



Quenched en Tempered

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 de vorige twee afleveringen werden de staal-soorten uit materiaalgroepen 1 en 2 belicht. Deze maand gaan we in op de materialen uit groep 3 volgens de groepsindeling van ISO/TR 15608. Dit zijn de Quenched en Tempered staalsoorten met een rekgrens groter dan 360N/mm^2 .

De materialen uit groep 3 krijgen een speciale warmtebehandeling in combinatie met het toevoegen van legeringselementen om de benodigde sterkte te behalen. Aansluitend op het walsen, wordt de plaat opnieuw verhit tot in het austenietgebied. Hierna wordt de plaat afgeschrikt door water met behulp van een spray-installatie.

Doordat het materiaal gelegeerd is, ontstaat na het afschrikken een martensitische of gedeelteilijk bainitische structuur. De hoeveelheid en soort legeringselementen moeten zodanig zijn dat ook bij dickere platen een homogene structuur ontstaat na het afschrikken. De chemische samenstelling is dus afhankelijk van de dikte. Elementen die goede doorharding bevorderen, zijn chroom, nikkel en borium. Na het afschrikken is de structuur geheel martensitisch en moet hoog ontlaten worden ($500\text{-}700^\circ\text{C}$) zodat er een gunstigere structuur ontstaat met ontlaten martensiet en fijn bainiet. De sterkte kan min of meer geregeld worden met de keuze van de ontlaattertemperatuur. Tijdens ontlaten vindt naast de structuurverandering ook precipitatie (uitscheiding) van carbiden plaats, deze zorgen mede voor de hoge sterkte. Het voordeel hiervan is dat er een taaie lasverbinding gemaakt kan worden die geen aansluitende warmtebehandeling nodig heeft. Het nadeel is echter dat de spanningsconcentraties in combinatie met waterstof kunnen leiden tot waterstofscheuren.

Lasbaarheid

De vorming van martensiet start al bij een temperatuur van 400°C . Deze martensiet starttemperatuur (ms) is afhankelijk van de chemische samenstelling. Bij snelle afkoeling tijdens bijvoorbeeld het lassen kan er weer martensiet ontstaan in en naast de las. Omdat martensiet zeer hard is en weinig rek heeft, kan dit leiden tot scheuren. Bij een langzame afkoeling tijdens lassen zal geen martensiet ontstaan en

zal de zone naast de las ontlaten worden.

Bij deze staalsoorten is de verhouding tussen de rekgrens en de treksterkte erg hoog, verhoudingen van 0,9 zijn geen uitzondering. Hierdoor zijn ze gevoelig voor schade tijdens en na het lassen. De afkoelsnelheid in het gebied tussen 800 en 500°C speelt hierbij een belangrijke rol. Door de afkoelsnelheid wordt de mate van harding en de opbouwsnelheid van spanningen in een starre constructie bepaald.

Op zich zijn deze staalsoorten lasbaar, maar men moet de spelregels wel in ere houden. De staalsoorten hebben vaak een hoog koolstofgehalte en veel legeringselementen om de doorharding vooral bij dikke plaat mogelijk te maken. Hierdoor zijn er risico's voor hoge hardheden in de warmtebeïnvloede zone (WBZ) en scheurvorming.

Het goed berekenen van de voorwarmtemperatuur, gebruik makend van de koolstofequivalent (CE) en de warmte-inbreng (HI), is zeer belangrijk. Dit kan met de NEN-EN 1011, maar ook staalleveranciers zoals Thyssen en SSAB hebben een computerprogramma gemaakt waarin de chemische samenstelling van de platen, de HI en de spanningssituatie ingevuld kunnen worden en waaruit dan het veilige werkgebied komt.

Een manier om de spanningen in een starre constructie te verlagen, is het toepassen van een taaie bufferlaag (laag met veel rek) die in staat is een groot deel van de las- en krimpspanningen op te nemen.

