



Voorwarmen voor het lassen

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 beschrijvingen van de staalgroepen in de voorgaande afleveringen is een aantal keer bij de lasbaarheid aangegeven dat een voor-warmtemperatuur wordt voorgeschreven. Waarom moet worden voorverwarmd en op welke temperatuur?

Het voorwarmen bij het lassen van ongelegeerde of laaggelegeerde ferritische staalsoorten heeft alles te maken met het voorkomen van koud- of waterstofscheuren [1]. Waterstofscheuren treden op door een combinatie van brosse hardingsstructuren (bainiet en martensiet) in en rond de las, diffundeerbare waterstof, een lage temperatuur en spanningen in het materiaal. Als één van de factoren afwezig is, is de kans op waterstofscheuren klein [2]. In het vervolg van dit artikel zal kort op deze factoren worden ingegaan en op de invloed van voorwarmen.

In NEN-EN 1011-2 'Lassen - Aanbevelingen voor het lassen van metalen - Deel 2: Booglassen van ferritische staalsoorten' worden richtlijnen gegeven voor het bepalen van de voorwarmtemperatuur [3]. Ook hierop zal kort worden ingegaan.

Hardingsstructuren

In aflevering 6 van deze serie is ingegaan op het

fasediagram van staal en in aflevering 7 op het gebruik van Continuous Cooling Temperature (CCT)-diagrammen [4,5]. Met behulp van deze diagrammen kan worden bepaald welke microstructuren te verwachten zijn. Fasediagrammen zijn evenwichtsdiagrammen en mogen in principe alleen gebruikt worden als het metaal zeer langzaam afkoelt. Bij versnelde afkoeling zullen niet-evenwichtsmicrostructuren ontstaan, zoals bainiet en martensiet. Deze structuren komen niet in het fasediagram voor, maar zijn terug te vinden in CCT-diagrammen. Zeker martensiet wordt gekenmerkt door een hoge sterkte, maar een lage breekrek. Het is een brosse structuur die niet wenselijk is in de omgeving van lassen.

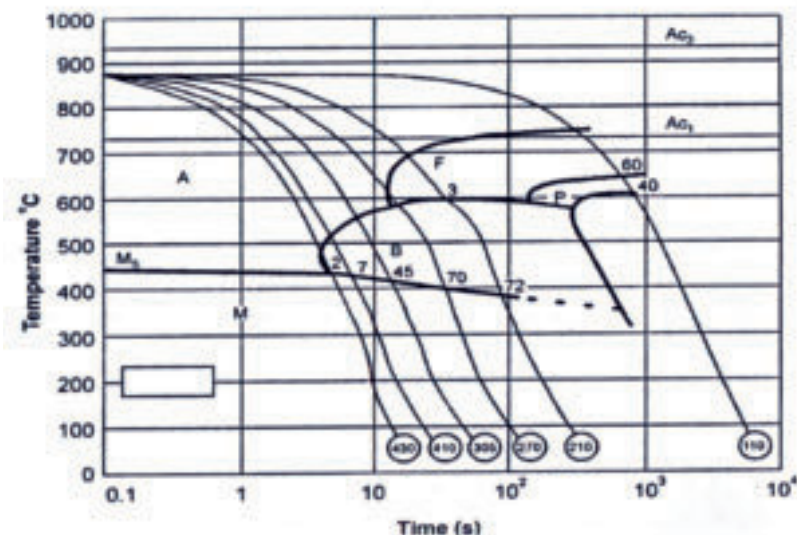
In figuur 1 is het CCT-diagram voor AH36 staal weer-gegeven. Bij een afkoelsnelheid lager dan circa 2 °C/s zal een volledig ferritische/perlitische structuur ontstaan. Als de afkoelsnelheid groter is dan 200 °C/s zal martensiet worden gevormd. In het tussengebied komt ferriet, bainiet en martensiet voor in verschillende verhoudingen.

