



Martensitisch roestvas

Voordat er gelast kan worden, moet er enige voorkennis zijn van het te lassen basismateriaal en hoe dit tot stand is gekomen. In deze reeks van Materialenkennis voor de Laspraktijk zijn we inmiddels bij groep 7 beland, waarin we de eerste roestvaste staalsoorten tegenkomen. In deze groep worden drie interessante staaltypen behandeld. Deze maand aandacht voor de martensitische roestvaste staalsoorten.

Martensitisch roestvast staal lijkt een beetje op ferritisch roestvast staal. Ook hier is het belangrijkste legeringselement chroom. Bij martensitisch roestvast staal ligt het chroomgehalte echter rond de 13%, bij ferritisch is dit ongeveer 17%. Essentieel om een martensitische microstructuur te krijgen, is de vorming van austeniet op verhoogde temperatuur. Na relatief snel afkoelen ontstaat martensiet.

Martensitische roestvaste staalsoorten kenmerken zich door hun hoge hardheid en sterkte in combinatie met een redelijke corrosievastheid. Ze vinden

daardoor hun toepassing vooral daar waar naast corrosievastheid ook slijtvastheid wordt verlangd. Martensitisch roestvast staal kan worden onderverdeeld in:

- Conventioneel martensitisch chroomstaal: deze typen hebben een relatief hoog koolstofgehalte en zijn duidelijk bedoeld voor toepassingen waarbij een hoge hardheid gekoppeld aan een zekere corrosievastheid wordt vereist. Er wordt meestal niet aan gelast en ze vinden hun toepassing in messen, turbineschoepen, matrijzen enzovoort.

Tabel 1 - Voorbeelden van legeringen uit groep 7.2 volgens CEN ISO/TR 20172:2004, gegevens uit EN 10088-1, deel 2

	X3CrNiMo13-4	X12Cr13	X20Cr13	X70CrMo15	X22CrMoV12-1			
Werkstofnummer	1.4314	1.4006	1.4021	1.4109	1.4923			
AISI								
Norm EN 10088	Deel 2	Deel 2	Deel 2	Deel 3	Deel 2			
Analyse								
C	≤ 0,05	0,08-0,15	0,16-0,25	0,60-0,75	0,18-0,24			
Si	≤ 0,70	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 0,70	≤ 0,50			
Mn	≤ 1,50	≤ 1,50	≤ 1,50	≤ 1,0	0,40-0,90			
P	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,025			
S	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015	≤ 0,015			
Cr	12,0-14,0	11,5-13,5	12,0 – 14,0	14,0-16,0	11,0-12,5			
Ni	-	≤ 0,75	-	-	0,30-0,80			
Mo	0,30-0,70	-	-	0,40-0,80	0,80-1,20			
V	3,5-4,5	-	-	-	0,25-0,35			
N	≥ 0,020	-	-	-	-			
Mechanische eigenschappen								
+QT	780	900	550	650	650	750	+A	+A
Rekgrens Mpa	630	800	400	450	450	550	-	550
Treksterkte Mpa	780-980	900-1100	550-750	650-850	650-850	750-950	Max. 900	750-950
Rek	15%	11%	15%	12%	12%	10%	-	15 %
Kerftaaiheid	70	-	-	-	-	-	-	100J +20°C
Hardheid	-	-	-	-	-	280HB	-	Max. 300HV
Toepasbaar tot	-	400°	-	-	-	-	-	600°C

- Zwak martensitisch chroomstaal: deze typen bevatten naast chroom een laag koolstofgehalte en vaak 4 à 5% Ni. Enkele typen zijn 1.4313 (13% Cr-4% Ni) en 1.4405 (16% Cr-5% Ni). Ze zijn goed lasbaar, maar behoeven wel een warmtebehandeling na het lassen.
- Super martensitisch chroomstaal: deze groep is een ontwikkeling van de laatste tien jaar. Ze zijn voornamelijk ontwikkeld voor pijpleidingen in de olie- en gaswinning. Dit staal kenmerkt zich door de hoge rekgrens en sterkte gekoppeld aan een redelijke corrosievastheid. Globale samenstelling is 0,05% C, 12-15% Cr, 4-7% Ni, 1,5 – 2% Mo en 0,06 – 0,12% N.

Metallurgisch

Zoals de naam al doet vermoeden, is de materiaalstructuur martensitisch. Dit wordt bereikt door de combinatie van een relatief hoog koolstofgehalte (tot 1,2%) en 12 tot 18% chroom. Nikkel wordt soms toegevoegd als austenietvormend element om de martensietvorming te stimuleren en in combinatie met molybdeen om de corrosieweerstand te verhogen.

