
Lassen van ongelijksoortige verbindingen

Kan dat allemaal wel!

BIL / NIL Lassymposium, 24 en 25 november 2009, Gent, België

Het komt in de praktijk regelmatig voor dat bepaalde typen roestvast staal aan andere soorten materiaal moeten worden gelast. Een algemene stelregel hierbij is dat dit steeds zorgvuldig moet geschieden, omdat door menging van werkstukmateriaal en toevoegmateriaal of van twee verschillende werkstukmaterialen, er ongunstige micro structuren kunnen ontstaan.

Inleiding

Een ieder die zich bekwaamt in de lasmetaalkunde of hierbij zijdelings wordt betrokken, heeft wel eens als taak ongelijksoortige materialen aan elkaar te lassen. Daarbij rijst uiteraard de vraag wat ongelijksoortige lasverbindingen zijn [1]. Hieronder zou men kunnen verstaan een lasverbinding tussen twee materialen met duidelijk verschillende chemische samenstellingen met gebruikmaking van een toevoegmateriaal met een wéér sterk afwijkende chemische samenstelling. Een voorbeeld: een ongelegeerd staal aan een austenitisch roestvast staal met als toevoegmateriaal een overgangselektrode van het type AWS A5.4: E309L-16.

De chemische samenstelling en de hieruit voortkomende kristalstructuur van de uiteindelijk verkregen lasverbinding is een functie van de chemische samenstelling van de te lassen materialen, het type lastoevoegmateriaal en de opmenging. De chemische samenstelling van de te verbinden materialen is veelal een gegeven. De keuze van het lastoevoegmateriaal en de chemische samenstelling hiervan is de vraag.

De las moet altijd net zo sterk zijn als de zwakste van de te verbinden materialen. Verder dient men rekening te houden met de uiteindelijke toepassing. Gelaste componenten die onderhevig zijn aan mechanische of thermische schokbelasting dienen aan vooraf vastgestelde taaiheidseisen te voldoen. De opmenging met de basismaterialen en het lasproces zijn zaken waaraan veelal onterecht te weinig aandacht wordt besteed.

Structuur voorspellen

De structuur van het lasmetaal wordt vooral bepaald door de chemische samenstelling, de doorlopen warmte cyclus en lasuitvoering.

De opmenging met de te lassen ongelijksoortige materialen is onder andere sterk afhankelijk van het lasproces, te weten voor:

SMAW 10 – 25%
GMAW 5 – 50%
GTAW 0 – 100%
SAW 30 – 70%

Verder is de opmenging met de basismaterialen afhankelijk van:

- elektroden- c.q. draaddiameter
- lassnelheid
- stroomsterkte
- lasuitvoering
- plaatdikte
- voorwarmtemperatuur
- stroomsoort
- polariteit
- type lastoevoegmateriaal



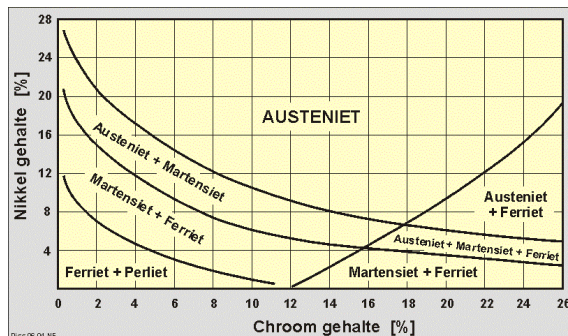
Eerst als deze facetten bekend zijn kan men, gebruikmakend van bijvoorbeeld het Schaeffler-diagram, de te verwachten structuur van het lasmetaal voorspellen.