De afkoelsnelheid van het materiaal, dat een dusdanige temperatuur heeft gehad dat het austenitisch is geworden, is dus van essentieel belang. De afkoelsnelheid wordt bepaald door onder meer de warmte-inbreng, de plaatdikte en het warmtegeleidingsvermogen van het materiaal. Het benaderen van de afkoelsnelheid ($\delta T / \delta t$) kan met behulp van vergelijkingen opgesteld door Rosenthal [2]. Voor een tweedimensionale warmtehuishouding geldt:

$$2D: \frac{\delta T}{\delta t} = - \frac{2\pi k^2 d^2 (T - T_0)^3}{\alpha W^2} \quad (1)$$

- α : temperatuurvereffeningscoëfficiënt
- d : plaatdikte
- k : warmtegeleidingscoëfficiënt

Figuur 1 - Fasediagram voor continu afkoelen van AH36 (vergelijkbaar met S355J0)



t: tijd
 T: temperatuur als functie van plaats en tijd
 T_0 : voorwarmtemperatuur
 W: warmte-inbreng

Uit de vergelijking kan men opmaken dat de afkoelsnelheid afneemt bij grotere warmte-inbreng, een kleinere plaatdikte en een hogere voorwarmtemperatuur. De warmte-inbreng (HI) kan worden berekend met behulp van de bekende vergelijking:

$$HI = \eta \cdot \frac{UI}{v} \quad (2)$$

U: boogspanning
 I: stroomsterkte
 v: lassnelheid
 η : thermisch rendement

Het thermisch rendement van BMBE, MIG en TIG is respectievelijk 70-90%, 60-90% en 40-70%. Bij hoger gelegen staalsoorten verschuiven legeringselementen de ferritische en bainitische transformaties naar langere tijden. Het wordt dus gemakkelijker een staal te harden. Voor laaggeleerd constructiestaal kan de invloed van de samenstelling op de hardbaarheid worden vastgesteld met behulp van het koolstofequivalent (CE).

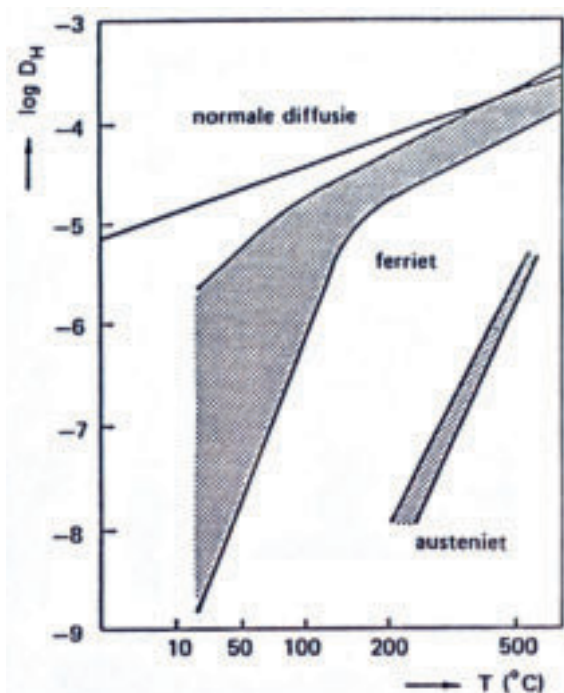
$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \text{ in } \% \quad (3)$$

Als kritische waarde van het koolstofequivalent wordt vaak de waarde 0,45 genomen.

Waterstof

Waterstof kan in het lasmetaal tijdens het lassen worden opgenomen. Bronnen van waterstof zijn bijvoorbeeld een vochtige atmosfeer, vochthoudend roest en in het geval van lassen met beklede elektrode: de bekleding. Bij het stollen van het lasmetaal zal bij het smeltpunt, door een sprong in de oplosbaarheid, oververzadiging van waterstof ontstaan. Bij verder afkoelen zal het waterstof zich verspreiden richting warmtebeïnvloede zone en moeder materiaal. Een groot gedeelte zal ontsnappen, een ander gedeelte zal recombineren tot moleculen en een kleine hoeveelheid zal als zogenaamde diffundeerbare waterstof in het rooster achterblijven.

