

# NIEUWE GENERATIE AUSTENITISCHE STALEN: DMV 304HCU

## LASBAARHEID EN HOGETEMPERATUUREIGENSCHAPPEN, PRENORMATIEF PROJECT, FOD ECONOMIE

In de loop van de voorbije twee jaar werd bij het B.I.L., met Laborelec als partner, een prenormatief onderzoeksproject uitgevoerd rond DMV 304HCU. Het is de bedoeling om dit materiaal op te nemen in de Europese, geharmoniseerde materiaalnorm EN 10216-5, onder de benaming X10CrNiCuNb18-9-3. DMV 304HCU wordt geproduceerd door Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes en is de Europese versie van Super 304H, ontwikkeld door Sumitomo, voor toepassing als (her-)oververhitterbuisjes in (ultra-)superkritische steenkoolcentrales. De introductie van austenitische stalen in de ketel impliceert dat er in de stoomketel lasverbindingen tussen DMV 304HCU en 9% Cr-stalen gerealiseerd zullen worden die een warmtebehandeling na het lassen vereisen. In dit artikel wordt de invloed van deze warmtebehandeling nagegaan op DMV 304HCU.

Door Ing. Johan Vekeman (B.I.L.)

### BASISMATERIAAL

De chemische samenstelling van DMV 304HCU is terug te vinden in **tabel 1**. Dit materiaal werd geleverd na koudvorming van de buisjes tot hun gewenste dimensies, zijnde een uitwendige diameter van 45 mm met een wanddikte van 9,2 mm, gevolgd door het oplosgloeien bij 1.145 °C. Een volaustenitische, fijnkorrelige (ASTM 9) microstructuur met niobiumdeeltjes in de korrels werd verkregen.

Deze structuur is te danken aan het thermo-mechanische productieproces, waarbij er tijdens het warmextruderen voor een temperatuur gekozen werd die zo'n 50 °C hoger ligt dan de finale oplosgloeitemperatuur.

### GEVOELIGHEID VOOR SPANNINGS- RELAXATIESCHEUREN

Op dit materiaal werd een lasbaarheidsstudie uitgevoerd om

o.a. de neiging tot scheurvorming tijdens een warmtebehandeling na het lassen in de warmtebeïnvloede zone (WBZ) te onderzoeken. Deze scheuren noemt men spanningsrelaxatiescheuren of 'reheat cracks'. Over het algemeen zijn austenitische hittevastestaa-soorten gevoelig voor spanningsrelaxatiescheuren. Austenitische staa-soorten, gestabiliseerd met niobium (347H) of titanium (321H), kunnen zeer gevoelig zijn. De scheuren treden op in de grofkorrelige WBZ, dicht bij de fusielij, zijn intergranulair en volgen de austenietkorrelgrenzen.

### Mechanisme

Het mechanisme kan als volgt worden samengevat: gedurende het lassen wordt de WBZ naast de fusielij opgewarmd tot zeer hoge temperaturen. Bij deze temperaturen gaan de carbides in oplossing en kan er korrelgroei optreden. Gedurende de daaropvolgende warmtebehandeling zal er vervorming optreden door het

relaxeren van de eigenspanningen. Tijdens de warmtebehandeling vormen er zich fijne, intragranulaire precipitaten die de korrels veel sterker maken dan de korrelgrenzen, waardoor alle vervorming zich concentreert langs de korrelgrenzen. Deze hoge lokale kruipvervorming kan dan aanleiding geven tot scheuren (triple points). Spanningsrelaxatiescheuren kunnen zich ook vormen bij bedrijfstemperaturen. Dit valt buiten de scope van dit artikel.

### Trekproeven

De gevoeligheid van 304HCU, heat 351180, voor spanningsrelaxatiescheuren werd bepaald aan de hand van een aantal warme trekproeven. Hiertoe werd eerst een grofkorrelige zone gesimuleerd in trekproefstaafjes door die op te warmen tot 1.350 °C en vervolgens af te koelen met een afkoeltijd  $t_{8/5}$  van 15 seconden. Nadien werden de trekproefstaafjes getrokken tot een breuk bij temperaturen tussen

600 en 800 °C met een snelheid van 0,5 mm/min. Na de breuk werd de insnoering opgemeten. De insnoering is een maat voor de reheatcrackinggevoeligheid. Op grond van vroegere uitgebreide ervaringen werd een classificatie opgesteld voor austenitische stalen, waarbij een insnoering van minder dan 20% aangeeft dat het materiaal gevoelig is voor het vormen van spanningsrelaxatiescheuren.

### Resultaten

Uit de resultaten (**figuur 1**) blijkt dat DMV 304HCU, heat 351180, gevoelig is voor reheat cracking bij  $750 \pm 10$  °C. Dit is het temperatuurgebied dat vereist is voor het martensitische 9% Cr-staal T92 bij een warmtebehandeling na het lassen. Deze heat van DMV 304HCU vertoonde een gelijkaardige curve als het klassieke 347H, dat in het verleden zeer gevoelig bleek voor spanningsrelaxatiescheuren. Hierbij moet worden opgemerkt dat de reheat crackinggevoeligheid afhankelijk is van heat tot heat.

