

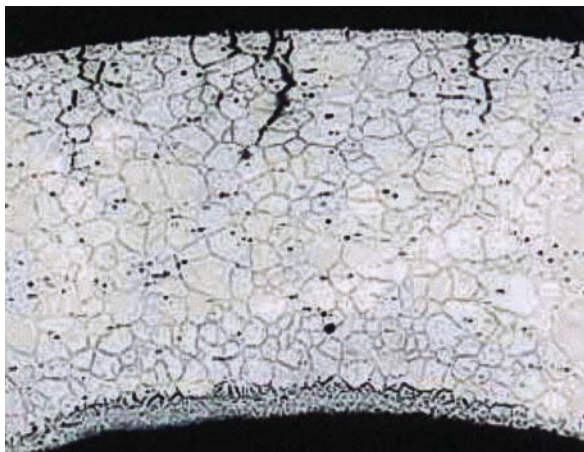


Warmvaste staalsoorten

Voordat er kan worden gelast, zal er enige voorkennis moeten zijn van het te lassen basis-materiaal en hoe dit tot stand is gekomen. In deze aflevering staan we stil bij de materialen uit groep 6. Dit zijn de hoog vanadium gelegeerde CrMo(Ni)-staalsoorten, die worden toegepast bij hogere temperaturen.

Warmvaste staalsoorten worden ook wel kruipbestendige materialen genoemd (meer informatie over kruip is te vinden in Lastechniek nr. 4-2008). Deze staalsoorten worden gekenmerkt door hun hoge treksterkte, gecombineerd met een hoge kruipsterkte en hoge taaiheid, ook bij verhoogde temperatuur. Om een vergelijking te maken: ongelegeerd staal is 'slechts' toepasbaar tot ongeveer 350°C, terwijl de hoog vanadium gelegeerde CrMo(Ni)-staalsoorten worden toegepast tot circa 600°C (afhankelijk van de legering). Elementen die de weerstand tegen kruip verhogen zijn koolstof, chroom, molybdeen, vanadium en titanium (zie ook Lastechniek nr. 5-2008). Hoe meer chroom en molybdeen, hoe hoger de temperatuur waarop de stalen toegepast kunnen worden (zie tabel 1 en 2). Toch is alleen het toevoegen van deze legeringelementen niet voldoende. Zo dient het staal normaalgegloeid te worden, gevolgd door ontlaten op 650 tot 740°C. Door deze warmtebehandelingen ontstaat een fijne structuur met daarin precipitaten (carbiden). Deze veredelingsstructuur heeft goede kruipeigenschappen.

Bron: TWI



Kruipscheurtjes in een pijp van CrMoV-staal

Tabel 1 - Overzicht indeling groep 6 volgens ISO/TR 15608:2000

Groep 6 Hoog vanadium gelegeerde Cr-Mo-(Ni) staalkwaliteiten	
6.1	Staalkwaliteiten met $0,3\% \leq Cr \leq 0,75\%$, $Mo \leq 0,7\%$ en $V \leq 0,35\%$
6.2	Staalkwaliteiten met $0,75\% \leq Cr \leq 3,5\%$, $0,7\% \leq Mo \leq 1,2\%$ en $V \leq 0,35\%$
6.3	Staalkwaliteiten met $3,5\% \leq Cr \leq 7,0\%$, $Mo \leq 0,7\%$ en $0,45\% \leq V \leq 0,55\%$
6.4	Staalkwaliteiten met $7,0\% \leq Cr \leq 12,5\%$, $0,7\% \leq Mo \leq 1,2\%$ en $V \leq 0,35\%$

Normaalgløeien

Na het walsen wordt de plaat normaalgegloeid; het verhitten van de plaat tot in het austenietgebied (boven A_{c3}). Door na het bereiken van de normaalgløitemperatuur snel af te koelen (anders kan korrelgroeï optreden) ontstaat een fijne korrel. Dit wordt veroorzaakt door de structuurromzettingen van ferriet naar austeniet en omgekeerd. Elke fase-transformatie verkleint de structuur doordat meerdere kiemen van de nieuwe fase worden gevormd in de oorspronkelijke korrels. De fijne korrel zorgt voor een hogere treksterkte en een betere taaiheid.

