

DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU PROCÉDÉ DE SOUDAGE PAR FRICTION

LE SOUDAGE AUTOMATIQUE DE PIPELINES

L'an passé, la recherche sur la méthode de soudage déjà développée pour le soudage automatique de pipelines (FRIEX) a été poursuivie. Cette recherche a été réalisée par la société Denys en collaboration avec l'Institut Belge de la Soudure, le Labo Soete de l'université de Gent, Cenaero et avec le soutien de la Région flamande (IWT). Le projet a pour objectif de mettre au point une nouvelle variante du procédé de soudage par friction pour le soudage complètement automatique de pipelines

Par Ir. K. Faes (Centre de Recherche de l'IBS)

(Traduction: M.C. Ritzen - IBS-BIL)



Aperçu d'une soudure typique

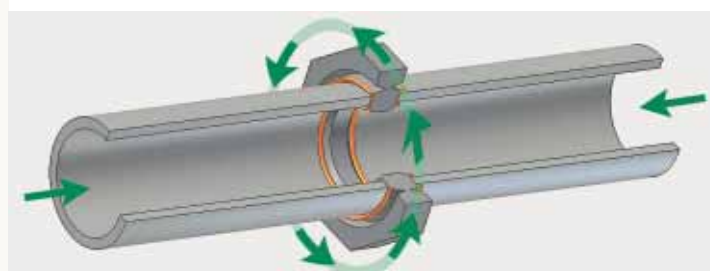


Figure 1: Principe de la nouvelle variante du procédé de soudage par friction

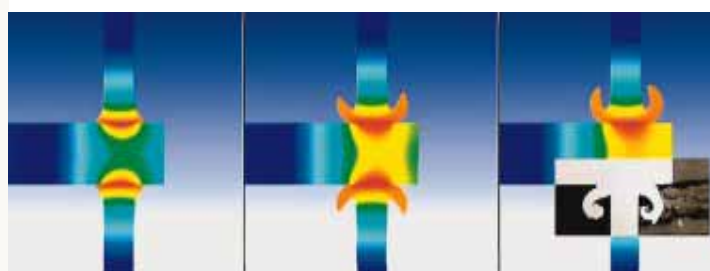


Figure 2: Simulations par éléments finis du procédé de soudage

PRINCIPE DU NOUVEAU PROCÉDÉ DE SOUDAGE PAR FRICTION

Dans ce procédé, on utilise un disque de soudage mis en rotation entre les extrémités des tubes à souder et soumis à une pression axiale (figure 1). Une fois la température nécessaire atteinte dans la zone de la soudure et l'arrêt du disque, on exerce une pression axiale de forgeage. A la fin du processus, les ébarbures et les restes du disque sont enlevés à l'aide d'un fraisage automatisé.

Essais de soudage

Dans le passé, ce procédé avait déjà été examiné pour de petits tubes ayant un diamètre allant jusque 114 mm. L'influence des paramètres de soudage sur les propriétés des soudures avait été étudiée pour l'assemblage d'aciers C-Mn laminés conventionnels pour tubes API-5L X42 et X52 dont la structure était constituée de ferrite-perlite normalisée. Pour ces tubes, un disque de soudage à structure compatible avait été utilisé et les dimensions critiques du disque de soudage avaient été déterminées. Des soudures ayant une résistance et une résilience suffisantes avaient été réalisées qui satisfaisaient aux exigences posées dans la norme souvent utilisée pour le soudage des pipelines EN 12732.

Thèmes

Dans la troisième phase du projet FRIEX (2005-2006), les thèmes suivants ont été traités:

- Etude de faisabilité du soudage des tubes en aciers modernes à haute résistance pour pipelines à l'aide du procédé de soudage

FRIEX.

- Mise au point et affinement des modèles par éléments finis.
 - Examen de l'influence des paramètres de soudage sur les propriétés des tubes soudés en API-5L X42 et X52.
 - Examen des problèmes liés à l'application de la nouvelle technique dans la pratique et conception d'un dispositif d'essai à grande échelle.
 - Qualification des soudures.
- Les résultats des essais sont brièvement présentés dans la suite de cet article.

ACIERS MODERNES À HAUTE RÉSISTANCE POUR PIPELINES (ACIERS TMCP)

Durant ces dernières décennies existe une tendance à utiliser des aciers microalliés pour pipelines qui ont une structure bainitique due à un processus de laminage thermomécanique (aciers dits TMCP; Thermo-Mechanical Controlled Processing). Ils ont une très faible teneur en carbone (0,03 - 0,06 %) et sont principalement alliés à du Mn, Mo, Nb, V et Ti. Le Mn et Mo favorisent la formation de bainite tandis que le Nb, V et Ti sont nécessaires pour l'obtention d'une très fine microstructure. Les aciers TMCP les plus connus sont: L450MB et L485MB (ou API-5L X65 et X70).