De diffundeerbare waterstof kan zich verplaatsen, bij voorkeur naar gebieden in het rooster waar de elastische rek het grootst is, zoals de tip van een scheur. Een van de modellen die het mechanisme van het ontstaan van waterstofscheuren beschrijft,



Figuur 2 - Diffusiecoëfficiënt van waterstof in ferritisch materiaal als functie van de temperatuur [2]

stelt dat waterstof aan een scheurtip de bindende energie tussen de atomen verlaagt waardoor de scheur zich gemakkelijk kan uitbreiden.

Door voorwarmen wordt de afkoelsnelheid verlaagd en heeft het waterstof een langere periode om aan het metaal te ontsnappen. Toevoegmaterialen kunnen worden gekwalificeerd volgens een waterstofschaal, weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 - Waterstofkwalificatie

Diffundeerbaar waterstofgehalte in ml/100g lasmetaal	Waterstofschaal
> 15	A
10 ≤ 15	B
5 ≤ 10	C
3 ≤ 5	D
≤ 3	E

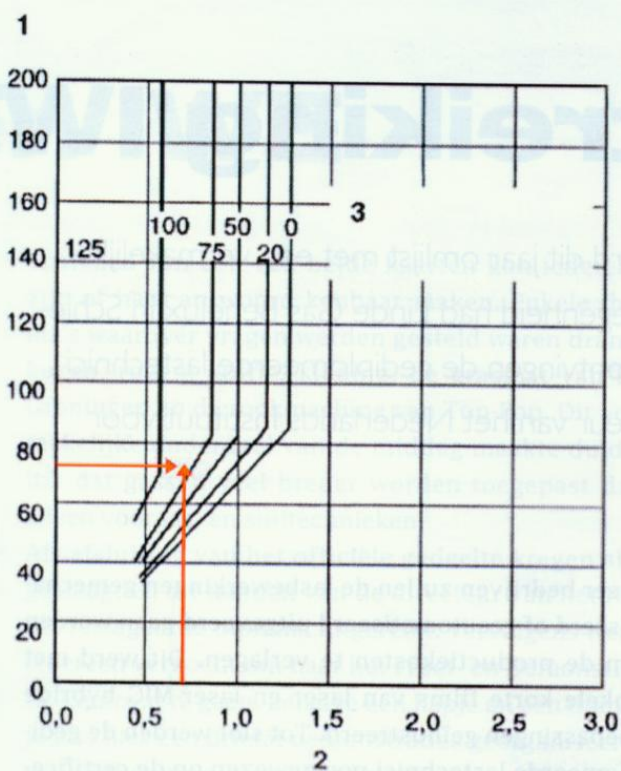
Temperatuur

De temperatuur bepaalt de bewegelijkheid van waterstof, uitgedrukt in de diffusiecoëfficiënt (zie figuur 2). Bij temperaturen onder 200 °C is de diffusie van waterstof beperkt. Voorwarmen of een warmtebehandeling na het lassen kan, als waterstof in grotere hoeveelheden aanwezig is, het waterstofgehalte verlagen.

Spanningen

Krimpverschijnselen resulteren in restspanningen. Deze spanningen zijn onder meer afhankelijk van de aard van de constructie. Ook fasetransformaties dragen bij aan het spanningsniveau. Martensietvorming verhoogt de trekspanning in en rond de las. Voor-

Lees verder op pagina 11.



