

# Wetenswaardigheden over speciale verbindingstechnieken t.b.v. roestvast staal

*Roestvast staal wordt door ontelbare bedrijven dagelijks gelast en dat gebeurt meestal met het TIG-lasproces. In mindere mate geschiedt dit ook met het MIG- en STT-lasproces maar ook m.b.v. onder poederdek lassen en andere speciale technieken zoals het verbinden met explosieven en frictie. Omdat regelmatig aandacht wordt besteed aan dergelijke veel voorkomende technieken wordt in dit artikel nu eens stil gestaan bij verbindingstechnieken die minder frequent voorkomen. Daarom zal er informatie worden verstrekt over het solderen en zwart/witverbindingen.*

Ko Buijs metaalkundige

**E**en soldeerverbinding ontstaat per definitie door diffusie van atomen. Het betreft het verbinden van twee metalen met behulp van een gesmolten soldeermiddel. Door de gerichte warmte inbreng op het soldeermiddel is de thermische belasting van de materialen aanzienlijk geringer dan bij de gangbare thermische lasprocessen. Een kenmerk van goed solderen is dat de te verbinden basismaterialen zelf niet smelten. Belangrijke voorwaarde is wel dat het basismateriaal voldoende heet is om er voor te zorgen dat de soldeersmelt goed uitvloeit over het oppervlak. Als het oppervlak te koud is dan ontstaat er druppelachtig soldeer door de relatief hoge oppervlaktespanning en dat is uiteraard ongewenst.

## Soldeerverbindingen

Bij soldeermaterialen die smelten bij temperaturen lager dan 450°C spreekt men van zachtsolderen en daarboven van hardsolderen. Zachtsolderen vindt men onder andere bij het monteren van IC's in de elektronica-industrie



Foto: Oostendorp Apparatenbouw BV Tiel.

maar in het geval van plaatmaterialen is er doorgaans sprake van hardsolderen. Solderen kan toegepast worden bij naadverbindingen maar ook om complete vlakken aan elkaar te zetten. De warmte inbreng kan lokaal plaatsvinden met een toorts of laser maar ook over het hele werkstuk door het in een oven te plaatsen. De soldeerverbinding ontstaat door het oplos-

sen van het basismateriaal in de soldeersmelt of wat nauwkeuriger geformuleerd door het diffunderen van atomen van en naar de soldeersmelt. Zo ontstaan aan weerszijden van het soldeermiddel een metallische binding met het basismateriaal zonder dat dit zelf smelt. Het zal duidelijk zijn dat de sterkte van de verbinding o.a. afhankelijk is van de mechanische eigenschappen van het soldeermiddel zelf en van de sterkte van de verbindingen met beide basismaterialen. Een soldeerverbinding is over het algemeen zwakker dan een gangbare lasverbinding maar bij goed gecontroleerd solderen is wel degelijk een sterkte mogelijk die vergelijkbaar is met de sterkte van het basismateriaal.

Roestvast staal is niet moeilijker te solderen dan koolstofstaal en laag gelegen staal. De relatief grote hoeveelheid chroom die aanwezig is in roestvast staal levert een beschermende oxidelaag. Deze oxiden hechten zeer goed aan de ondergrond en daarom moeten deze eerst worden verwijderd want anders verhinderen ze dat het basismetaal wordt bevochtigd door het soldeermetaal. Dan ontstaat er geen capillaire werking die het gesmolten soldeer als het ware naar binnen zuigt. De vorming van chroomoxide wordt versneld als roestvast staal wordt verhit aan de lucht. Hoewel het oxide door middel van chemisch reinigen bij kamertemperatuur is verwijderd, kan er bij de hardsoldeertemperatuur weer snel een nieuw chroomoxide worden gevormd die een nadelige invloed heeft op de bevochtiging van de ondergrond door het gesmolten soldeer. Deze nadelige invloed kan worden verholpen door middel van:

- Chemisch reinigen van het oppervlakteoxide bij kamertemperatuur en vervolgens zeer snel verhitten tot de hardsoldeertemperatuur in een chemische inerte atmosfeer zoals argon.
- Het roestvast staal rechtstreeks verhitten tot de hardsoldeertemperatuur in een sterk reducerende atmosfeer zoals waterstof na een

minder intensieve reiniging. Hierdoor wordt de oxidelaag gereduceerd en wordt de bevochtiging bevorderd.