Schaeffler diagram

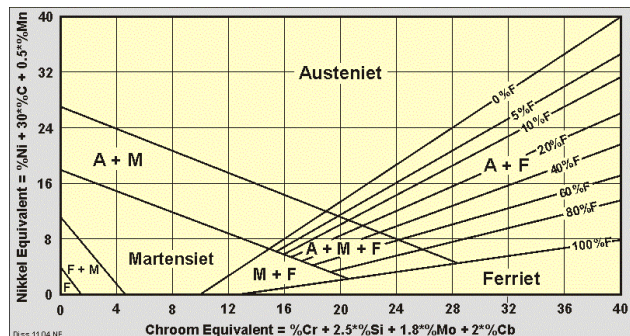
Het Schaeffler diagram heeft in de loop van de jaren nogal een evolutie doorgemaakt. De eerste publikatie over het lassen van ongelijksoortige materialen was te lezen in 'Welding Journal' van oktober 1947 (verslag van het A.W.S. congres) onder de naam: 'Selection of austenitic electrodes for welding dissimilar metals' [2]. Schaeffler baseerde zijn diagram op het oude, welbekende Maurer-diagram (zie figuur 1). Maurer had vastgesteld dat een staal met ± 18% Cr - 8% Ni en hoog C, afgeschrikt van hoge temperatuur in water, een volledige austenitische structuur veroorzaakte. Het beroemde 18/8 of VA was geboren. In dit basisdiagram werden door Maurer al de ferriet/austeniet-gebieden aangegeven als functie van het Cr- en Ni-gehalte.

Om nu voor lasmetaal een gelijksoortig diagram te ontwikkelen bedacht Schaeffler diverse aanpassingen, zoals het invoeren van correctie-factoren teneinde de structuur te kunnen omschrijven in ferrietvormende en austenietvormende elementen. Hij realiseerde dit in zogenaamde Cr- en Ni-equivalenten.

Schaeffler ging uit van een 4,8 mm dikke elektrode en trok hiermede een rups op niet voorverwarmd SAE 4140 basismateriaal met de volgende lasparameters: 165 A - 27 V - 15 cm/min. Aan deze opgelaste rups bepaalde hij het ferriet, de opmenging, de structuur en de chemische samenstelling.



Figuur 1. Maurer-diagram



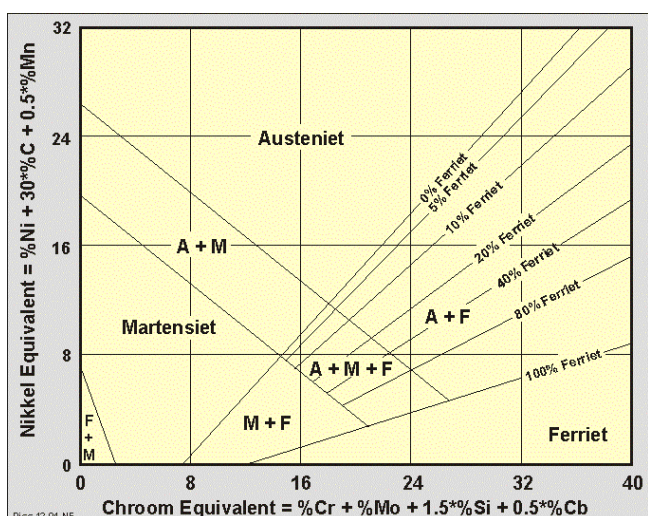
Figuur 2. Ontwerpdigram van Schaeffler

De grenswaarden voor de diverse elementen werden vastgelegd. Deze moesten vallen binnen de volgende grenzen:

| | |
|----|----------|
| C | max 0,2% |
| Si | max 1 % |
| Mn | max 4 % |
| Mo | max 3 % |
| Nb | max 1,5% |

Het eerste diagram gold slechts voor een beperkt aantal lastoevoegmaterialen, te weten E308 - 309 - 309Nb - 310 - 312 - 316 - 317 en 318. De nauwkeurigheid in de ferrietmeting bedroeg ± 2%.

Deze eerste publikatie werd gevolgd door een tweede publikatie in 'Iron Age' van juli 1948 met als titel 'Welding dissimilar metals with stainless electrodes' [3] (zie figuur 2). In november 1949 publiceerde Schaeffler zijn derde diagram in 'Metal Progress' [4] onder de titel: 'Constitution diagram for stainless



Figuur 3. Derde diagram van Schaeffler

steel weld metal' (zie figuur 3). In dit diagram werden veranderingen doorgevoerd in het Cr-equivalent. De elementen Si, Mo en Nb kregen een lagere correctiefactor.