Kwalificaties

Alle staalleveranciers hebben een eigen recept voor de chemische samenstelling, welke sterk verandert met de toename van de plaatdikte. Dit maakt het voor de lascoördinator lastig. Een laskwalificatie op een schone plaat (laag CE) die geen voorverwarmen behoeft, is niet per definitie voor het hele geldigheidsgebied (dikte en staalsoort) bruikbaar. Als de

dikte toeneemt, waarbij vaak meer legeringselementen worden toegevoegd en dus het CE toeneemt of er wordt staal van een andere staalfabrikant gekocht met een hoog CE, zal er ondanks de kwalificatie toch voorgewarmd moeten worden om scheuren te voorkomen. Dit betekent dat er een nieuwe kwalificatie gemaakt moet worden, rekening houdend met het hoge CE.

Koudscheuren

Hogesterkte stalen zijn gevoelig voor koudscheuren of waterstofscheuren. Zo kan een hoeveelheid van 1 ppm waterstof al scheuren veroorzaken. Een bekend en boeiend fenomeen zal hier heel kort worden uitgelegd. Het mechanisme voor het ontstaan van koudscheuren wordt nog niet helemaal begrepen.

Koudscheuren worden ook wel waterstofscheuren genoemd. De naam verraadt de bron van de scheuren. Tijdens het lassen wordt waterstof opgenomen in het vloeibare smeltbad. Bij hoge temperatuur is de oplosbaarheid van waterstof in het vloeibare staal hoog. Gedurende het stollen neemt de oplosbaarheid sterk af. Een deel van de waterstof zal ontsnappen en een deel wordt ingevangen en zorgt voor oververzadiging van de matrix. Het waterstof dat in het metaal achterblijft, zal gedeeltelijk recombineren en als belletjes zichtbaar zijn, met name langs korrelgrenzen, microscheurtjes en/of bij niet metallische insluitels. Een klein gedeelte blijft in het rooster over als diffundeerbare waterstof, dus waterstof dat zich kan verplaatsen. Tijdens het verder



Figuur 1 - Werkgebied afkoelsnelheid dT800-500°C

afkoelen, zal het waterstof gedeeltelijk door de las diffunderen naar de warmtebeïnvloede zone (WBZ) of ontsnappen naar de lucht. De achtergebleven atomaire waterstof gaat zich onder aanwezige en/of aangebrachte spanningen (ook lasspanningen) verzamelen in gebieden van het rooster waar de elastische rek en vervorming het grootst is. Elastische rekzones komen onder meer voor bij de tip van microscheuren. Het waterstof veroorzaakt een verzwakking van de bindingen in het rooster en de scheur kan zich uitbreiden. Als de scheur zich uitbreidt, zal de elastische rek afnemen (relaxatie) ter plaatse van de oude scheurtip. Het waterstof verplaatst zich dan weer naar de nieuwe scheurtip. Uiteindelijk ontstaat er een macroscheur.

Transversale scheuren ontstaan als er waterstof in combinatie met longitudinale spanningen aanwezig zijn. Longitudinale scheuren ontstaan in de WBZ of in het basismateriaal (underbead cracking) als gevolg van lage spanningen.

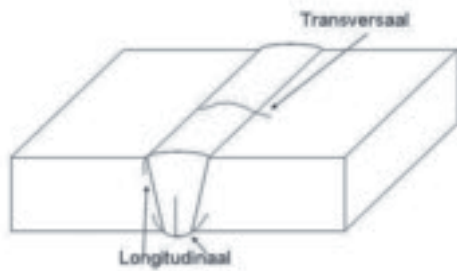
Ingrediënten voor koudscheuren

- Bron van waterstof, lastoevoegmateriaal, vuil vanaf het plaatoppervlak.
- Hoge spanningen (aanwezig of aangebracht). Spanningen zijn altijd aanwezig rond de las als gevolg van krimpen.
- Gevoelige microstructuur, een brose hardings-

Tabel 1 - Indeling materialengroep 3, ISO/TR 15608

3	Quenched and Tempered staalsoorten en precipitatiehardende soorten, uitgezonderd rvs met een specifieke minimum rekgrens $REH > 360N/mm^2$
3.1	Quenched and Tempered stalen met minimum rekgrens $360N/mm^2 < REH \leq 690 N/mm^2$
3.2	Quenched and Tempered stalen met minimum rekgrens $REH > 690N/mm^2$
3.3	Precipitatiehardende staalsoorten, uitgezonderd rvs

Figuur 2 - Mogelijke vormen van koude scheuren, ook wel waterstofscheuren genoemd



structuur zoals martensiet wordt bevorderd door een hoog CE.