- Het oppervlak waar de verbinding moet komen bekleden met een chemisch actieve flux die het oxide tijdens het verhitten tot de hardsoldeertemperatuur oplost.
- Verhitten onder vacuüm (na reinigen) wat tal van oxiden reduceert waaronder ook chroomoxide en dat de vorming van andere oxiden verhindert.
- Alleen ontvetten indien vervolgens de juiste flux of atmosfeer wordt gebruikt in geval van roestvast staal met een schoon oppervlak.
- Het kiezen van een hardsoldeer met een lagere smelttemperatuur om de oxidatiepotentiaal te verlagen.

Hardsolderen wordt vaak gebruikt om roestvast staal te verbinden met uiteenlopende andere metalen zoals koolstofstaal, laag gelegen staal en koperlegeringen. Dit zijn combinaties die anders niet naar behoren zijn te lassen. Dit is veruit het belangrijkste kenmerk van het hardsoldeerproces.

Er is een grote verscheidenheid aan hardsoldeertypen beschikbaar waarmee compatibiliteit, mechanische sterkte, corrosieweerstand en andere wenselijke eigenschappen kunnen worden verkregen bij het verbinden van ongelijksoortige metalen. Als er geschikte verhitte technieken worden toegepast, biedt hardsolderen een mogelijkheid om te komen tot sterkte, corrosiebestendige en lekvrije verbindingen in kleine of dunwandige onderdelen bij een minimum aan knikken of kromtrekken. Hardsolderen kan ook verbindingen geven in tere constructies en bij zeer dunwandig materiaal waarbij conventionele lastechnieken teveel vervorming of warmteontwikkeling zouden geven. Hardsolderen is eveneens geschikt voor

