

NOUVEL ACIER INOXYDABLE SUPERMARTENSITIQUE 13Cr

SOUDEABILITÉ, RÉSISTANCE À LA RUPTURE, RÉSISTANCE À LA CORROSION, FORTE ÉPAISSEUR

Ce projet de recherche sur les aciers inoxydables supermartensitiques est une prolongation des recherches réalisées lors des biennales précédentes consacrées au développement des aciers 13Cr soudables récents. Ces aciers attractifs du point de vue économique offrent en plus de leur résistance raisonnable à la corrosion, une résistance élevée et une bonne ductilité. C'est précisément pour cela que de tels aciers sont utilisés pour la fabrication de pipelines (flowlines) pour le transport de pétrole ou de gaz à caractère corrosif limité.

Par *Ir. E. Deleu,*
Centre de Recherche de l'IBS

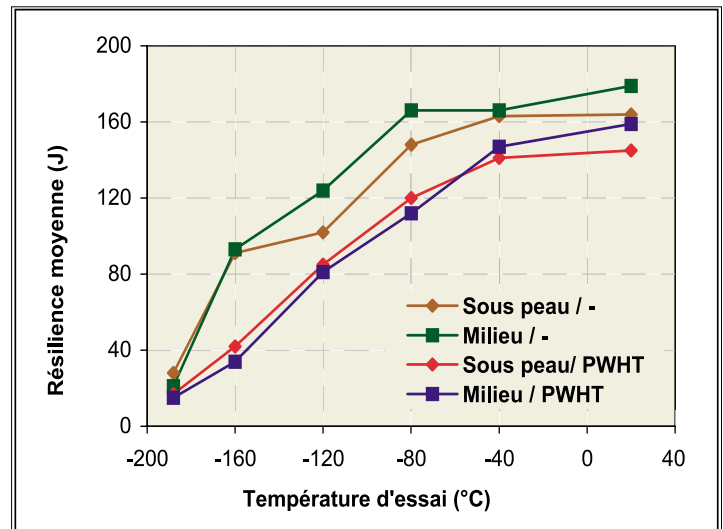


Figure 1 : Résilience à différentes températures du métal de base de 40 mm d'épaisseur à l'état de livraison et à l'état recuit (toutes doc.: Marc Martens)

SOUDEABILITÉ ET RÉSISTANCE À LA RUPTURE

Au cours de la biennale actuelle, l'accent sera mis sur la soudabilité et la résistance à la rupture de l'acier inoxydable supermartensitique 'medium' (avec 1,5 % Mo) en forte épaisseur pour utilisation dans des récipients à pression, échangeurs de chaleur, 'slug catchers', etc. Il faut mentionner que pour la plupart de ces applications, selon la plupart des codes, un traitement de recuit après soudage est prescrit. De plus, le même acier, dans une épaisseur moindre, sera examiné d'une façon détaillée afin de définir, pour les 'flowlines', les limites pour les conditions de soudage qui donnent une bonne ductilité couplée à une résistance suffisante à la corrosion sous tension. Afin d'atteindre cet objectif, une légère adaptation de la composition du métal de base sera très probablement encore nécessaire car la corrosion a été principalement constatée dans la zone influencée thermiquement.

PREMIÈRE PARTIE DE LA RECHERCHE

Pour la réalisation de la première partie de la recherche, une tôle de 40 mm d'épaisseur a été mise à disposition. Ses propriétés mécaniques sont reprises dans le tableau (données de l'aciériste). La limite d'allongement et la résistance à la traction garanties à température ambiante sont respectivement de 550 MPa (même jusque 150 °C) et de 750 MPa. L'allongement minimal spécifié est de 15 % quand la dureté du métal de base et de la zone de transition peut être limitée à 350HV10. La résilience garantie du métal de base à -50 °C est de 100 J en moyenne. Le matériau d'essai satisfait manifestement aux exigences énumérées précédemment. L'acier inoxydable avec une teneur en carbone, azote et soufre respectivement de 50 ppm, 58 ppm et 9 ppm a effectivement de très bonnes propriétés de résistance, une ductilité élevée et est en plus limité en dureté.

ESSAIS SUPPLÉMENTAIRES

Comme les soudures, au cours de ce projet, sont principalement testées à l'état traité thermiquement, des essais et des mesures supplémentaires ont été réalisés sur le métal de base après un traitement de recuit à 620 °C durant deux heures et comparés aux valeurs correspondantes déterminées sur l'acier à l'état de livraison. Il a été constaté que, suite au traitement thermique, la limite d'allongement passe de 780 MPa (valeur beaucoup plus élevée que celle mentionnée sur le certificat) à 580 MPa tandis que la résistance à la traction augmente légèrement. Le rapport limite d'allongement/résistance à la traction diminue donc de 0,92 à 0,66. De plus, la ductilité diminue de 22 % à 16 %. L'influence du traitement thermique sur la résilience du métal de base déterminée à différentes températures est donnée à la figure 1 et est valable pour des positions sous la surface (sub) et au milieu

de la tôle. Il est clair qu'un tel traitement de recuit entraîne toujours une faible diminution de la résilience du métal de base. Bien entendu, la température de transition est encore toujours très basse (inférieure à -120 °C) et reflète donc une très bonne ductilité dans les deux conditions.