Ontlaten

Na het snelle afkoelen na het normaalgløeien wordt het staal verwarmd tot circa 700-750°C. Daarna, na een verblijftijd van 1 tot 4 uur, wordt het staal rustig afgekoeld. Na het afschrikken is de structuur geheel martensitisch en tijdens het ontlaten kan precipitatie en carbidevorming optreden. De martensiet zal zich dan omzetten naar fijne bainiet, waardoor het materiaal zijn sterkte en taaiheid verkrijgt.



Lasbaarheid

De staalsoorten uit deze groep zijn lasbaar, maar hoe hoger het percentage legeringselementen, hoe meer voorzorgsmaatregelen er nodig zijn. Dit betekent dat de stalen uit 6.1 met een relatief laag chroomgehalte beter lasbaar zijn dan die uit 6.4 met 7-12,3 gew.%Cr (zie tabel 1). Bij het afkoelen van de hoger gelegeerde stalen wordt al bij 300 tot 450°C martensiet gevormd (de martensiet starttemperatuur M_s neemt toe). Martensiet is hard en daardoor ongewenst; het kan scheuren veroorzaken. Dit wordt voorkomen door vóór het lassen het werkstuk voor te verwarmen en zo de afkoelsnelheid te verlagen ($\Delta t_{8/5}$ = afkoelsnelheid tussen 800 en 500°C). De voorwarmtemperatuur voor deze staalsoorten varieert tussen de 200 en 250°C, uiteraard afhankelijk van de legeringsamenstelling, materiaaldikte, warmte-inbreng en spanningstoestand.

Na het lassen moeten de lassen spanningsarm worden gegloeid op een temperatuur van rond de 600 tot 650°C. Hierbij moet men altijd minimaal 30°C onder de ontlaattemperatuur blijven. Kijk daarom altijd op het materiaalcertificaat voor de juiste spanningarmgloeitemperatuur (bij een te hoge temperatuur wordt de zo zorgvuldig verkregen structuur uitgegloeid).

Groep 6.4 is door het hoge chroomgehalte de lastigste van het stel (dit zijn de stalen met $7,0\% \leq Cr \leq 12,5\%$, $0,7\% \leq Mo \leq 1,2\%$ en $V \leq 0,35\%$). De combinatie van een hoog koolstofgehalte en 12 gew. % chroom zorgen voor voldoende taaierheid en kruipbestendigheid, maar ook voor problemen tijdens het lassen. Gedurende het afkoelen zal de structuur martensitisch worden. Het hooggelegeerde martensiet bevat veel koolstof en dat zorgt voor hoge hardheden, maar ook voor lage rek. Daarom moeten strikte regels worden opgevolgd om dit staal te lassen.

Austenitisch lassen

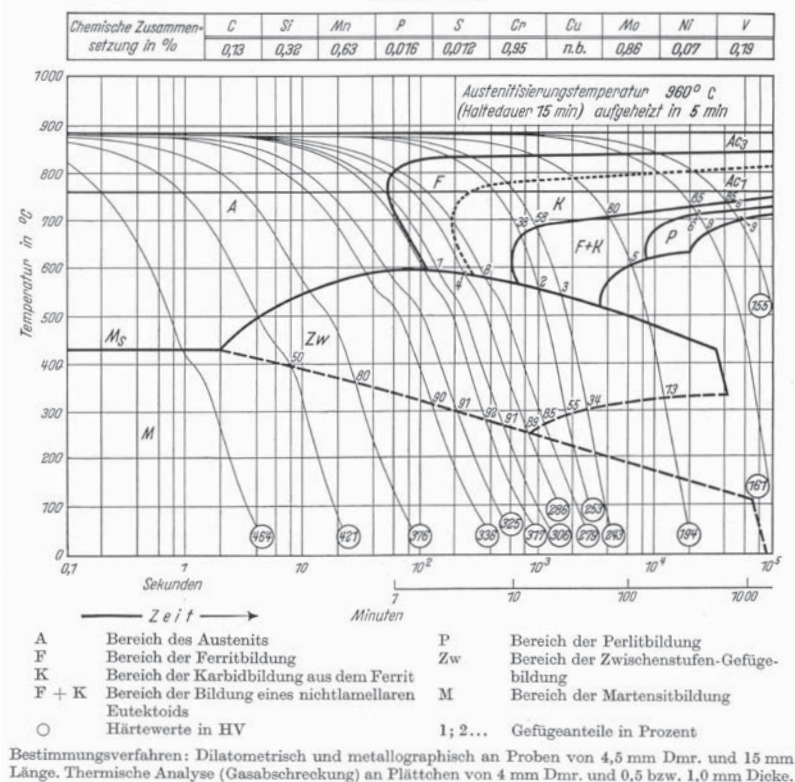
Een van de twee methodes is een nikkelhoudend las toevoegmateriaal, waarbij de voorwarm- en interpass-temperatuur boven de martensiet starttemperatuur wordt gehouden (circa 450°C). Tijdens de afkoeling zal het materiaal en de las tegelijk martensitisch worden. Dit wordt ook wel austenitisch lassen genoemd, omdat het lassen geheel in het austenietgebied plaatsvindt. Tijdens het afkoelen wordt bij 120°C gestopt gedurende één tot twee uur om de transformatie van austeniet naar martensiet te laten plaatsvinden.