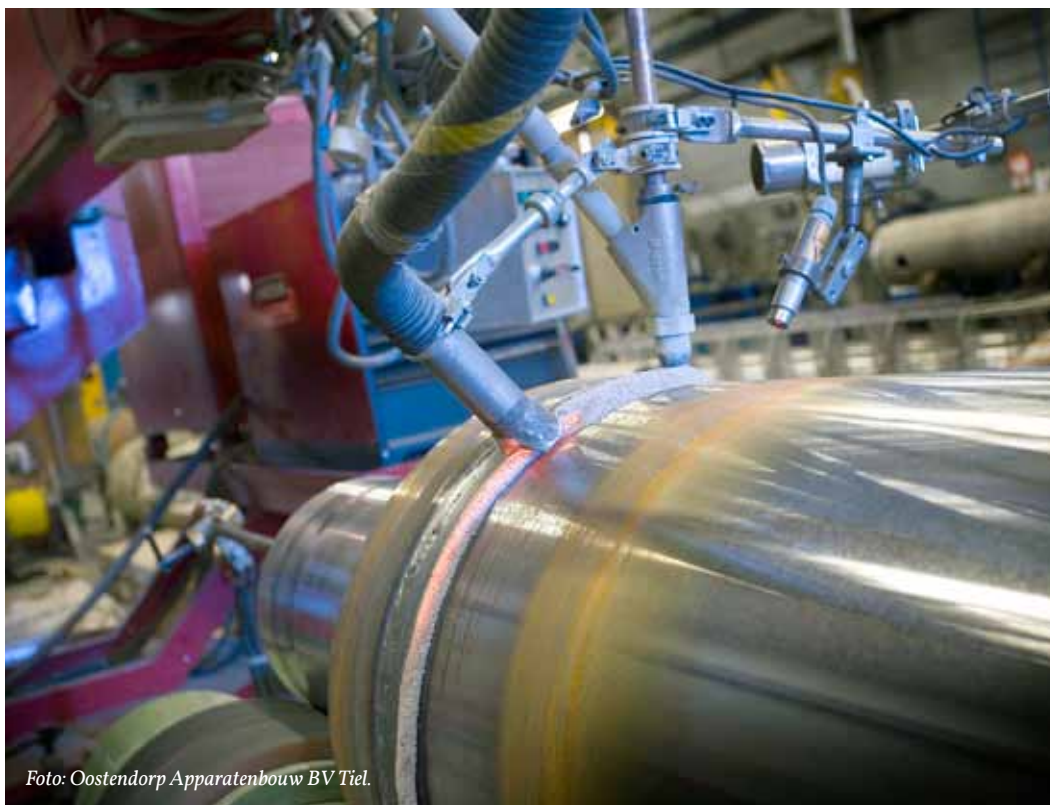


Foto: Oostendorp Apparatenbouw BV Tiel.

massaproductie van kleine en middelgrote samenstellingen met behulp van verscheidene typen doorloopovens. Met hardsolderen is het ook mogelijk om verbindingen te produceren op ontoegankelijke plaatsen door het van tevoren plaatsen van het soldeermetaal en het daarna verhitten van het werkstuk. Dergelijke verbindingen zijn doorgaans onmogelijk met andere verbindingstechnieken te realiseren.

### **Toepassingen**

Elektronenstraal hardsolderen is een geschikte methode voor het hardsolderen van kleine constructies, zoals behuizingen van instrumenten. Het combineert de veelzijdigheid en

nauwe controleerbaarheid van het verhitten met een elektronenstraal met de voordelen van hardsolderen in vacuüm zonder schade toe te brengen aan de apparaten zelf. Er wordt soms wel gebruik gemaakt van hardsolderen met een elektronenstraal voor het verbinden van buizen aan 'headers' bij kleine warmtewisselaars die gemaakt zijn van hittebestendige legeringen en metalen met een zeer hoog smeltpunt. Bij een bepaalde techniek wordt de verbinding tussen pijp en 'header' aan de bovenzijde van de 'header' gesoldeerd. De warmte van de straal zorgt dat het soldeer dat van tevoren is aangebracht aan de andere kant van de 'header' smelt en in de spleet wordt gezogen. Toepassingen

met een laserstraal hardsoldeerproces zijn nauwgevoelig onmogelijk uit te voeren i.c.m. gewone hardsoldeermethodes. Voorbeelden zijn o.a.:

- Dunwandig miniatuur precisieonderdelen die een minimale warmte inbreng vereisen teneinde hun maatvoering niet te verliezen.
- Dunwandige basismetaleen met diktes van 0,1 mm en minder, die tijdens het hardsolderen risico lopen te eroderen en soms geperforeerd raken door inwerking van flux en/of soldeer.
- Constructies die warmtegevoelige materialen of onderdelen bevatten die tijdens het verbindingsproces niet even uitgenomen kunnen worden.
- Soldeerverbindingen in de onmiddellijke nabijheid van glas/metaalafdichtingen of andere thermische gevoelige verbindingen.
- Verbindingen binnenin onder druk gezette vaten.

### Zwart/wit verbindingen c.q. het lassen van roestvast staal aan koolstofstaal

Het verbindingslassen van roestvast staal aan ongelegeerd of laag gelegeerd staal met beklede elektroden, ook wel zwart/witverbinding genoemd, is de meest voorkomende in de groep van ongelijksoortige lasverbindingen. Vroeger werden hiervoor voornamelijk elektroden van het type E 310 gebruikt. De austenitische structuur die hiermee werd verkregen, gaf echter aanleiding tot warmtscheuren. Dit kan worden ondervangen door 6-8% mangaan aan de elektrode toe te voegen, door de keuze van een basische bekleding en door het percentage verontreinigingen zoals fosfor (P) en zwavel (S) te verlagen. Deze oplossing van het probleem is echter relatief kostbaar. Goedkopere en beter lasbare elektroden zijn van het type 18Cr/8Ni/6Mn (E 307, materiaalnummer 1.4370). De lasbaarheid van deze mangaanhoudende elektrode is echter ook niet optimaal en daarom zijn er ook andere oplossingen. Het

risico van warmtscheurvorming kan namelijk worden onderdrukt door te kiezen voor een austenitische/ferritische structuur in de verbinding.