Verbeterde nauwkeurigheid

In november 1956 publiceerde DeLong, een collega van Schaeffler, een artikel met de titel 'Measurement and calculation of ferrite in stainless steel weldmetal' [5], waarin hij enkele veranderingen voorstelde in het Schaeffler-diagram. Het voorstel luidde:

- wijzig de ferriet-lijnen in het Schaeffler-diagram;
- voeg de invloed van stikstof toe (correctiefactor 30x) in het Ni-equivalent;
- druk het ferrietgehalte uit in Ferriet Nummer (FN) in plaats van in volume-procenten.

Het introduceren van FN, gemeten met de Magne Gage, bevordert de meetnauwkeurigheid. Met een speciaal voor dit doel ontwikkeld apparaat, torsiebalans met een permanent magneet van $\varnothing 2,0 \times 50$ mm en gespecificeerde magnetische sterkte, wordt de magneet van een glad te meten oppervlakte afgetrokken. De kracht welke hiervoor benodigd is, is een maat voor het Ferriet Nummer. Het voordeel van deze methode is dat overal op de wereld een goede calibratie kan plaatsvinden en dat uitgegaan kan worden van uniforme ijkmonsters.

Het DeLong voorstel was gebaseerd op een gedegen onderzoek. DeLong gebruikte 600 opdikkingen met RVS elektroden. Er werden 8 lagen opgelast welke met water werden gekoeld. Slechts de laatste laag, gelast met korte boog en een lage stroomsterkte, werd afgekoeld aan lucht. Van de laatste laag werd ferriet bepaald door meting en door een berekening, gebaseerd op de chemische samenstelling.

De correctiefactor voor stikstof bleek belangrijk omdat afhankelijk van de booglengte, bij het lassen grote variaties in stikstof in het lasmetaal kunnen optreden. DeLong stelde verder vast dat de elektrode-diameter en de elektrode-bekleding invloed hadden op het ferrietgehalte.

Nu is het niet zo dat Schaeffler geen rekening gehouden had met het stikstofgehalte. Hij ging uit van een koppeling van het stikstofgehalte aan het chroomgehalte, te weten:

0,05% N tot 18% Cr

0,07% N bij 18 - 25% Cr

0,10% N bij > 25% Cr

Samenvatting Schaeffler en DeLong diagram

Indien men de pro's en de contra's van beide besproken diagrammen op een rijtje zet kan men de volgende conclusies trekken:

Basis Schaeffler-diagram:

- metallografisch onderzoek (uitgedrukt in procenten [%])
- magnetische meetmethode

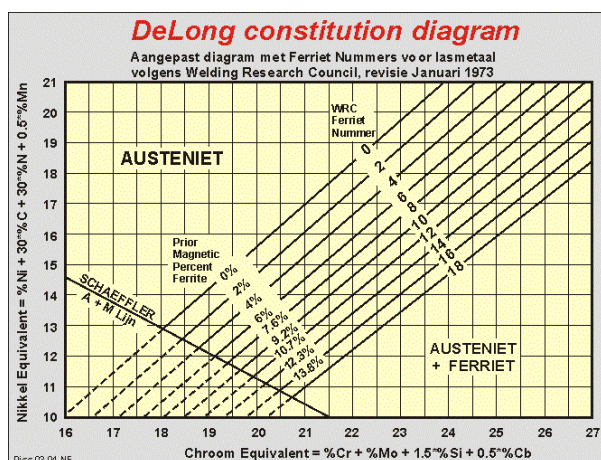
Basis DeLong-diagram:

- Magne Gage-metingen, uitgedrukt in FN, gecalibreerd op ijzer/koper ijkmonsters (laagdiktemonsters) en op lasijkmonsters waaraan metallografisch het ferrietgehalte van te voren was bepaald.

Men zou mogen zeggen dat het DeLong diagram beter is gedefinieerd. Voor de kopergeleegde lasmetalen en de hoger stikstof bevattende lasmetalen is DeLong nauwkeuriger (zie figuur 4). Het Schaeffler-DeLong-diagram is vele jaren toegepast, doch leidde in de praktijk tot discussies.