- Temperaturen tussen -100°C en 200°C.

Als er geen of weinig waterstof of geen hoge spanningen aanwezig zijn, ontstaan er gelukkig ook geen scheuren. Dit betekent dat je dit scheurfenomeen wel degelijk kan voorkomen. Preventieve maatregelen voor een scheurvrije lasverbinding in hogesterkte stalen zijn:

- Selecteren van een ondermatching lasmateriaal (let op de code, vaak is slechts tien procent lagere sterkte toegestaan en dit betekent dat er een dikere las gemaakt moet worden om aan de vereiste sterkte te voldoen, dit houdt in een toename van de lasinhoud en dus van de laskosten). Een veel toegepaste methode is het gebruik van een relatief vergevingsgezind lastoevoegmateriaal voor de grondlaag, om schade bij snelle afkoeling te voorkomen.
- Lastoevoegmateriaal gebruiken met een laag waterstofgehalte, bij voorkeur kleiner dan 3ml/100gram lasmetaal. Bijvoorbeeld elektroden uit vacuümverpakking of - mits een goed protocol voorhanden is - het bakken en drogen van elektroden in een droogoven.
- Voorwarmen om de afkoelsnelheid te verlagen en

kans op vorming van hardingsstructuren te voorkomen. Tegelijkertijd krijgt waterstof kans om uit te treden. Bij voorkeur elektrisch voorwarmen. Doordat het werkstuk op temperatuur blijft, ben je eigenlijk gelijk aan het waterstofarm gloeien (ook wel bekend als soaken).

- Warmtebehandeling na het lassen toepassen, bijvoorbeeld spanningsarmgloeien om de spanningen te verminderen en de waterstof de kans te geven om uit te treden. Normaal moet dit bij een temperatuur tussen 530 en 580°C, met een richtlijn voor de tijdsduur van twee minuten per mm. Controleer echter altijd de adviestemperatuur van de staalfabrikant.
- Waterstofarmgloeien direct na het lassen op een temperatuur van 200°C, zodat de waterstof kan ontsnappen. Door de verhoogde temperatuur neemt de diffusiesnelheid van waterstof toe en zal het dus sneller uit het materiaal verdwijnen.
- Optimale lasnaadvorm kiezen om zo min mogelijk spanningen op te bouwen tijdens het lassen van de constructie. Denk hierbij aan veel relatief dunne lasrupsen en zoveel mogelijk verkant lassen.

Samengevat

Het gaat nogal eens mis, maar als je je aan de spelregels houdt, is het materiaal goed lasbaar en kunnen er mooie constructies mee gemaakt worden. Met het steeds meer toenemen van de treksterkte van nieuwe materialen wordt de positie van een lasnaad steeds belangrijker. Het ontwikkelen van lastoevoegmaterialen voor hoge sterkte is in volle gang, maar blijft achter bij de sterkte van plaatmaterialen. Bij het ontwerpen van constructies van hogesterkte staal moet hier rekening mee worden gehouden, lasnaden moeten in gebieden met lage spanningen wor-

Tabel 2 - Materialengroep 3, volgens ISO/TR 20172

3.1	EN 10028-6 EN 10025-6 EN 10208-2 EN 10222-4 EN 10213 EN 10216-2 EN 10216-3	Drukvaten Constructiestaal Buizen klasse B Smeedstukken druvaten Gietstaal voor druktoepassing Naadloze buizen v onder druk Naadloze buizen v onder druk	P460Q, P500Q, P690Q S460Q, S500Q, S550Q, S620Q S690Q L415QB, L450QB, L485QB L550QB P420QH G20M05 25CrMo4, 20CrMoV13-5-5 P620Q, P690Q
3.2	EN 10025-6	Constructiestaal hoge vloeigrens	S890Q, S960Q
3.3	EN 10137-3*	Constructiestaal hoge vloeigrens	S500A, S550A, S620A, S690A

*) EN 10137-3 is ingetrokken, omdat precipitatiehardende staalsoorten nauwelijks werden gebruikt.