Men maakt daarbij gebruik van de door Schaeffler uitgevoerde proeven die aantoonden dat de aanwezigheid van ferriet in de las de warmtscheur gevoeligheid sterk vermindert. Ferriet heeft namelijk een veel groter oplosend vermogen voor allerlei verontreinigingen dan austeniet. Warmtscheuren ontstaan vooral als laagsmeltend eutectica voor het stollingsfront vooruit wordt gedreven vanwege segregatie. Het stollende en krimpende metaal bewerkstelligt op deze plaatsen hoge trekspanningen die tot kleine scheurtjes kunnen leiden. Dit noemt men dus per definitie warmtscheuren. Het zijn dus juist deze verontreinigingen die aanleiding kunnen geven voor warmtscheuren. Men zegt ook wel eens dat ferriet een vuilnisbakfunctie heeft voor het austeniet. Overigens moet men ook weer niet voor alle gevallen te dramatisch doen over warmtscheuren omdat juist austenitische kwaliteiten enorm ductiel zijn om de scheur niet verder te laten lopen. Het is overigens uiteraard altijd beter om het te voorkomen.

Het verlies aan legeringselementen dat ontstaat door verdunning van het lasmetaal bij het opmengen met ongelegeerd staal, wordt opgevangen door uit te gaan van lasmetaal met een verhoogd chroom- en nikkelgehalte zoals bij toepassing van een 24Cr/12Ni-elektrode van het type E 309 (Werkstoffnummer 1.4332). De toepassing van elektroden van het type E 309 heeft naast de goede lasbaarheid nog andere voordelen. Deze elektrode kan ook zonder problemen voor het leggen van een bufferlaag worden toegepast bij het lassen van geplateerd staal. Bij voorkeur wordt aangeraden om geen



Foto: Oostendorp Apparatenbouw BV Tiel.

molybdeenhoudende elektroden toe te passen. Vooral bij het lassen in meerdere lagen (bijvoorbeeld bij grote wanddikten) kan bij het lassen met molybdeenhoudende elektroden reeds verbrossing ontstaan tijdens het lassen. De verbrossing is toe te schrijven aan het ontstaan van ongewenste uitscheidingen bij hogere temperaturen tijdens het lassen. Er dient op gewezen te worden dat genoemd lasmetaal vele malen sneller verbrost dan basismateriaal met dezelfde samenstelling. Het is dus belangrijk in geval van de kruipvaste zwart/wit-verbindingen (bijvoorbeeld Cr-Mo stalen aan austenitisch staal) toevoegmaterialen te gebruiken met een gecontroleerd ferrietgehalte. Bij toepassing van een normale bufferelektrode is dit meestal het

geval. Om de neiging tot verbrossing bij toepassingen bij hoge temperaturen te verminderen kan men ook lassen met een hoog nikkelhoudend toevoegmateriaal. Nadelen hiervan zijn de hoge prijs en de minder goede lasbaarheid. Een voordeel van lasmetaal op nikkelbasis is overigens wel dat het risico van koolstofmigratie wegvalt en dus de ontkoling van het basismetaal en het op kolen van het lasmetaal wordt voorkomen. Voor op thermische schokbelaste verbindingen van austenitisch aan ferritisch staal is de toepassing van een toevoegmateriaal op basis van nikkel gunstig omdat de uitzettingscoëfficiënt hiervan tussen die van ferritische en de gewone austenitische stalen in ligt. Qua corrosiebestendigheid geeft het lassen van

ongelijksoortige verbindingen meestal geen problemen. In vele gevallen is het mogelijk een lastoevoegmateriaal te kiezen dat op z'n minst even corrosiebestendig is als de zwakste schakel. Een groot probleem vormt echter het lassen van chroommolybdeen en vanadiumhoudende waterstofbestendige staalsoorten aan austenitisch roestvast staal. Onder ongunstige procescondities kan hierbij verbrossing ontstaan die tot grote schade kan leiden.

