

# NOUVELLE GENERATION D'ACIER AUSTENITIQUE: DMV 304HCU

## SOUDABILITE ET PROPRIETES A HAUTE TEMPERATURE, PROJET PRENORMATIF, SPF ECONOMIE

Au cours des deux dernières années, l'Institut Belge de la Soudure a mené, avec Laborelec comme partenaire, un projet de recherche prénormatif consacré au DMV 304HCU. L'objectif est de reprendre ce matériau dans la norme européenne harmonisée EN 10216-5 sous la dénomination X10CrNiCuNb18-9-3. Le DMV 304HCU est produit par Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes et est la version européenne du Super 304H, développé par Sumitomo, pour être appliqué dans des petits tuyaux de (re)surchauffeur dans des centrales au charbon (ultra)super-critiques. L'introduction des aciers austénitiques dans les chaudières implique que dans la chaudière à vapeur, des soudures entre les aciers DMV 304HCU et 9% Cr seront réalisées, ce qui nécessitera un traitement thermique après soudage. Cet article traite de l'influence de ce traitement thermique sur le DMV 304HCU.

Par Ing. Johan Vekeman (B.I.L.) - Traduction: M.C. Ritzen - I.B.S.-B.I.L.)

### MATERIAU DE BASE

Le **Tableau 1** donne la composition chimique du DMV 304HCU. Avant livraison, ce matériau a subi une déformation à froid pour obtenir les dimensions souhaitées des petits tubes (diamètre extérieur de 45 mm et épaisseur de paroi de 9,2 mm), suivie d'un recuit de mise en solution à 1.145 °C. Une micro-structure complètement austénitique à grains fins (ASTM 9) avec des particules de niobium dans les grains a été obtenue. Cette structure est due au processus thermo-mécanique de production où, durant l'extrusion à chaud, on a opté pour une température supérieure de quelque 50 °C à la température finale de recuit de mise en solution.

### SENSIBILITE A LA FISSURATION PAR RELAXATION DES CONTRAINTES

Une étude de la soudabilité a été

réalisée sur ce matériau afin d'examiner, entre autres, la tendance à la fissuration durant le traitement thermique après soudage dans la zone affectée thermiquement (ZAT). Ces fissures sont appelées fissures de relaxation des contraintes ou 'reheat cracks'. En général, les aciers austénitiques réfractaires sont sensibles aux fissures de relaxation des contraintes. Les aciers austénitiques stabilisés au niobium (347H) ou au titane (321H) peuvent être très sensibles. Les fissures apparaissent dans la ZAT à gros grains, juste près de la ligne de fusion; elles sont intergranulaires et suivent les joints des grains austénitiques.

#### Mécanisme

Le mécanisme peut être résumé comme suit: durant le soudage, la ZAT près de la ligne de fusion est réchauffée à très hautes températures. A ces températures, les carbures entrent en solution et un grossissement de grains peut apparaître. Durant le traitement

thermique qui suit, une déformation va apparaître en raison de la relaxation des contraintes résiduelles. Durant le traitement thermique, de fins précipités intergranulaires se forment, ce qui donne une meilleure résistance aux grains qu'aux joints de grains. Dès lors, toute la déformation va se concentrer le long des joints des grains. Cette déformation par fluage locale élevée peut alors donner lieu à des fissures (triple point). Les fissures de relaxation des contraintes peuvent également se former à des températures de service. Ce dernier point ne sera pas traité dans cet article.

#### Essais de traction

La sensibilité du 304HCU, coulée 351180, à la fissuration par relaxation des contraintes a été déterminée à l'aide d'essais de traction à chaud. Une zone à gros grains a d'abord été simulée dans des éprouvettes de traction qu'on a réchauffées jusque 1.350 °C et ensuite refroidies en un temps de

refroidissement  $t_{8/5}$  de 15 secondes. Les éprouvettes ont ensuite été soumises à la traction jusqu'à la rupture à des températures situées entre 600 et 800 °C à une vitesse de 0,5 mm/min. Après rupture, la striction a été mesurée. La striction est une mesure de la sensibilité à la fissuration due au réchauffage. Sur base de l'expérience acquise auparavant, une classification a été établie pour les aciers austénitiques pour lesquels une striction de moins de 20% indique que le matériau est sensible à la fissuration par relaxation des contraintes.