WRC-diagram (Welding Research Council)

In december 1988 publiceerden Siewert en Olson een artikel waarbij een nieuw diagram, het WRC 1988-diagram, werd gepresenteerd [6] 'Ferrite number Prediction to 100 FN in stainless steel weld metal' (Welding Journal 12, 1988, p289s-298s). Dit diagram bleek nauw-



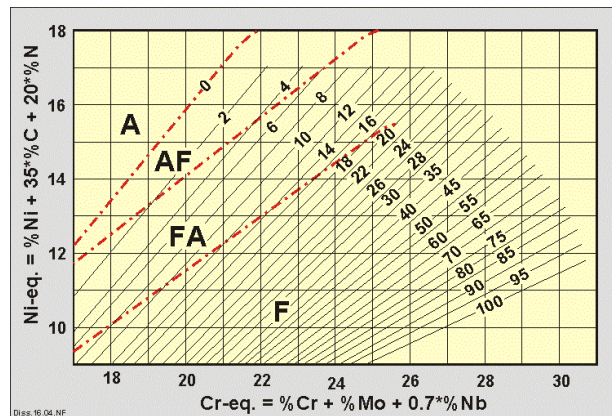
Figuur 4. DeLong-diagram

keuriger dan het Schaeffler-DeLong-diagram. Het nieuwe diagram is gebaseerd op een data base, met de resultaten van FN-metingen en analyses van de chemische samenstellingen van zuiver lasmetaal verkregen met 950 producties van verschillende typen roestvaststaal beklede elektroden. Het ferrietgehalte varieert van 0 tot 100 FN en is toepasbaar binnen de volgende grenswaarden:

- Mn max 10%
- Mo max 3%
- N max 0,2%
- Si max 1%

Bovendien zijn in het diagram gebieden met de stollingsstructuren aangegeven te weten, austenitisch, austenitisch/ferritisch, ferritisch/austenitisch of ferritisch (zie figuur 5).

Dit diagram is in 1992 gecorrigeerd door Kotecki en Siewert; het diagram is bekend als het WRC 1992-diagram [7]. De invloed in het Ni-equivalent van het element koper werd toegevoegd (zie figuur 6). Dit diagram is internationaal als norm door zijn grote nauwkeurig geaccepteerd.

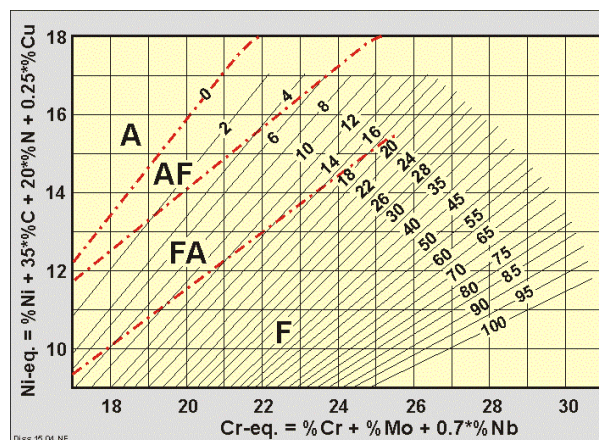


Figuur 5. Het WRC-1988 diagram

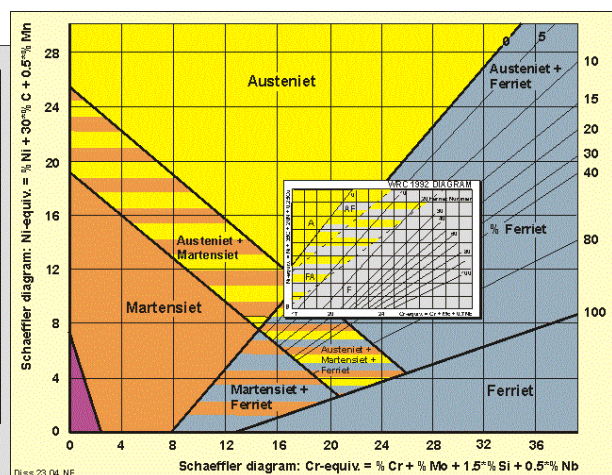
In de praktijk bleek het echter moeilijk de structuur te voorspellen welke ontstond bij het lassen van ongelegeerd staal aan roestvaststaal. Van Nassau en medewerkers hebben in 1992-1993 dit diagram aangepast [8]. Het WRC-diagram is gecombineerd met het bekende Schaeffler-diagram. Hierbij zijn de vastgestelde formules voor het berekenen van de Cr- c.q. Ni-equivalenten van de respectievelijke auteurs gehandhaafd. Het resultaat van deze combinatie is weergegeven in figuur 7 en is als Lincoln Smitweld-wandkaart beschikbaar.