### Enige aanbevelingen

Indien men een gelegeerd koolstofstaal aan austenitisch roestvast staal moet lassen dan kan men ondanks een hoger gelegeerde overgangselektrode (bijvoorbeeld AISI 309) toch nog problemen krijgen met verbrossing van de overgang vanwege het gloeien. Spanningen door het verschil in uitzettingscoëfficiënt kunnen vanwege deze verbrossing leiden tot ernstige scheurvorming. Dit probleem doet zich vooral voor bij waterstofbestendig koolstofstaal zoals 13CrMo44 of 10CrMo9.10. De overgangselektrode of draad 309 of 309Mo is normaal gesproken een uitstekend materiaal om een prima duetiele las te leggen tussen roestvast staal en koolstofstaal. Dit hoger gelegeerde lasmateriaal zorgt ervoor dat men een ductiele laskwaliteit krijgt zonder martensiet zoals men kan berekenen vanuit het Schaeffler-diagram. Bij gelegeerde koolstofstaalsoorten zoals 13CrMo44 dient men echter te gloeien vanwege het metastabiele cementiet ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) dat zich dan kan vormen en dat weer met waterstof methaangas vormt met verbrossing als resultaat. De oplossing is gloeien op 650-720°C waardoor het metastabiele cementiet uiteen zal vallen teneinde stabiele chroomcarbiden te vormen waardoor er geen methaangas c.q. verbrossing kan optreden. De schaduwzijde is dat door dit gloeiproces het lasmateriaal 309(Mo) verbrost met scheurvorming als resultaat. De vraag is

dus wat men nu moet doen om al deze problemen te elimineren. De oplossing is dan om in zulke gevallen een nikkelhoudend lastoevoegmateriaal te gebruiken die minimaal 60% nikkel bevat (bijvoorbeeld 63Ni15Cr10Fe7Mn) en die een uitzettingscoëfficiënt heeft dat nagenoeg identiek is aan dat van koolstofstaal waardoor geen hinderlijke spanningen ontstaan op deze overgang. De spanningen verplaatsen zich aan de andere kant van de las doch het austenitische roestvast staal is ductiel genoeg om dit op te vangen. Thermische vermoeiing is dan ook verleden tijd. Bovendien vormt nikkel een barrière voor koolstofdifusie waardoor er geen hinderlijke vorming van carbiden kan optreden. Op deze wijze heeft men een perfecte verbinding gekregen. Een heel bekend voorbeeld is het lassen m.b.v. bovengenoemde nikkellegering van AISI 304H aan koolstofstaal gelegeerd met 2,25% Cr en 1% Mo dat op een bedrijfstemperatuur van 600°C probleemloos kan worden gebruikt.

### Het lassen van ferritisch aan austenitisch roestvast staal

Bij de zwart/wit-verbindingen kunnen veel problemen optreden en het is dus zaak om buiten de verschillende probleemgebieden te blijven, zoals die in het Schaefflerdiagram kunnen worden aangegeven. Men kan hierbij denken aan warmtscheurgevoeligheid, sigma-fase verbrossing, martensietvorming en korrelgroei. Wordt hiermee strikt rekening gehouden dan zal het lassen van austeniet/ferrietverbindingen in het algemeen weinig problemen opleveren. Echter er zijn nog enkele gevaren bijvoorbeeld wanneer dit soort van verbindingen bij hoge temperatuur worden gebruikt. Dan bestaat er het gevaar op carbidevorming dat wordt veroorzaakt door de lange verblijfstijd bij hoge temperatuur zoals men in het Schaeffler-diagram kan aflezen.