#### Résultats

D'après les résultats (**Fig. 1**), il apparaît que le DMV 304HCU, coulée 351180, est sensible au reheat cracking à  $750 \pm 10$  °C. C'est la plage de températures qui est exigée pour l'acier martensitique 9% Cr, T92, lors d'un traitement thermique après soudage. Cette coulée de DMV 304HCU donne une courbe similaire que pour le classique 347H qui, dans le passé, semblait être très sensible à la fissuration par relaxation des contraintes. De plus, il faut noter que la sensibilité au reheat cracking est fonction de la coulée. Il est également vrai que ces fissures sont plutôt attendues dans des constructions de forte épaisseur, des assemblages en T tels collecteur-tube ou assemblages avec des épaisseurs de paroi différentes où les tensions résiduelles après soudage sont plus élevées que dans des assemblages bout à bout de faible épaisseur dans de petits tubes de surchauffeur. Sur la coupe métallographique de l'éprouvette de traction à 750 °C (**Fig. 2**), la rupture est clairement intergranulaire et les fissures secondaires présentent une forme caractéristique, appelée triple point. Après simulation de soudage de la ZAT à gros grains

**Tableau 1:** Composition chimique du métal de base et du métal déposé

MATERIAU	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V	W	Cu	Co	N(2)	Ti	Al	B	Fe
<b>METAL DE BASE (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>METAL DEPOSE (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

SOUDURE BOUT A BOUT THERMANIT 617		SOUDURE BOUT A BOUT EPRI P87	
ESSAIS DE TRACTION TRANSVERSALE A LA SOUDURE			
R <sub>m</sub> (MPa)	POSITION DE LA RUPTURE	R <sub>m</sub> (MPa)	POSITION DE LA RUPTURE
699	BM - T92	630	LM
698	BM - 304HCu	611	LM
ESSAIS DE RESILIENCE			
POSITION DE L'ENTAILLE	RESILIENCE (J/CM <sup>2</sup> )	POSITION DE L'ENTAILLE	RESILIENCE (J/CM <sup>2</sup> )
LM	130 / 143 / 120: moy. 131	LM	124 / 119 / 100: moy. 114
WBZ 304HCu	200 / 193 / 200: moy. 198	WBZ 304HCu	218 / 204 / 200: moy. 217
WBZ T92	232 / 223 / 243: moy. 233	WBZ T92	210 / 167 / 243: moy. 207
ESSAIS DE PLIAGE TRANSVERSAL (MANDRIN 4X EPAISSEUR DE PAROI, ANGLE DE PLIAGE: 180°)			
EPROUVETTE	RESULTAT	EPROUVETTE	RESULTAT
Contrepliage	Pas de fissures	Contrepliage	Pas de fissures
Contrepliage	Petite fissure < 3 mm (collage du côté 304HCu)	Contrepliage	Pas de fissures
Pliage normal	Pas de fissures	Pliage normal	Pas de fissures
Pliage normal	Fissures à chaud >3mm	Pliage normal	Pas de fissures
ESSAIS DE DURETE AU TRAVERS DE LA SOUDURE			

base DMV 304HCu est sensibilisé. Des carbures de chrome se sont formés autour des limites de grains. Le traitement thermique après soudage ne provoque pas de fissures reheat cracking. Quand on a soudé avec un apport calorifique trop faible (<0,7 kJ/mm), des collages ont été trouvés du côté du 304HCu, après examen radiographique et destructif. On a pu y remédier en soudant avec un apport calorifique plus élevé (0,7 – 2 kJ/mm). Après soudage et essai, il est apparu que le métal d'apport 617 était sensible à la fissuration à chaud. Le **Tableau 2** reprend les résultats des essais mécaniques à température ambiante (TA). Il faut noter que la résistance à la traction du métal d'apport EPRI est inférieure à celle des matériaux de base et la valeur minimale exigée pour T92 (620 MPa à TA), mais supérieure à la valeur minimale exigée pour DMV 304HCu (590 MPa à TA).

**CONCLUSION**

L'acier DMV 304HCu présente une sensibilité similaire à la fissuration par relaxation des contraintes durant le recuit de relaxation que l'acier classique 347H. Il est possible de souder le 304HCu à T92 sans fissures et sans défauts en utilisant une température de préchauffage et de refroidissement intermédiaire située entre 100-150 °C, un faible apport calorifique (0,7-2 kJ/mm) et un traitement thermique après soudage à 740+10 °C durant 30 min.