4	A	B	C	D	E
5	0,34	0,39	0,41	0,46	0,48

Figuur 3 - Voorwarmtemperatuur als functie van de warmte-inbreng en gecombineerde materiaaldikte

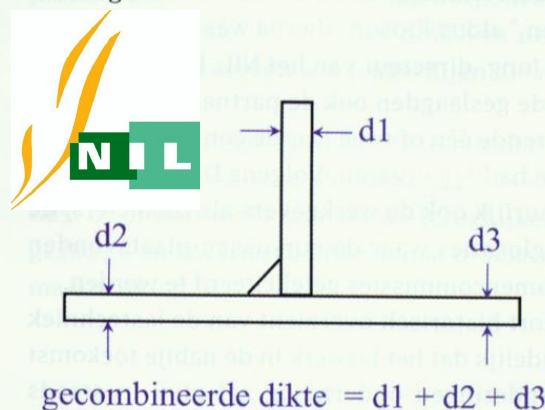
warmen verlaagt de temperatuurgradiënt bij de las en beperkt de martensietvorming waardoor de trekspanning in de buurt van de las afneemt.

- 1: gecombineerde dikte (mm)
- 2: warmte-inbreng (kJ/mm)
- 3: minimale voorwarmtemperatuur (°C)
- 4: waterstofkwalificatie
- 5: allen te gebruiken voor koolstofequivalenten niet boven vermelde waarde [3]

Richtlijnen voor bepalen voorwarmtemperatuur

Uit het voorgaande blijkt dat het ontstaan van waterstofscheuren afhankelijk is van een groot aantal parameters. Ook het exacte mechanisme is nog steeds niet helemaal zeker. Uit praktische overwegingen is het dus nuttig gebruik te maken van richtlijnen die een breed toepassingsgebied omvatten. In NEN-EN 1011-2 'Lassen - Aanbevelingen voor het lassen van metalen - Deel 2: Booglassen van ferritische staalsoorten' worden richtlijnen gegeven voor het bepalen van de voorwarmtemperatuur [3]. Om tot deze temperatuur te komen, kan een stappenplan worden gevolgd. Dat begint met het bepalen van het koolstofequivalent, een waterstofkwalificatie, de geometrie van de las, de gecombineerde plaatdikte en de minimale warmte-inbreng per las. De gecombineerde plaatdikte geeft feitelijk aan hoe goed de constructie de gebrachte warmte kan

afvoeren. Het beïnvloedt dus de afkoelsnelheid. In een voor de omstandigheden geschikte grafiek kan de voorwarmtemperatuur worden afgelezen. Mocht deze temperatuur niet toepasbaar zijn, dan moeten de randvoorwaarden worden aangepast. Dit kan bijvoorbeeld betekenen dat met een andere warmte-inbreng moet worden gelast. In figuur 3 is een voorbeeld van een dergelijke selectiegrafiek voor de voorwarmtemperatuur weergegeven. Voor een hoeklas in plaat met een dikte van 25 mm (zie figuur 4) is de gecombineerde dikte $3 \times 25 = 75$ mm. Als het materiaal een koolstofequivalent heeft van 0,41, de waterstofkwalificatie is C (basische draad met een waterstofgehalte van 9 ml/100g neergesmolten lasmetaal) en er wordt gelast met een warmte-inbreng van 0,7 kJ/mm, dan kan worden afgelezen dat de voorwarmtemperatuur circa 75 °C bedraagt. ■



Figuur 4 - Gecombineerde dikte bij hoeklas

Referenties

1. G. van Krieken, Materialenkennis voor de laspraktijk, Nr.14, Materialen en hun lasbaarheid, Lastechniek, 73, 2007, 6-9.
2. G. den Ouden, Lastehnologie, Delft University Press, ISBN 90-407-1285-9, 2000.
3. European standard, EN 1011-2: Welding - Recommendations for welding of metallic materials - Part 2: Arc welding of ferritic steels. January 2001.
4. M. Hermans, Materialenkennis voor de laspraktijk, Nr.6, IJzer-koolstofdiagram fasediagram, Lastechniek, 73, 2007, 5-8.
5. R. Pieters, Materialenkennis voor de laspraktijk, Nr.7, TTT- en CCT-diagram, Lastechniek, 73, 2007, 12-15.

Dr. ir. Marcel Hermans is docent aan de Technische Universiteit Delft, afdeling Technische Materiaalwetenschappen, sectie Joining and Mechanical Behaviour.