Door de langdurige verblijfstijd bij hoge temperatuur wordt de bewegingsvrijheid van koolstof verhoogd (temperatuur) en verlengd (tijd), waardoor een grote diffusie kan ontstaan. Het gevolg van diffusie van koolstof vanuit het basismateriaal naar het roestvast staal zal een sterke vorming van carbiden betekenen, met als gevolg een binding van veel chroom aan koolstof, waardoor de corrosiebestendigheid zal kunnen afnemen (minimaal 12% vrij beschikbare chroom). In dit geval zal men geen austeniet als toevoegmateriaal kunnen gebruiken. De toepassing van een nikkellegering verdient hier de voorkeur doordat deze een 'diffusiebarrière' voor de koolstof uit het laag- of ongelegeerde materiaal vormt. Een veel gebruikt voorbeeld hiervoor zijn de verschillende Inconel typen (b.v. ENiCrFe-3).

Als gevolg van het grote verschil in uitzettingscoëfficiënten, de taatheid van de verschillende materialen en het temperatuurverschil speelt de opwarmingsnelheid en de afkoelingsnelheid een belangrijke rol. Ook hier kan de oplossing worden gevonden in het toepassen van een nikkellegering als overgang tussen de twee te verbinden materialen. Door de toepassing van deze materialen wordt de plaats waar de vermoeiing optreedt verlegd naar de zijde van het roestvast materiaal. Daar is de taatheid aanmerkelijk groter waardoor de kans op het ontstaan van scheuren kleiner wordt.

### Het lassen onder een poederdek

Ook dit is in vele gevallen een zwart/wit verbinding omdat veelal RVS-draad of -band m.b.v. dit proces op platen van koolstofstaal wordt aangebracht. De energie die nodig is om het lassen onder poederdek te laten plaatsvinden, wordt verkregen door constant een elektrische boog in stand te houden tussen een mechanisch continue aangevoerde lasdraad en het werkstuk

onder een laag laspoeder die automatisch voor de boog in de lasnaad wordt aangebracht. De energie is ruim voldoende om de meest voorkomende metalen en de lasdraad plaatselijk te doen smelten. De gesmolten metaalgedeelten vormen na het vermengen en het stollen de lasverbinding. I.p.v. een schermgas gebruikt men dus een poeder dat in de directe omgeving van de boog smelt waardoor het zich tot slak vormt die het vloeibare metaal beschermt voor nadelige atmosferische invloeden. Dit lasproces wordt in de regel geheel gemechaniseerd gebruikt. Ook is het met dit lasproces mogelijk om i.p.v. een draad een dunne metaalband te gebruiken i.v.m. het oplassen van bufferlagen. Zo worden veelal gesmede platen van koolstofstaal voorzien van een laag roestvast staal om zo de basis te vormen voor een pijpenplaat.

### Volledigheidshalve volgt er nog enige informatie betreffende de overgang van koolstofstaal naar chroomstaal

Koolstofstaal is een legering van ijzer en koolstof waarvan de smeedbaarheid en de taatheid c.q. ductiliteit een belangrijk kenmerk is. Koolstofstaal, zoals men dat in de praktijk meestal tegenkomt, heeft ongeveer 0,2% koolstof. Staal onderscheidt zich van ruwijzer door een veel lager koolstofgehalte. Het koolstofgehalte van ruwijzer ligt tussen 2 en 6,7%. Ruwijzer is dan ook niet smeedbaar maar bijzonder bros. Naast ijzer en koolstof kunnen ook andere elementen voorkomen en dat kan verschillende redenen hebben. Er zijn drie belangrijke argumenten voor de aanwezigheid van andere elementen in koolstofstaal

- Elementen als verontreinigingen: in de grondstof die wordt gebruikt bij de bereiding van staal zijn andere elementen aanwezig die tijdens de bereiding niet zijn verwijderd. Voorbeelden hiervan zijn zuurstof, stikstof, zwavel, fosfor e.d.