**REMERCIEMENT**

Ce projet de recherche prénotatif a été subsidié par le SPF Economie. Les sociétés suivantes ont contribué activement à cette recherche: CMI, Metrode (Lincoln), Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes, Sirris, Soudokay (Böhler Welding), Stork Mec, Vallourec & Mannesmann Tubes, VCL, Vinçotte. □

**Tableau 2:** Propriétés mécaniques à température ambiante

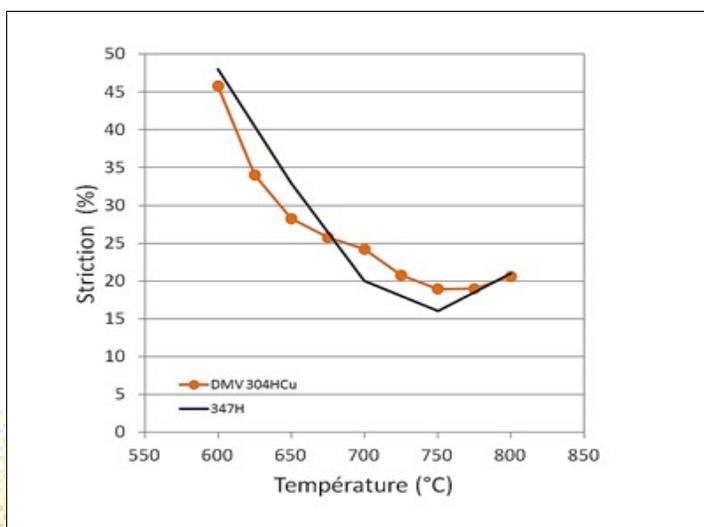
dans le DMV 304HCu et examen métallographique, il est apparu qu'à la suite de l'apport calorifique, on a un grossissement de grains (ASTM 5-6) et des particules de niobium migrent vers les limites de grains. Dans **la figure 2**, il est clair que les fissures se situent le long de ces lignes de ségrégation.

entre les tubes DMV304HCu et T92 au moyen du procédé de soudage TIG avec métal d'apport à base de nickel - Thermanit 617, ERNiCoMo-1 (diamètre du fil 2,0 mm) et EPRI P87 (diamètre du fil 2,4 mm). La composition chimique de ces matériaux est reprise au **Tableau 1**. On a soudé en position PC, avec un faible apport calorifique (inférieur à 2 kJ/mm) et une température de préchauffage et de refroidissement

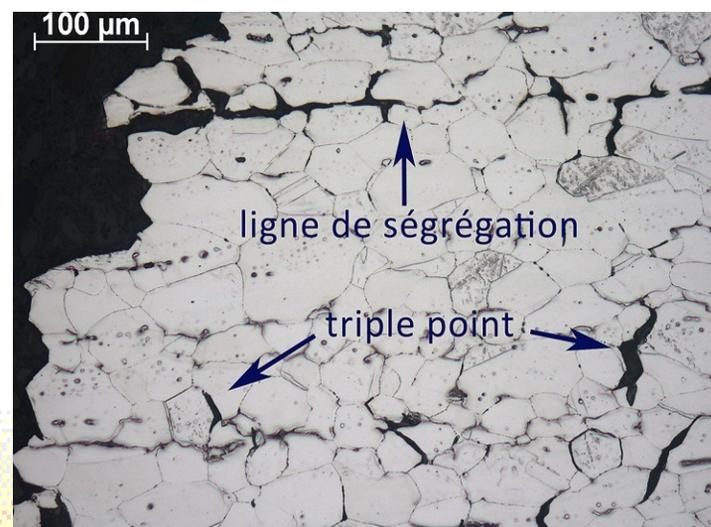
intermédiaire située entre 100 et 150 °C. Un traitement thermique a ensuite été réalisé à 740 ±10 °C durant 30 min. Un préchauffage et un traitement thermique après soudage sont exigés pour le T92. Les deux procédures de soudage ont été testées suivant l'EN 15614-1. Les Figures 3 et 4 présentent une macrographie des soudures réalisées et une micrographie de la ZAT. A la suite du traitement thermique, le métal de

**SOUDURES HETEROGENES**

Des joints circulaires ont été réalisés



**Figure 1:** Résultats des essais 'reheat cracking'



**Figure 2:** Microstructure de l'éprouvette 'reheat cracking' après essai à 750°C