijgen hun sterkte door secundaire harding waarbij intermetallische verbindingen worden uitgescheiden. Typische precipitatiehardende staalsoorten zijn met hun chemische samenstelling weergegeven in tabel 1. Figuur 1 toont een TTT-diagram waarin de snelheid van de vorming van carbiden en intermetallische fasen tot uiting komt [7]. Als indicatie voor de grote range van mechanische eigenschappen geeft figuur 2 voor 17-7PH de invloed van de gloeitemperatuur op de treksterkte en rek aan.

Lasbaarheid

De lasbaarheid van deze staalsoorten is over het algemeen goed. Maar net als bij austenitisch roestvast staal moet er schoon gewerkt worden, dezelfde voorzorgsmaatregelen zijn van toepassing. Het is meestal niet nodig het werkstuk voor te warmen, wel moet de interpass-temperatuur in de gaten worden gehouden. De interpass-temperatuur bedraagt maximaal 280°C.

Het lassen wordt meestal uitgevoerd in de oplossingsgloeide toestand. Het materiaal is ook nog goed te bewerken. Er moet goed worden nagedacht welke hardheid en sterkte van de las wordt verlangd. Als het acceptabel is dat de sterkte van de las lager is dan het basismateriaal, kan ervoor gekozen worden met een austenitisch (AISI 308 of 309) lasmateriaal te lassen. Dit geldt voor martensitisch en semi-austenitisch precipitatie hardend staal. Het is wel aan te bevelen enkele procenten ferriet in het lasmateriaal te hebben om warmscheuren te voorkomen. Voor martensitisch en semi-austenitisch basismateriaal is het gebruikelijk te lassen met AISI 630 (martensitisch) lasmateriaal. Na het lassen dient de volle oplossingsbehandeling te worden uitgevoerd: oplossingsgloeien en snel afkoelen tot kamertemperatuur, opwarmen op 480°C en afkoelen tot kamertemperatuur. Als de oplossingsgloeibehandeling achterwege wordt gelaten, kan de sterkte van de verbinding niet worden gegarandeerd. Tijdens het lassen kunnen er namelijk delen van de warmtebeïnvloede zone oververhit zijn geraakt door de laswarmte. Deze gebieden hebben een lagere sterkte en vormen de zwakste schakel van de verbinding.

Austenitisch roestvast staal kan ook in de as-welded conditie worden toegepast. Maar het is lastiger te lassen vanwege de gevoeligheid voor warmscheuren. AISI 310 is een veel gebruikt lasmateriaal, zeker

als de las niet magnetisch mag zijn. De eerste laag is het meest scheurgevoelig doordat het lasmateriaal elementen uit het basismateriaal opneemt. Een oplossing kan zijn de laskanten eerst op te bufferen met AISI 310 lasmateriaal en daarna pas de verbinding te maken. Als de las een beetje magnetisch mag zijn, kan er ook worden gekozen voor een AISI 312 austenitisch lasmateriaal. Door het hoge ferrietgehalte in de draad wordt de kans op warmscheuren verkleind. Als het basismateriaal bedekt is, kan de verbinding worden afgelast met een AISI 308 of 309 type met veel minder ferriet.

Toepassingen

Door een combinatie van hoge hardheid en sterkte met een goede corrosiebestendigheid vinden ze hun toepassing voornamelijk in de lucht- en ruimtevaartindustrie en andere hightechtoepassingen, zoals:

- tandwielkasten
- motoronderdelen, bijvoorbeeld kleppen
- assen
- turbinebladen
- gietmallen
- nucleairafval containers

Nauw verwant aan deze staalsoorten zijn de 'Maring' staalsoorten [4]. Deze stalen hebben een hoger nikkelpercentage en bevatten bijna geen koolstof. De naam geeft al aan dat martensietvorming (Mar) en veroudering (aging) de verantwoordelijke mechanismen zijn voor de mechanische eigenschappen. De legeringselementen Ti, Al, Co en Mo zorgen voor de uitscheidingsharding. ■

Referenties

1. G. van Krieken, *Lastechniek*, 74, 10, 2008, 27.
2. G. van Krieken, *Lastechniek*, 74, 11, 2008, 8.
3. Welding - Guidelines for a Metallic Materials Grouping System (ISO/TR 15608:2005).
4. B.M. Korevaar, *Gelegeerd staal*, Collegedictaat, TU Delft.
5. Luke Zubek, *A Technical Review of Precipitation Hardening Stainless Steel Grades*, Springs, January 2006.
6. ASM Metal Handbook Volume 6, *Welding Brazing and Soldering*, 1993.
7. *Laspraktijkingenieur*, NIL, 2000.

Ger van Krieken is laspraktijkingenieur en sinds kort werkzaam als lastechnisch adviseur bij het Nederlands Instituut voor Lastechniek. Marcel Hermans is docent aan de Technische Universiteit Delft, afdeling Technische Materialwetenschappen, sectie Joining and Mechanical Behaviour.