Het is ook zo dat deze scheuren eerder te verwachten zijn in dikwandige constructies, T-verbindingen, zoals headertubes of verbindingen met een ongelijksoortige wanddikte, waar de residuele spanningen na het lassen hoger zijn dan in dunwandige, stompe lasverbindingen bij (her-)oververhitterbuisjes.

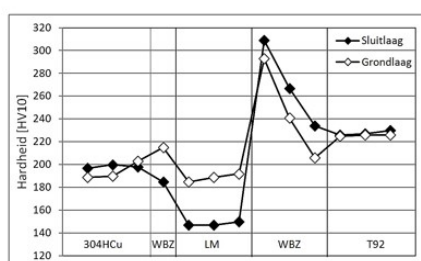
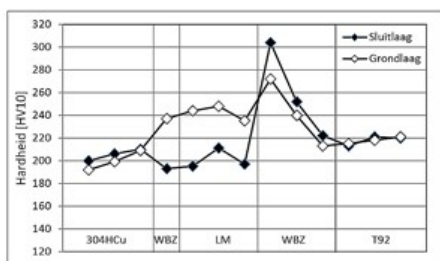
Op een metallografische doorsnede van het trekproefstaafje, getrokken bij 750 °C (**figuur 2**), is de breuk duidelijk intergranulair en de secundaire scheuren vertonen hun karakteristieke vorm, zogenaamde triple points.

Na lassimulatie van de grofkorrelige WBZ in DMV 304HCU en metallografisch onderzoek bleek dat er, ten gevolge van de warmte-

**Tabel 1:** Chemische samenstelling van het basis- en het lasmetaal

MATERIAAL	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V	W	Cu	Co	N(2)	Ti	Al	B	Fe
<b>BASISMETAAL (BM)</b>																		
DMV 304HCU HEAT 351180	0,09	0,24	0,63	0,022	0,014	18,4	-	8,64	0,47	-	-	2,90	-	0,09	-	0,0056	0	-
T92 HEAT SS40890	0,12	0,20	0,50	0,016	0,002	8,79	0,38	0,15	0,06	0,20	1,67	-	-	0,047	-	0,012	0,003	-
<b>LASMETAAL (LM)</b>																		
THERMANIT 617 HEAT 97566	0,057	0,09	0,05	0,003	0,002	22,03	8,70	55,60	-	-	-	0,02	10,83	-	0,31	1,250	-	0,68
EPRI P87 HEAT WO34706	0,10	0,30	1,50	0,008	0,008	9,00	2,00	Bal	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	38

STOMPE NAAD MET THERMANIT 617		STOMPE NAAD MET EPRI P87	
<b>TREKPROEVEN DWARS OVER DE LAS</b>			
R <sub>m</sub> (MPa)	BREUKLOCATIE	R <sub>m</sub> (MPa)	BREUKLOCATIE
699	BM - T92	630	LM
698	BM - 304HCu	611	LM
<b>KERFSLAGPROEVEN</b>			
LOCATIE KERF	KERFSLAGTAAIHEID (J/CM <sup>2</sup> )	LOCATIE KERF	KERFSLAGTAAIHEID (J/CM <sup>2</sup> )
LM	130 / 143 / 120: gem. 131	LM	124 / 119 / 100: gem. 114
WBZ 304HCu	200 / 193 / 200: gem. 198	WBZ 304HCu	218 / 204 / 200: gem. 217
WBZ T92	232 / 223 / 243: gem. 233	WBZ T92	210 / 167 / 243: gem. 207
<b>BUIGPROEVEN DWARS OVER DE LAS (BUIGDOORN: 4 X WANDDIKTE, BUIGHOEK: 180°)</b>			
PROEFSTAAF	RESULTAAT	PROEFSTAAF	RESULTAAT
Tegenbuig	Geen scheuren	Tegenbuig	Geen scheuren
Tegenbuig	Scheurtje < 3 mm (bindingsfout 304HCu zijde)	Tegenbuig	Geen scheuren
Normaalbuig	Geen scheuren	Normaalbuig	Geen scheuren
Normaalbuig	Warmscheurtjes in LM > 3 mm	Normaalbuig	Geen scheuren
<b>HARDHEIDSPROEVEN DWARS OVER DE LAS</b>			



Tabel 2: Mechanische eigenschappen bij kamertemperatuur

inbreng, naast korrelgroei (ASTM 5-6), niobiumdeeltjes segregeren naar de korrelgrenzen. In **figuur 2** is duidelijk dat er scheuren lopen langs deze segregatielijnen.

## HETEROGENE LASVERBINDINGEN

Rondnaden tussen DMV304HCu- en T92-buisjes werden gerealiseerd door middel van het TIG-lasproces met toevoegmateriaal op nikkel-

basis, zijnde Thermanit 617, ERNiCoMo-1 (draaddiameter 2,0 mm) en EPRI P87 (draaddiameter 2,4 mm). De chemische samenstelling van deze materialen is terug te vinden in **Tabel 1**. Er werd gelast in pc-positie, met een lage warmte-inbreng (lager dan 2 kJ/mm) en een voorwarm- en tussenafkoeltemperatuur, gelegen tussen 100 en 150 °C. Vervolgens werd er een warmtebehandeling uitgevoerd

bij 740+10 °C gedurende 30 minuten.