Men kan ook austenitisch lassen met een lastoevoeg-

Stahlguß mit 0,15% C; 1% Cr; 0,9% Mo; 0,2% V

II-381 E/F

Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubild
(kontinuierlich)



Bron: Atlas zur Wärmebehandlung der Stähle

materiaal dat qua samenstelling gelijk is aan het basismateriaal. Voordeel is dat de voorwarmtemperatuur beperkt wordt tot 250°C. De lasrups zal dan wel martensitisch worden, maar een volgende lasrups zal de vorige rups ontlaten. Na het lassen moet ontlaten worden op 760°C om de gewenste mechanische eigenschappen - vooral rek - te verkrijgen.

CCT-diagram van een staal uit groep 6.2

Toepassing

De CrMoV-stalen vinden hun toepassing in diverse installaties die op hoge temperatuur (tot 600°C) gebruikt worden, bijvoorbeeld in elektriciteitscentrales, olieraffinaderijen en de petrochemische industrie. Denk hierbij aan warmtewisselaars, pijpenbundels, turbine-assen en stoomleidingen.

Formules

$$\text{Koolstof Equivalent CE} = C\% + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

$$\text{Warmte-inbreng} = k \frac{U \times I}{v} \times 10^{-3} \text{ kJ/mm}$$

k = thermisch rendement van lasproces

U = elektrische spanning [V]

I = stroomsterkte [A]

v = voortloopsnelheid [mm/sec]

Tabel 2 - Normen en toepassingen van materialen uit groep 6 volgens ISO/TR 20172

6.1	EN 10216-2 EN 10213-2	Drukvaten, reactoren, fornuizen, pompen, kleppen en leidingwerk	G12MoCrV5-2, 14MoV6-3
6.2	EN 10213-2	Drukvaten, reactoren, fornuizen, pompen, kleppen en leidingwerk	G17CrMoV5-10
6.4	EN 10222-2 EN 10216-2 EN 10213-2	Drukvaten, reactoren, fornuizen, pompen, kleppen en leidingwerk	X10CrMoVNb9-1, X20CrMoV12-1, GX23CrMoV12-1, X10CrMoVNb9-1, X20CrMoV11-1

Reheat cracking

Een bekend schadeprobleem bij deze staalsoorten is reheat cracking, een scheurfenomeen dat optreedt in grofkorrelige structuren. Vaak gebeurt dit in de warmtebeïnvloede zone naast de las of in de grofkorrelige zone van de las zelf. De scheuren lopen interkristallijn, dus langs de korrelgrenzen. Ze kunnen optreden als macroscheuren of als kolonies van microscheuren. Reheat cracking is het gevolg van het gecombineerde effect van precipitatie en spanningsrelaxatie. Vooral in de korrel worden precipitaten gevormd. Dit gebeurt in mindere mate langs de korrelgrens waardoor deze minder sterk is. Eventuele spanningen zullen dus vooral langs de korrelgrens

voor plastische deformatie door kruip zorgen.