ESSAIS DE SIMULATION DE SOUDAGE

La soudabilité du métal de base a ensuite été examinée à l'aide d'essais de simulation de soudage où différentes températures de pointe simples ou doubles et différentes vitesses de refroidissement ont été appliquées afin de pouvoir déterminer, d'une manière systématique, les propriétés de toute la zone influencée thermiquement dans une soudure réelle. La résilience moyenne des microstructures de simulation de soudage non recuites est donnée à la figure 2 et montre que chaque cycle thermique de soudage sur le métal de base (avec une résilience de 166 J) a une influence négative sur la ductilité bien que celle-ci soit encore au minimum de 62 J. Cette ductilité minimale apparaît aux structures qui, lors du soudage à faible apport calorifique, ont subi un cycle simple et qui sont situées près de la ligne de fusion. Les microstructures soumises à un double cycle thermique ont à nouveau une ductilité garantie de 120 J minimum. La dureté moyenne de ces mêmes microstructures présentes dans la

Tableau: Propriétés mécaniques de l'acier inoxydable supermartensitique de 40 mm d'épaisseur après trempe et revenu (suivant le certificat du matériau)

| Coulée Numéro | Tôle Numéro | Propriétés à la traction transversale | | | Résilience à -40 °C | | Dureté moyenne (HV10) |
|---------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| | | Lim. d'allongement (MPa) | Résist. à la traction (MPa) | Allongement à la rupt. (%) | Individuelle (J) | Moyenne (J) | |
| 77641 | 711035/1-1 | 642 | 825 | 22 | 180-174-194 | 183 | 252 |

zone de transition est reprise dans la figure 3. Il est net que toute la zone influencée thermiquement est plus dure que le métal de base initial (271HV5) avec un maximum de 333HV5 pour une température de pointe de 900 °C et donc quelque peu éloignée de la ligne de fusion. L'influence de la vitesse de refroidissement sur la dureté est extrêmement limitée. De plus, la modification en dureté suite à un cycle thermique multiple est pratiquement inexistante.

Le fait que les zones les plus dures dans un acier inoxydable supermartensitique 13Cr se situent à une faible distance de la ligne de fusion est dû à la température de pointe limitée de telle sorte que le matériau est resté complètement austénitique à cet endroit et a donc conservé sa structure plus fine, et à l'absence de ferrite. En effet, des zones qui se transforment complètement en phase ferrite (avec grossissement de grain pour conséquence) ou en phase mélangée ferrite-austénite, contiennent, après refroidissement, encore immanquablement de la ferrite (plus douce), dans certains cas plus de 10%. Contrairement à ce qui est mentionné lors de l'essai du métal de base, on a constaté une légère amélioration de la résilience du métal de base grâce à un recuit durant deux heures avec une température de recuit croissante jusque 190 J maximum. De plus, les microstructures les plus fragiles dans la zone de transition, voir plus haut, sont également restaurées en ductilité jusque 180 J minimum. Enfin, le métal de base est peu adouci par de tels traitements thermiques. L'effet adoucissant sur la zone de transition plus dure est plus net de sorte qu'avec des températures de recuit croissantes, des duretés proches de celles du métal de base (maximum 276HV5 après recuit à 620 °C) sont progressivement obtenues. Une soudure réalisée en semi-automatique avec un fil massif de composition comparable à celle du métal de base (matching) a été examinée à l'état recuit. La dureté maximale sur toute la soudure n'est que de 320HV5.

La limite d'allongement du métal déposé à la suite du traitement thermique n'est que de 530 MPa en moyenne bien que la rupture, lors d'essais de traction transversale, se soit encore passée dans le métal de base en raison de la résistance suffisamment élevée de 940 MPa. En outre, des essais de pliage ont montré la bonne ductilité et le caractère sans défauts de la soudure. Par la suite, on a constaté une bonne résilience à -40 °C sur toute la soudure (70 J minimum) tant près de la surface qu'au milieu de la tôle au travers de la racine de la soudure. On a exceptionnellement obtenu une résilience de 39 J