De meest bekende en gebruikte martensitische legering is die met 13% chroom met meer dan 0,1% koolstof (420). Figuur 1 laat het fasediagram van Fe-Cr-C bij 13% Cr zien. In vergelijking met het fasediagram van ferritisch chroom staal met 17% chroom is te zien dat beide diagrammen erg op elkaar lijken, maar dat bij 13% Cr het austenietgebied (γ -gebied) veel groter is. Dit wil zeggen dat al bij een veel lager koolstofgehalte austeniet wordt gevormd, dat zich bij afkoeling omzet in martensiet.

Deze legeringen zijn luchthardend, wat betekent dat na afkoeling vanuit het austenietgebied zonder geforceerde koeling de materiaalstructuur omslaat in martensiet. De martensiet starttemperatuur (M_s) ligt bij 260°C. De martensiet finishtemperatuur (M_f) ligt zo rond 50°C. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het voorwarmen en spanningsarmgloeien van martensitisch roestvast staal, maar hierover later meer.

Mechanische eigenschappen

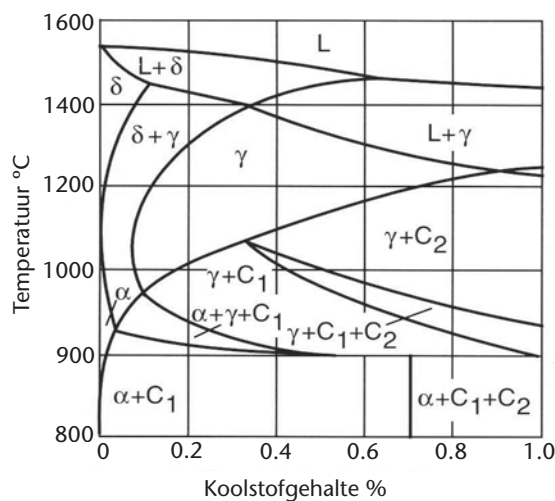
De sterkte van martensitisch roestvast staal is erg hoog en kan oplopen tot 1800 N/mm². Helaas is de breukrek niet de sterkste kant en kan variëren van

0,1-8%. Met een goede warmtebehandeling is de breukrek te verbeteren, al neemt de sterkte dan iets af.

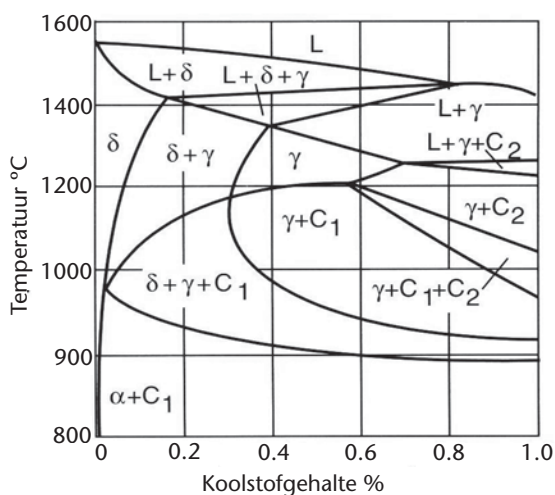
Door de martensitische structuur heeft het staal een hogere hardheid variërend van circa 30 tot 60HRC. Hiermee moet wel rekening worden gehouden als er nog mechanische bewerkingen uitgevoerd moeten worden. Deze staalsoort wordt meestal in de gehard en ontlaten (aangeduid met QT - Quenched and Tempered) toestand geleverd.

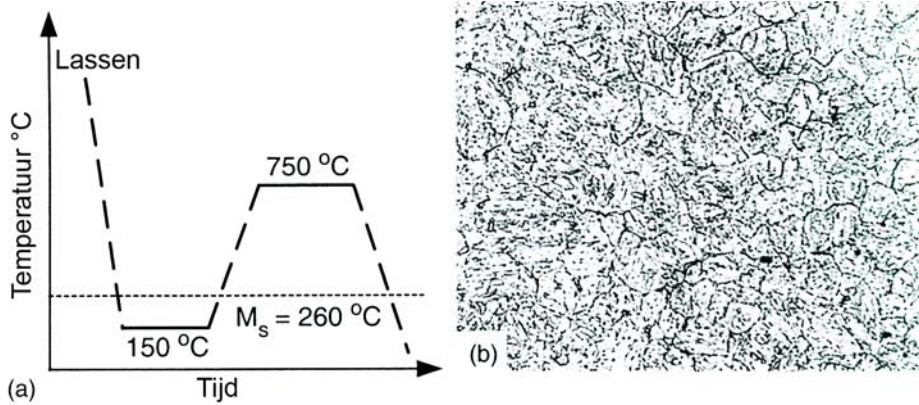
Lassen

De soorten met een laag koolstofgehalte zijn lasbaar. Soorten met een koolstofgehalte boven de 0,25-0,30% worden normaal gesproken als niet lasbaar



Figuur 1 - Doorsneden van het ternaire Fe-Cr-C evenwichtdiagram bij a) 13% Cr en b) 17% Cr





Figuur 2 - De figuur links laat een goede warmtebehandeling zien. De rechter figuur toont de hierdoor verkregen microstructuur van fijn ontlaten martensiet



beschouwd. Ter vergelijking, een 12% chroomstaal met een koolstofgehalte van 0,07% afgekoeld vanaf 1050°C heeft een hardheid van 364HV. Hetzelfde staal met een zelfde behandeling, maar nu met een koolstofpercentage van 0,60% krijgt een hardheid van 620HV.