- Elementen die nodig zijn voor de bereiding van het staal. Voor een aantal goed verwerk- bare producten worden elementen toegevoegd die niet als element van de legering worden beschouwd. Voorbeelden hiervan zijn alumi- nium en mangaan.
- Elementen ter verbetering van de eigenschap- pen. Als tijdens de bereiding elementen worden toegevoegd om de eigenschappen van het staal te verbeteren dan noemt men deze legeringselementen. Het staal noemt men dan gelegeerd. Voorbeelden hiervan zijn chroom, nikkel en silicium.

Voegt men minstens 12% chroom toe dan ver- krijgt men chroomstaal en dan wordt het staal tot op zekere hoogte roestvast. Het mechanisme hiervan berust op het feit dat bij minstens 12% chroom een goed sluitende passieve chroom- oxidehuid ontstaat die het materiaal afsluit voor corroderen. IJzeroxide echter heeft een groter volume dan het onderliggende metaal en drukt zichzelf kapot waardoor het elektrolyt (dus ook water) weer opnieuw binnen kan dringen om een nieuwe laag aan te tasten waardoor het doorroesteffect ontstaat. Met chroomstaal is dat onder bepaalde voorwaarden verleden tijd. Chroomstalen zijn roestvaste staalsoorten die geen of weinig nikkel bevatten en in vele soor- ten verkrijgbaar zijn. De twee hoofdgroepen zijn de ferritische en martensitische kwali- teiten. Chroomstalen worden veelal gebruikt t.b.v. apparaten en constructies die niet zwaar corrosief mogen worden belast en vooral bij constructies waar de mechanische belastingen hoog zijn zoals bij meubels en de carrosserie bouw. Het chroomgehalte is minimaal 12% waardoor juist de passivatie van het staal onder bepaalde voorwaarden gegarandeerd wordt. Martensitische kwaliteiten zijn hardbaar. Toepassingen zijn o.m. messen, zuigerstangen, assen en allerlei componenten die in aanraking

komen met water en/ of stoom. Beide kwalitei- ten zijn overigens magnetiseerbaar vanwege de ferritische structuur.

### De mogelijke gevaren die dreigen bij de aanwezigheid van koolstof in roestvast staal

Koolstof heeft altijd de neiging met het aan- wezige chroom chroomcarbiden ( $\text{Cr}_{26}\text{C}_6$ ) te vormen. Lokaal wordt er dus chroom onttrok- ken aan de matrix waardoor het chroomgehalte plaatselijk te laag zal worden waardoor zo'n plekje actief wordt met bijvoorbeeld interkris- tallijnne corrosie als gevolg. Chroomcarbi- den ontstaan gemakkelijk bij een thermische belasting zoals tijdens het lassen indien er voldoende koolstof aanwezig is. Vooral in de warmte beïnvloede zone ontstaan de meeste chroomcarbiden omdat deze zone veelal het langste in het sensitieve gebied is gebleven. Dit probleem is op te lossen door het materiaal na een hoge thermische belasting te gloeien ( $1065^\circ\text{C}$ ), waardoor alle carbiden weer oplossen in het moedermateriaal. Vervolgens moet men dit metaal afschrikken in water waardoor men de opgeloste situatie invriest en dan zijn er in principe geen problemen meer te verwachten. In de praktijk echter blijkt dit niet zo eenvoudig te zijn, omdat het gloeien niet altijd mogelijk is. Daarom zijn kwaliteiten roestvast staal ontwik- keld, die niet of nauwelijks gevoelig zijn voor het ontstaan van chroomcarbiden zoals AISI 304L/316L.

Bij de kwaliteiten 304L en 316L is het koolstof- gehalte zo laag geworden ( $< 0,03\%$ ) dat chroom- carbiden niet of nauwelijks kunnen ontstaan. Het is wel belangrijk dat men alle koolstofhou- dende producten niet in contact brengt met dit roestvast staal en dat in het bijzonder tijdens het lassen. Het koolstofgehalte is namelijk zo laag, dat het materiaal een grote neiging heeft dit op te nemen. ■