Tabel 3 - Productanalyse en mechanische eigenschappen van diverse staalsoorten uit groep 3

	3.1 P460Q	L555QB	S690QL1	3.2 S960QL	3.3 S620A
Max. %C	0,18	0,16	0,22	0,22	0,03-0,12
Max. %Si	0,50	0,45	0,86	0,86	0,5
Max. %Mn	1,70	1,80	1,80	1,80	0,3-1,80
Max. %P	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Max. %S	0,015	0,020	0,012	0,012	0,015
Tot min. %Al	-	-	-	-	0,080
Max.%N	0,015	-	0,016	0,016	0,015
Max. %Nb	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06
Max. %V	0,08	0,10	0,14	0,14	0,10
Max. %Ti	0,03	0,06	0,07	0,07	0,10
Max.%Mo	0,50	-	0,74	0,74	0,50
Max. %B	0,005	-	0,006	0,006	-
Max. %Cr	0,50	-	1,60	1,60	0,30
Max. %Ni	1,00	-	2,10	2,10	2,0
Max. %Cu	0,3	-	0,55	0,55	2,0
Max. % Zr	0,05	-	0,17	0,17	
Max. CE t < 50	-	0,45	0,65	0,82	-
50 < t < 100	-		0,77	-	
100 < t < 150	-		0,85	-	
Min. rekgrens MPa	460	555	690	960	620
Treksterkte MPa	590-720	625	770-940	980-1150	710-880
Min. rek %	19	18	14	10	15
Kerfslagwaarde	27J -20°C	55J +0°C	27J -60°C	27J -40°C	30J -40°C



- = niet gespecificeerd
- Q = Quenched and Tempered
- L = eisen kerfslagwaarden 27J bij -40°C

- L1 = eisen kerfslagwaarden 27J bij -60°C
- B = buis klasse B
- Max CE = maximum koolstofequivalent

den geplaatst. De rol van de ontwerper wordt hierbij steeds belangrijker. ■

Gebruikte normen

ISO/TR 15608, CEN-ISO/TR 20172:2006,
EN 10025-6, EN 10028-6, EN 10137-2, EN 10208-2,
EN 10222-4, EN 10213-2, EN 10216-2, EN 10216-3,
EN 10137-2, EN 10137-3.

Literatuur

- T. Luijendijk, Constructiestaal op hoger niveau door legeren en gecontroleerd walsen, Metaalmagazine, 29-06-2005.
- A. Lesnewich, Influence of welding on steel weldment soundness, ASM Handbook 6, Welding, Brazing & Soldering.
- R.B. Smith, Welding on Carbon Steels, ASM Handbook 6, Welding, Brazing & Soldering.
- H. Bregman, Het verschijnsel waterstofbrosheid, 01-09-1998.
- H. Heuser, C. Jochum, E. Stracke, Weld metal as strong as base metal?, Mat.-wiss. U Werkstofftech. 2007, 38 No7 pag. 515-520.

Formule

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

Door Borium als legeringelement toe te passen en de grote invloed van B op de hardbaarheid wordt ook wel gebruik gemaakt van een andere formule voor het berekenen van het koolstofequivalent. Dit is de formule van Ito en Bessyo:

$$\text{Pcm} = \text{C} + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{(\text{Mn} + \text{Cr} + \text{Cu})}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5\text{B}$$

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

k = thermisch rendement van lasproces

U = elektrische spanning [V]

I = stroom [A]

v = voortloopsnelheid [mm/sec]