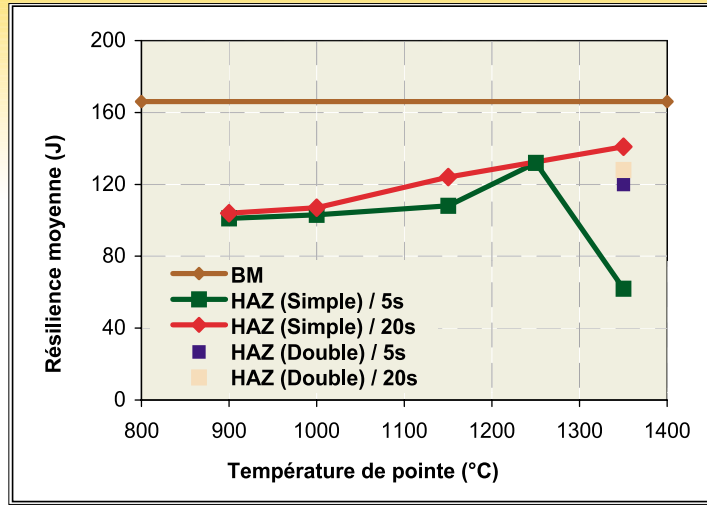


Figure 2: Résilience à -40 °C de microstructures de simulation de soudage en comparaison avec celle du métal de base

seulement dans le métal déposé situé sous la surface. Celle-ci peut atteindre 49 J en appliquant un recuit plus long à 640 °C. Il est également bon de mentionner le fait qu'on a toujours mesuré une résilience plus faible dans la zone de transition que durant la recherche sur la soudabilité et l'effet du recuit. La résistance à la rupture CTOD à -40 °C de la soudure traitée thermiquement était également bonne à l'endroit du métal déposé et de la ligne de fusion avec des valeurs minimales de 0,21 mm et 0,48 mm respectivement. Ce sont des résultats prometteurs pour de tels aciers à haute résistance. Au cours de la deuxième année de ce projet, des soudures sous flux et des soudures à l'électrode seront examinées. On va tenter d'optimiser le traitement de recuit, surtout dans le cas de la soudure manuelle.

DEUXIÈME PARTIE DE LA RECHERCHE

Durant une réunion de mise au point consacrée à la deuxième partie de la recherche, les points suivants ont été discutés. On a constaté de la corrosion sous tension à hauteur de la zone de transition des pipelines

en acier inoxydable 13Cr au cours de différentes recherches internationales et également en service.

Cette corrosion est souvent apparue à 12-20 bar CO₂ en présence de chlorures (même avec des teneurs de 1000 ppm seulement), à 1,2-1,6 mbar H₂S (selon certains chercheurs même pas nécessaire), en l'absence d'oxygène (bien qu'incertain) et à des températures entre 100 °C et 120 °C. De plus, on a principalement constaté une fissuration intergranulaire. Les discussions ont permis de répertorier les conditions nécessaires pour que la corrosion sous tension puisse apparaître dans les aciers inoxydables supermartensitiques. A l'endroit d'une microstructure sensible (zone influencée thermiquement), le risque est donc réel qu'à la suite d'un certain état de tension et un certain état de surface, des fissures intergranulaires se développent dans un certain laps de temps.

CONCLUSIONS ET DEROULEMENT DU PROJET

Les conclusions de la première partie du projet sont donc que le

métal de base de 40 mm d'épaisseur en condition trempé-revenu a une limite d'allongement et une résistance élevées avec une bonne ductilité et une excellente ténacité. La limite d'allongement présente une forte baisse après recuit à 620 °C durant deux heures. En outre, ce matériau est certainement soudable puisque la ductilité diminue dans des limites acceptables et la dureté est de 330HV5 maximum.

La ductilité dans la zone de transition est cependant restaurée en grande partie après application du traitement thermique susmentionné tandis que la dureté, dans ce cas, peut également être limitée jusqu'à moins de 300HV5. Enfin, on a pu réaliser une soudure MAG sans défauts avec un fil "matching" donnant, après recuit, une soudure ayant, généralement, une dureté, résilience et résistance à la rupture CTOD acceptables. Seul le métal déposé possédait localement une ductilité limitée mais ceci a pu être amélioré par une petite adaptation du traitement de recuit. Localement, le métal déposé présentait une forte diminution de la limite d'allongement ce qui a été la constatation la plus surprenante de cet examen.

Afin d'examiner tout ceci, l'IBS va collaborer avec différents organismes européens afin de pouvoir créer, à l'aide de simulations de soudage, les conditions nécessaires qui donnent lieu à de la corrosion sous tension. Ceci exige naturellement l'étude du mécanisme de la corrosion sous tension sur l'acier inoxydable 13Cr et le développement d'une méthode d'essai appropriée. Tout ceci sera réalisé durant la deuxième moitié du projet. Il est souhaitable qu'une solution à ce problème soit trouvée dans un laps de temps raisonnable de façon à ce que les utilisateurs finaux gardent une bonne impression de ces aciers à fort potentiel. □

Ir. E. Deleu, Centre de Recherche de l'IBS

Figure 3: Dureté de microstructures de simulation de soudage en comparaison avec le métal de base