Voorwarmen en een warmtebehandeling na het lassen is vereist voor T92. 255,255,255 Beide lasprocedures werden beproefd volgens de EN 15614-1. Ten gevolge van de warmtebehandeling is het DMV 304HCu-basismetaal gesensitiseerd. Er hebben zich chroomcarbides gevormd rond de korrelgrenzen. De warmtebehandeling na het lassen

resulteerde niet in reheatcracking-scheuren.

Wanneer er gelast werd met een te lage warmte-inbreng (<0,7 kJ/mm), konden er bindingsfouten gevonden worden aan de 304HCu-zijde, na radiografisch en destructief onderzoek. Dit kon verholpen worden door het lassen met een hogere warmte-inbreng (0,7-2 kJ/mm).

Na lassen en beproeving leek het er ook op dat het 617-toevoegmetaal warmtscheur gevoeliger is. De resultaten van de mechanische beproeving (volgens de EN 15614-1 bij kamertemperatuur (KT) zijn samengevat in **tabel 2**.

Daarbij valt op te merken dat de treksterkte van het EPRI-toevoegmateriaal lager is dan die van de basismaterialen en het vereiste minimum voor T92 (620 MPa bij KT), maar boven het vereiste minimum ligt voor DMV 304HCu (590 MPa bij KT).

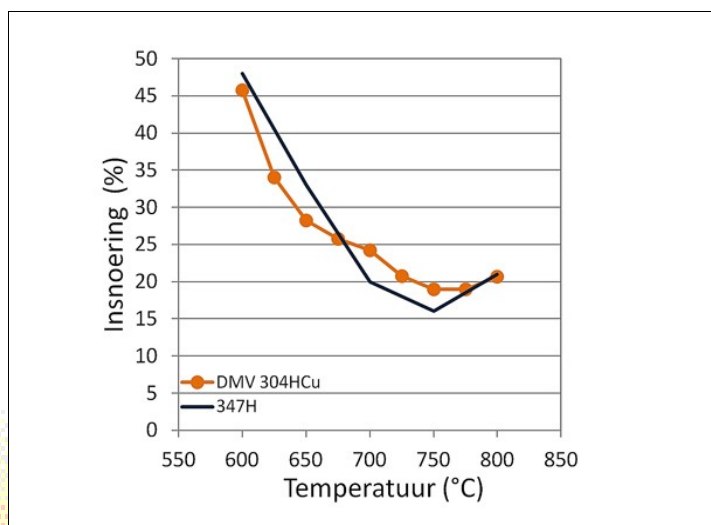
## CONCLUSIE

DMV 304HCu vertoont een gelijkwaardige gevoeligheid voor het vormen van spanningsrelaxatie scheuren tijdens het spanningsarm gloeien als het klassieke 347H. Scheur- en foutvrij lassen van 304HCu aan T92 is mogelijk met een voorwarm- en tussenafkoeltemperatuur gelegen tussen 100 en 150 °C, een lage warmte-inbreng (0,7-2 kJ/mm) en een warmtebehandeling na het lassen bij 740+10 °C gedurende 30 min.

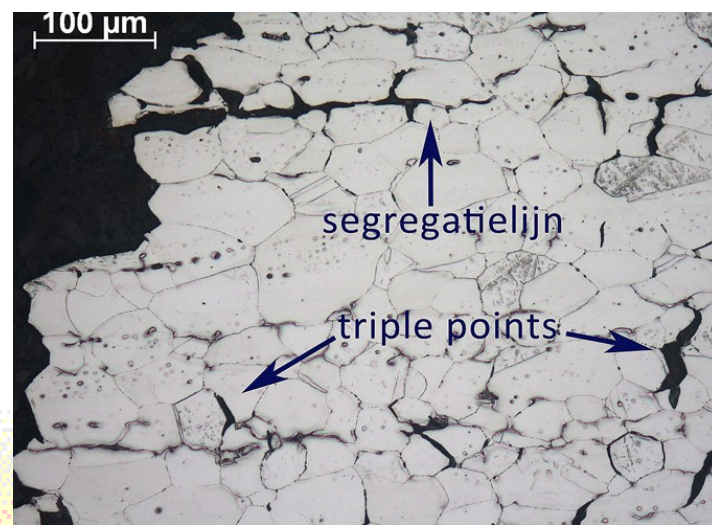
## SLOTWOORD

Dit prenatatieve onderzoeksproject werd gesubsidieerd door FOD Economie.

Aan dit onderzoek leverden de volgende bedrijven een actieve bijdrage: CMI, Metrode (Lincoln), Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes, Sirris, Soudokay (Böhler Welding), Stork Mec, Vallourec & Mannesmann Tubes, VCL, Vinçotte. □



Figuur 1: Resultaten 'reheat cracking'-proeven



Figuur 2: Microstructuur 'reheat cracking'-proefstaaf na beproeving bij 750 °C