Met dit geïmplementeerde WRC-diagram in het Schaeffler-diagram is het mogelijk de structuur te voorspellen van een lasmetaal tussen staal en roestvaststaal. Tevens is het mogelijk zeer nauwkeurig het ferriet te bepalen in het austeniet/ferriet-gebied. Tabel 1 geeft een compleet overzicht van de structuurdiagrammen voor RVS-lasmetaal. Concluderend kunnen we stellen dat zowel de nauwkeurigheid als het toepassingsgebied van de structuur-diagrammen zijn toegenomen.

Terugkomend op de titel van dit korte overzicht mogen we zeggen dat Mr. Schaeffler, zij het niet alleen, weer een nieuw leven is gaan leiden.



Figuur 6. Het WRC-1992 diagram



Figuur 7. Schaeffler diagram, gecombineerd met het WRC- 1992 Constitution Diagram.

Tabel 1. Structuur diagrammen voor RVS-lasmetaal

| Diagram | Cr-eq. | Ni-eq. | Ferriet | Opmerkingen |
|-------------------|--|-----------------------------|--------------------------|--|
| Schaeffler | Cr+Mo+1,5Si+0,5Nb 0 – 40 | Ni+30C+0,5Mn 0 – 32 | Volume % 0 – 100 | C<0,2; Mo<3; Si<1,0; Nb<1,5; Mn<4 |
| DeLong | Cr+Mo+1,5Si+0,5Nb (gelijk Schaeffler) | Ni+30C+0,5Nb+30N | Ferriet No 0 – 18 FN | AISI 300 serie Weinig ferriet |
| WRC-1988 | Cr+Mo+0,7Nb 17 – 31 | Ni+35C+20N 9 – 18 | Ferriet No 0 – 100 FN | Mn<10; Si<1,0; Mo<3; N<0,2 + prim. stolling |
| WRC-1992 | Cr+Mo+0,7Nb 17 – 31 | Ni+35C+20N+0,25Cu 9 – 18 | Ferriet No 0 – 100 FN | + uitbreiding XY-as tot 0 |

Lincoln Smitweld: Schaeffler + WRC 1992 gecombineerd in èèn diagram

Verbindingslassen van RVS aan ongelegeerd of laaggelegeerd staal

Verbindingslassen van roestvast staal aan on- of laaggelegeerd staal zijn de meest voorkomende verbindingen in de groep van ongelijksoortige lasverbindingen. We beperken ons in dit artikel tot deze groep. De volgende lasprocessen komen voor deze groep van lasverbindingen in aanmerking;

- booglassen met beklede elektroden (111)
- TIG-lassen (14)
- MAG-lassen met massieve en gevulde draad (13)
- onder poeder lassen (12)

Het lassen met beklede elektroden

Het lassen van RVS aan on- of laaggelegeerd staal werd vroeger uitgevoerd met elektroden van het type AWS A5.4: E310-16 met een chemische samenstelling van 25%Cr - 20% Ni. De volaustenitische structuur die hiermee wordt verkregen geeft aanleiding tot warmscheuren. Dit kan men ondervangen door 6 à 8% Mn aan de elektrode toe te voegen, een zeer laag percentage verontreinigingen, zoals P en S en door de keuze van een basische bekleding. Een dure en niet al te praktische oplossing omdat de lasbaarheid en slaklossing niet best zijn. Een goedkopere oplossing is de AWS A5.4: E307-16, een type met 18Cr – 8Ni – 6Mn. Een oplossing die vooral in Duitsland veel wordt toegepast. Men dient ook hier rekening te houden dat met name de slaklossing niet optimaal is door het relatief hoog Mn-houdende neergesmolten lasmetaal.