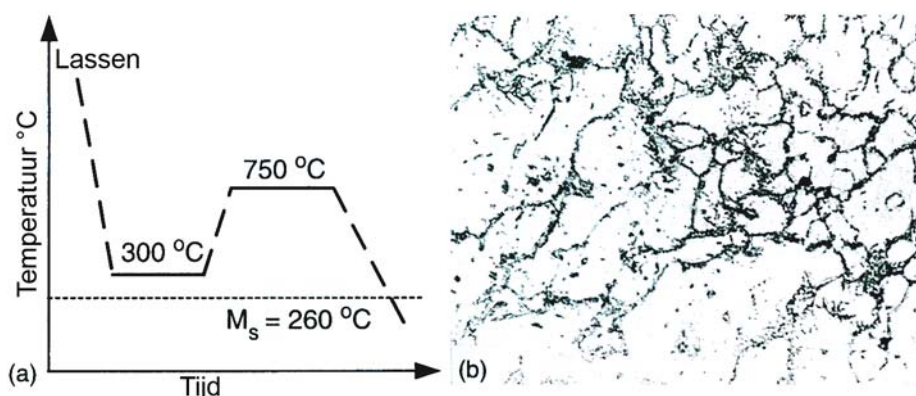
Het is goed voor te stellen dat deze hardheid tijdens het lassen tot scheurvorming kan leiden, zeker in combinatie met waterstof. Door de hoge hardheid in de warmtebeïnvloede zone (WBZ) is het martensitische roestvast staal zeer gevoelig voor waterstofscheuren. Het risico op scheuren neemt toe met het koolstofgehalte.

Scheuren kunnen voorkomen worden met een laagwaterstofproces (TIG of MIG), droge lastoevoegmaterialen (<5H, minder dan 5 ml waterstof per 100 mg neergesmolten lasmateriaal), lage lasspanningen en voorwarmen tot circa 200-300°C. De precieze temperatuur hangt af van lasprocedure, chemische samenstelling, wanddikte en waterstof in lastoevoegmateriaal. Na het lassen is een warmtebehandeling nodig. Zwak martensitisch chroomstaal (13% Cr-4% Ni) wordt in de praktijk gelast met een in chemische samenstelling overeenkomend lastoevoegmateriaal. Alleen bij dikwandige constructies of constructies met een hoge eigenspanning wordt voorgewarmd op circa 100°C. De tussenlagentemperatuur mag hier

van niet te veel afwijken, daar de Ms en Mf op respectievelijk circa 240 en 120°C liggen. Om een volledige, plotselinge overgang van austeniet naar martensiet te voorkomen, moet elke laag (of lasrups) worden afgekoeld tot een temperatuur lager dan de Mf alvorens de volgende laag (of lasrups) te leggen. Voor het type 1.4405 (16% Cr-5% Ni) ligt dit nog kritischer. Bij dit materiaal mag niet worden voorverwarmd en de verschillende lasrupsen moeten, alvorens de volgende lasrups mag worden gelegd, eerst afkoelen tot een temperatuur van circa 50°C. Zowel 13% Cr-4%Ni chroomstaal als 1.4405 moeten na het lassen worden gegloeid op een temperatuur tussen 580 en 620°C.

Supermartensitisch chroomstaal wordt gelast met superduplex lastoevoegmateriaal. Het zo verkregen lasmetaal heeft een rekgrens die nagenoeg gelijk is aan die van supermartensitisch chroomstaal. Voorwarmen en warmtebehandelen na het lassen zijn niet noodzakelijk. Absoluut noodzakelijk is het gebruik van waterstofarme lasprocessen (TIG, MIG) of waterstofarme lastoevoegmaterialen (BMBE en OP).

Voor de verbindingen wordt vaak austenitisch lastoevoegmateriaal gebruikt. Het austenitisch lasmateriaal is taai en kan meer waterstof opnemen waardoor de kans op scheuren in de las en WBZ sterk verminderd wordt.