Onzuiverheden zoals zwavel, fosfor en tin uit het basismateriaal segregeren naar de korrelgrenzen en versterken daar het effect van verbrossing. Het is dus belangrijk om bij het bestellen van materiaal, naast de benodigde informatie als materiaalaanduiding en normen, ook de maximaal gewenste onzuiverheden op te geven. Een grofkorrelige warmtebeïnvloede zone wordt voorkomen door zware en grote lasrupsen te vermijden. Dunne snoeren zorgen ervoor dat het onderliggende materiaal wordt uitgegloeid. Ook het vermijden van spanningsconcentraties, zodat de lassen geen trekspanningen op hoeven te nemen, helpt reheat cracking te voorkomen.

Tabel 3 - Voorbeelden van legeringen uit groep 6 volgens CEN ISO/TR 20172:2004

Groep	6.1	6.2	6.4	6.4
Materiaal	14MoV6-3	G17CrMoV5-10	X10CrMoVNb9-1	X20CrMoV11-1
Max. %C	0.10-0.15	0.15-0.20	0.08-0.12	0.17-23
Max. %Si	0.15-0.35	0.6 max.	0.5	0.4
Max. %Mn	0.4-0.7	0.5-0.9	0.3-0.6	0.3-1.0
Max. %P	0.025	0.02 max.	0.025	0.025
Max. %S	0.02	0.015 max.	0.015	0.015
Tot min. %Al	0.04	-	0.04	-
Max. %N	-	-	0.03-0.07	-
Max. %Nb	-	-	0.06-0.10	-
Max. %V	0.22-0.28	0.20-0.30	0.18-0.25	0.20-0.35
Max. %Ti	-	-	-	-
Max. %Mo	0.5-0.7	0.9-1.0	0.85-1.05	0.8-1.2
Max. %B	-	-	-	-
Max. %Cr	0.3-0.6	1.2-1.5	8.0-9.5	10.0-12.5
Max. %Ni	0.3	0.4 max	0.4	0.3-0.8
Max. %Cu	0.3	0.3 max	-	-
Max. CE	0.62	0.96	2.41	3.26
Min. rekgrens MPa	320	440	450	500
Treksterkte MPa	460-610	590-780	630-730	700-850
Min. rek %	18-20	15	17-19	14-16
Kerfslagwaarde	27J +20°C	27J +20°C	27J +20°C trans. 40J +20°C long.	27J +20°C

Samengevat

De lasbaarheid van speciale CrMoV-stalen is over het algemeen goed, maar wel met de nodige voorzorgsmaatregelen. Voorwarmen, een lage warmte-inbreng en het vermijden van waterstofbronnen in de nabijheid van de las verminderen het gevaar op scheurvorming. Ook een goede warmtebehandeling na het lassen is noodzakelijk voor een goed resultaat. ■

Gebruikte normen

- EN 1011, Lassen – Aanbevelingen voor het lassen van metalen, augustus 2002.
- EN 10213-2, Technische leveringsvoorwaarden voor gietstaal voor drukvaten – Deel 2: Staalsoorten voor gebruik bij omgevingstemperatuur en verhoogde temperaturen, februari 1996.
- EN 10216-2, Seamless steel tubes for pressure purposes – Technical delivery conditions – Part 2: Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperatures, augustus 2007.
- NEN-EN 10222-2, Smeedstukken van staal voor drukvaten –

Deel 2: Ferritische en martensitische staalsoorten met gespecificeerde eigenschappen bij verhoogde temperatuur, januari 2000.

- NPR ISO/TR 15608, Lassen – Leidraad voor een groepsindeling van metallische materialen, april 2000.

Literatuur

- K. Bekkers, Laaggelegeerde kruipvaste staalsoorten, 18-10-2000, LPI boek 2.
- ASM-handbook volume 1: Properties and Selection; Irons, steel and high performance alloys.
- ASM-handbook volume 6: Welding, Brazing and Soldering.
- API-RP-941, Industrie-ervaringen van CrMo-stalen in waterstof toepassingen.

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