Een andere oplossing om het risico van warmscheurvorming te onderdrukken is uit te gaan van een austeniet-ferriet-structuur in de lasverbinding. Schaeffler toonde met zijn uitgevoerde proeven reeds duidelijk aan dat de warmscheurgevoeligheid sterk verminderd werd bij aanwezigheid van ferriet in de las. Het lagere gehalte aan legeringselementen, dat ontstaat door verdunning van het lasmetaal bij het opmengen met ongelegeerd staal, wordt opgevangen door een lasmetaal te kiezen met een verhoogd chroom- en nikkelgehalte. Bijvoorbeeld de typen volgens AWS A5.4: E309L-16 en E309L-17 die hier ruimschoots aan voldoen. De chemische samenstelling van beide genoemde elektroden is 24Cr - 12Ni. Deze elektroden hebben een uitstekende lasbaarheid en kunnen ook nog eens zonder problemen worden toegepast voor het leggen van een bufferlaag bij het lassen van geplaatstaal.

Aangeraden wordt om bij voorkeur geen Mo-houdende elektroden als een E309LMo toe te passen indien de lasdikte meer dan 12 à 13 mm bedraagt. Vooral bij het lassen in meerdere lagen (bij grotere wanddikten) kan bij het lassen met Mo-houdende elektroden verbrossing ontstaan tijdens het lassen. De verbrossing wordt veroorzaakt door het ontstaan van ongewenste uitscheidingen bij hogere temperaturen tijdens het lassen. Lasmetaal verbrost immers vele malen sneller dan basismateriaal met dezelfde samenstelling.

In het geval van bijvoorbeeld kruipvaste CrMo-staalsoorten aan austenitisch staal is het belangrijk om toevoegmaterialen met een gecontroleerd ferrietgehalte te gebruiken. Bij toepassing van een normale overgangselektrode voor het lassen van geplateerd staal is dit meestal het geval.

Om de verbrossingsneiging bij hogetemperatuur toepassing te verminderen is het aan te bevelen om hoog nikkelhoudend toevoegmateriaal te gebruiken. De nadelen van de hogere prijs en de minder goede lasbaarheid van nikkelbasis toevoegmaterialen wegen ruimschoots op tegen het voordeel dat geen koolstofmigratie optreedt. Ontkoling van het basismateriaal en het opkolen van het lasmetaal wordt hiermede voorkomen. Een ander voordeel van nikkelbasis toevoegmateriaal is dat de lineaire uitzettingscoëfficiënt van nikkelbasis lasmetaal tussen die van austenitisch en ferritisch staal (kruip-vast CrMo-staal) in ligt waardoor op thermische schokbelaste verbindingen het risico van scheurinitiatie vele malen kleiner is.

TIG-lassen

Het TIG-lassen van on- en laaggeleerd staal aan roestvast staal hoeft geen problemen te geven mits men zich aan bepaalde voorwaarden houdt. Om warmscheuren te voorkomen dient ook hier een toevoegmateriaal gekozen te worden met een zekere hoeveelheid ferriet. Van belang hierbij is dat de naadvoorbewerking zodanig gekozen wordt dat de lasser te allen tijde verplicht is om het toevoegmateriaal te gebruiken. Dit is noodzakelijk om er zeker van te zijn dat een las met een voldoende austeniet-ferrietstructuur wordt verkregen. Bij het maken van verbindingen zoals bijvoorbeeld stikstofhoudend vol-austenitisch RVS aan CMn-staal heeft men van beide materialen invloed (opmenging) op de aanwezigheid van voldoende ferriet in het lasmetaal. Bij het TIG-lassen van roestvast staal aan ongeleggerd en laaggeleerd staal moet men dus de juiste keuze maken van het lastoevoegmateriaal, een aangepaste naadvorm kiezen en over voldoende vakmanschap beschikken.

MAG-lassen met massieve en gevulde draad

Aangezien de energie- en draadtoevoer bij dit lasproces van elkaar afhankelijk zijn is het risico van een slechte mengverhouding in het algemeen kleiner. Een uitzondering op deze regel zijn de hoeklasverbindingen bij verstevigungsstrippen van ongeleerd staal op roestvast staal indien er met een hoge stroom (openboog gebied) gelast wordt. Bij deze toepassing kan men een zeer hoge mengverhouding hebben. Juiste keuze lastoevoegmateriaal en stand van laspistool zijn uitermate belangrijk om een goede scheurvrije lasverbinding te verkrijgen.

Welke draden worden waar toegepast?