Figuur 3 - De figuur links toont een werkstuk dat te snel in de oven is geplaatst. In de rechter figuur is het resultaat te zien: een slechte microstructuur met slechte mechanische eigenschappen



Voorwarmen

Ook al spreken we over goed lasbare soorten, de martensietische roestvaste stalen moeten wel voorverwarmd worden. De voorwarmtemperatuur is natuurlijk afhankelijk van de legeringsamenstelling, maar men moet al gauw denken aan minimaal 200-250°C (controleer altijd de gegevens van de materiaalleverancier). Het is erg belangrijk dat het werkstuk tijdens de gehele lascyclus op de voorwarmtemperatuur wordt gehouden, ook 's nachts en in het weekeinde. Dit om scheuren in de WBZ te voorkomen.

Spanningsarmgloeien na lassen

Na het lassen en afkoelen moet het werkstuk worden gegloeid. Met deze warmtebehandeling wordt de martensiet in de WBZ ontlaten. De ontlaten martensiet

vereist is, wordt vaak gekozen voor de X3CrNiMo 13-4 of een variant hierop. Door de toevoeging van stikstof wordt de corrosiebestendigheid aanzienlijk verbeterd.

Conclusie

De martensietische roestvaste staalsoorten worden toegepast als hardheid, sterkte, slijtvastheid en corrosievastheid van belang zijn. De verschillende soorten zijn in meerdere of mindere mate lasbaar. De keuze van een geschikt toevoegmateriaal en juiste warmtebehandeling zijn essentieel. Ze vinden hun toepassing voornamelijk in turbinebladen en messen voor huishoudelijk, chirurgisch en industrieel gebruik, maar ook voor pijpleidingen, kleppen en pomphuizen in de olie-industrie. ■

Tabel 2 - Resultaten gloeien van oplassing met variant op X3CrNiMo13-4, op een temperatuur van 525°C

Gloeitijd	Rekgrens MPa	Treksterkte MPa	Rek %	Hardheid HV	Kerftaaiheid +20°C
As Welded	-	786	0,3	460	7,8
4 uur	1089	1357	11,8	428	15,5
8 uur	1051	1296	11,7	416	18,7

*) er kunnen geen rechten aan ontleend worden

siet heeft een lagere hardheid, maar een hogere taaiheid. Figuur 2a laat een goede warmtebehandeling zien met bijbehorende fijne ontlaten martensiet.

Het is belangrijk dat het werkstuk na het lassen afkoelt naar kamertemperatuur (in elk geval onder de Mf) voordat het de oven in kan. De martensiet moet eerst gevormd worden tijdens de afkoeling. Anders wordt de niet-getransformeerde austeniet omgezet in ferriet en vindt er een ophoping van carbide precipitaten op de korrelgrenzen plaats. Helaas heeft deze microstructuur zeer slechte mechanische eigenschappen, het is bros en inferieur aan de ontlaten martensiet, zie figuur 3b.

Oplassen

Vanwege de goede eigenschappen bij verhoogde temperatuur (tot circa 500-550°C) wordt martensietisch lasmateriaal ook vaak opgelast als slijtvaste corrosiebestendige laag. Een bekend en veel toegepast oplasmateriaal is 420 (X20Cr13). Na lassen kan een hardheid van meer dan 60 HRC bereikt worden, met spanningsarmgloeien op de juiste temperatuur kan de hardheid teruggebracht worden voor verspanen met een verbetering van de taaiheid tot gevolg. De gloeitemperatuur moet nauwkeurig worden gekozen, want een te hoge temperatuur resulteert in een lage hardheid <30HRC.

Als er naast slijtvastheid ook corrosiebestendigheid

Gebruikte Normen

- NEN-EN 10088-1, Roestvaste stalen – Deel 1: Lijst met Roestvaste stalen juni 2005.
- NEN-EN 10088-2, Roestvaste stalen – Deel 2: Technische leveringsvoorwaarden voor plaat en band van corrosievaste staalsoorten voor algemeen gebruik, februari 2005.
- NEN-EN 10028-7 Flat Products Made of Steels for Pressure Purposes – Part 7: Stainless steels, december 2007.

Literatuur

- S. Kou, Welding Metallurgy, Second edition, 2002.
- Laskennis Opgelast nummer 9, Lassen van Roestvast staal: een overzicht en richtlijnen voor het lassen.
- M.G. Krüse, R. Abspoel, Roestvast staal in kaart gebracht, september 1999, Bouwen met staal 150, bladzijde 50 tot en met 55.
- Weldability of Materials: Stainless Steel, Welding and Cutting 7 (2008) Number 2.
- Roestvast staal in dunne plaat en buis, Tech-info-Blad nummer TI.04.19 januari 2004 FME- CWM.
- N.W. Buijs, Wetenswaardigheden over het warmtebehandelen van roestvaststaal, deel 1.6, van Leeuwen Stainless.

Gerit van Krieken is laspraktijkengineer en sinds 1996 werkzaam als lastechnisch en materiaalkundig adviseur bij het interne ingenieursbureau van Corus.