Voor de standaard toepassingen wordt aangeraden een AWS A5.9: ER309L of ER309LSi draad toe te passen. Een massieve ER309L Mo-draad met verhoogd ferrietgehalte is niet te maken, bij de gevulde draad ligt dit natuurlijk geheel anders. Ook hier geldt dat bij toepassing van de AWS A5.22: E309LMoT0-1/-4 of AWS A5.22: E309LMoT1-1/-4 gevulde lasdraden de maximale lasnaaddikte 12 à 13 mm bedraagt.

Bij toepassing van AWS A5.9: ER309L of ER309LSi massieve draad dient men pulserend te lassen met een beschermgas van argon + 2-3% CO₂. Vooral aan de RVS-zijde moet men oppassen voor bindingsfouten (plakfouten). De lasboog zal veelal op het roestvast staal gericht moeten worden, om de boogafwijkingen tengevolge van magnetische blaaswerking te corrigeren en de betere stroomgeleidbaarheid van het ongeleerde staal te compenseren.

Onder poeder lassen

Het onder poeder lassen van on- en laaggeleerd staal aan roestvast staal is een kritische aangelegenheid. Afhankelijk van de naadvorm en de lasuitvoering kunnen mengpercentages worden verkregen tussen de 30 en 70%. Een dergelijke variatie in opmenging kan niet uitsluitend door de chemische samenstelling van de draad/poeder-combinatie worden opgevangen. Een scheurvrije las is dan ook alleen maar te realiseren indien men de juiste draad/poeder-combinatie kiest en de opmenging met name met het ongeleerde staal onder con-

trole weet te houden, met andere woorden de lasuitvoering is zeer bepalend om een scheurvrije verbinding te krijgen. Voldaan moet worden aan onderstaande voorwaarden:

- richt de boog op het roestvast staal. Dit is nodig omdat de boog afwijkt naar het ongelegeerde staal;
- las in een naad zonder staande kant, dit houdt in dat men een grondlaag legt met het MAG-proces of met een basische elektroden;
- een chroom-bijlegerend poeder gebruiken met bijvoorbeeld de classificatie van, EN 760: S A AF 2 64Cr DC H5
- de ongelegeerde staalzijde vooraf bufferen met elektroden, bijvoorbeeld volgens AWS A5.4: E309L-15. Daarna kan de verbinding normaal onder poeder worden afgelast met een aan het roestvast staal aangepaste draad/poeder-combinatie.

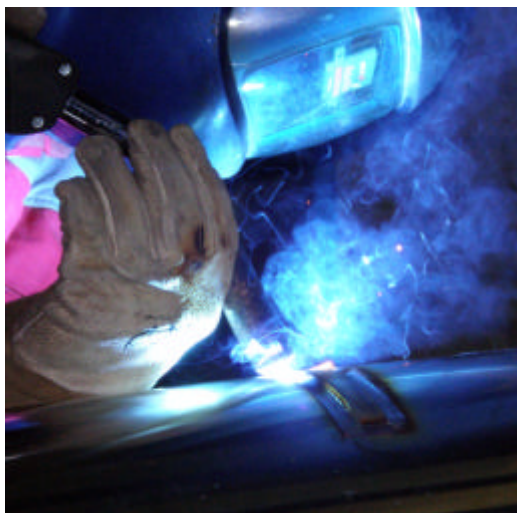
Tenslotte wordt in Tabel 2 een globaal overzicht gegeven voor de keuze van lastoevoegmaterialen voor het verbindingslassen van ongelijksoortige materialen.

Samenvatting

Aan het lassen van ferritische aan austenitische materialen zitten nogal wat haken en ogen, behalve lastechnisch ook wat betreft het corrosie- en het hoge temperatuurgedrag. In veel overzichten als tabel 2 wordt naast de keuze van het toevoegmateriaal eveneens aangegeven hoe de verbindingen moeten worden voorgewarmd en spanningsarmgegloeid om niet al te grote problemen te krijgen. Het moge duidelijk zijn dat per toegepast lasproces, er een scala van mogelijkheden ter beschikking staan. Het is de taak van de lasdeskundige om een optimale lasverbinding te creëren. ■

Referenties:

- [1] Lincoln Smitweld-roestvaststaalcursus.
- [2] Schaeffler, Selection of austenitic electrodes for welding dissimilar metals. Welding Journal, oktober 1947.
- [3] Schaeffler, Welding dissimilar metals with stainless steel electrodes. Iron Age, juli 1948.
- [4] Schaeffler, Construction diagram for stainless steel weldmetal. Metal Progress, november 1949.
- [5] DeLong, Measurement and calculation of ferrite in stainless steel weldmetal. Welding Journal, november 1956.
- [6] Siewert/McCowan/Olson, Welding Journal 12 (1988) p. 289s-298s.
- [7] Kotecki/Siewert, Welding Journal 5 (1992) p. 171s-178s.
- [8] Van Nassau, Stainless Steel Europe, vol 5, issue 3, april 1993
- [9] K. Bekkers en F. Neessen, Lastechniek, mei 1994, p.212-214.



Tabel 2. Voorbeelden van keuze lastoevoegmateriaal voor ongelijksoortige lasverbindingen volgens Lincoln Smitweld B.V.

| Basismat. volgens ASTM | CMn-staal + P11 (0,5Mo) | P12 (1Cr-0,5Mo) | P22 (2,2Cr-1Mo) | P5 (5Cr-0,5Mo) | P9 (9Cr-1Mo) | 410-430 X10Cr13 X8Cr17 X10CrAl24 | 321 347 | 330 | 318 | 316 316L | 310 | 309 | 304 304L |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---|--|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|------------------|
| 304 304L | Nichroma Arosta 309S 309Mo | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | Nichroma Arosta 309S | Arosta 304L 304H 347 | NiCro 70/15Mn Arosta 309S(H) | Arosta 304L 318 | Arosta 304L 316L | Arosta 309S Intherma 310 | Arosta 309S 309H | Arosta 304L 304H |
| 309 | Nichroma Arosta 309S 309Mo | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | Nichroma Arosta 309S | Arosta 304L Arosta 309S | NiCro 70/15Mn | Arosta 316L 318 309S | Arosta 316L 309S | Arosta 309S Intherma 310 | Arosta 309S 309H | |
| 310 | Nichroma Arosta 309S Intherma 310 | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | NiCro 70/15Mn Nichroma Arosta 309S (H) | Nichroma Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | NiCro 70/15Mn | Nichroma Arosta 316L | Intherma 310 | | |
| 316 316L | Nichroma Arosta 309S 309Mo | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | Nichroma Arosta 309S (Mo) NiCro 70/15Mn | Arosta 304L Arosta 316L | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | Arosta 316L Arosta 318 | Arosta 316L | | | |
| 318 | Nichroma Arosta 309S 309Mo | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | NiCro 70/15Mn Arosta 309S | Nichroma Arosta 309S (Mo) NiCro 70/15Mn | Arosta 304L Arosta 316L | NiCro 70/15Mn Intherma 310 | Arosta 318 | | | | |
| 330 | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn Arosta 309S Intherma 310 | NiCro 70/15Mn | | | | | |
| 321 347 | Nichroma Arosta 309S 309Mo | Arosta 309S NiCro 70/15Mn | Arosta 309S NiCro 70/15Mn | Arosta 309S NiCro 70/15Mn | Arosta 309S NiCro 70/15Mn | Arosta 309S | Arosta 304L 347 | | | | | | |
| 410-430 X10Cr13 X8Cr17 X10CrAl24 | Nichroma Arosta 309S | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | NiCro 70/15Mn | Arosta 309S NiCro 70/15Mn | | | | | | | |
| P9 | SL 19G | SL 19G | SL 19G SL 20G | SL 502 | SL 9Cr | | | | | | | | |
| P5 | SL 19G | SL 19G | SL 20G | SL 502 | | | | | | | | | |
| P22 | SL 19G | SL 19G | SL 20G | | | | | | | | | | |
| P12 | SL 19G | SL 19G | | | | | | | | | | | |
| CMn-staal + P11 (0,5Mo) | Conarc 49C | | | | | | | | | | | | |

- Voorwarmen afhankelijk van de wanddikte.
- Heat input beperken.

Per toepassing en combinatie van basismaterialen dient een keuze gemaakt te worden voor type lastoevoegmateriaal in combinatie met voorwarmen en warmtebehandeling.