Etude de faisabilité

L'année passée, une étude de faisabilité a été réalisée sur le soudage de ces aciers au moyen du procédé de soudage Friex. Dans une première phase, des simulations de soudage ont été réalisées avec l'acier API-5L X70. Sur base des

BIBLIOGRAPHIE

- Afschrift, P., Faes, K., De Baets, P. De Waele, W. FRIEX: Friction welding of pipeline girth welds. Pipeline World, December 2004
- Faes, K., Afschrift, P., De Baets, P. Nieuwe wrijvingslastechniek voor het automatisch lassen van pijpleidingen. BIL/Nil-Lassymposium, 30 nov. 2005, Gand
- Afschrift, Faes, K. Nieuw wrijvingslasproces voor automatische lassen pijpleidingen - Verslag onderzoeksprogramma. Métallerie 89, Special Soudage, avril 2006, pp. 19-21
- Faes, K., De Baets, P. Afschrift, P. Jaspert, O. New friction welding process for pipeline girth welds - Parameter optimisation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B. Journal of Engineering Manufacture. En préparation.
- Ghanimi, Y., Cerjak, H. C. and Faes, K. Modelling of Friction Welding of Long Components. 6th Int. Trends in Welding Research Conference Proceedings, 15-19 April 2002, Pine Mountain, GA, ASM International, 2003, p 329-333.
- Ghanimi, Y., Faes, K. Coupled thermal-mechanical analysis of a novel friction welding process for welding of large size components. 5th International Seminar on the Numerical Analysis of Weldability; Schloss Seggau; Austria; Sept. 1999. pp. 897-911. 2001
- Report on Modeling of Friction Welding. Dr. Yassar Ghanimi, July 2003.

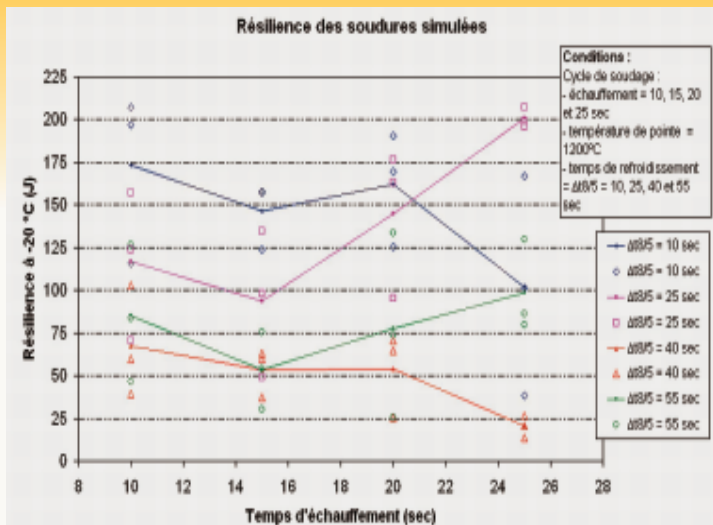


Figure 3: Résilience des soudures simulées en acier API-5L X70

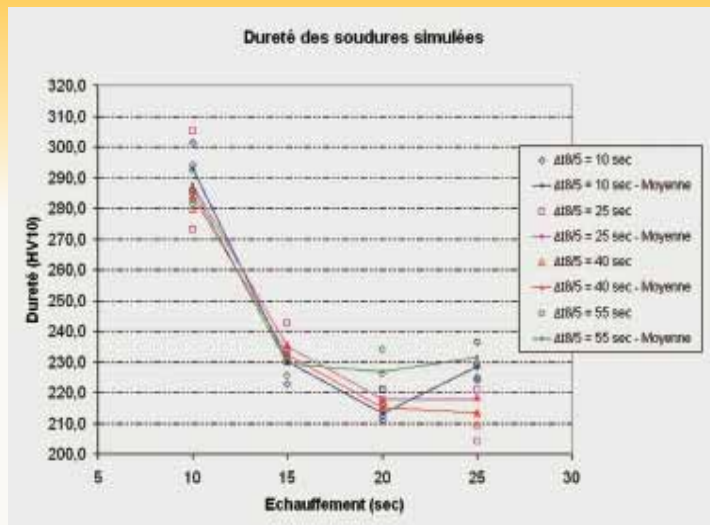


Figure 4: Dureté des soudures simulées

simulations de soudage et plus tard des éprouvettes soudées, on a constaté que les microstructures dans la zone affectée thermiquement sont bainitiques et que le temps de soudage a une influence moins grande sur la résilience des soudures que dans le cas des aciers laminés conventionnels. On a cependant constaté une forte dépendance de la vitesse de refroidissement. Les figures 3 et 4 montrent respectivement la résilience et la dureté des soudures simulées en fonction du temps d'échauffement et du temps de refroidissement ($\Delta t_{8/5}$). Lors du soudage de ces aciers, il faut toujours rechercher un compromis entre la dureté et la résilience. Un temps de soudage court donne une dureté élevée, un temps de soudage long une fragilisation. De plus, le temps de refroidissement doit être court pour obtenir une résilience suffisante dans la zone de la soudure.

Epreuves de soudage

La soudabilité de l'acier à haute résistance API-5L X70 a été évaluée à l'aide d'éprouvettes de soudage, avec des tubes ayant un diamètre de 3 et 4 pouces (resp. 88,9 et 114,3 mm). Comme cette qualité d'acier n'est pas disponible en petits diamètres, des éléments de tubes coupés ont été pliés pour former un tube et soudés dans le sens longitudinal avec des

électrodes afin de réaliser des tubes de trois pouces.

Les résultats

Les résultats d'essais ont été satisfaisants: les éprouvettes de traction se sont cassées en dehors de la soudure; la résilience des soudures à hauteur de la ligne de fusion était de 89 J en moyenne et dans le disque de soudage de 94 J en moyenne. La figure 5 montre la microstructure à hauteur de la ligne de fusion. Les essais de soudage ont montré un adoucissement dans la zone affectée thermiquement qui est fonction du temps de soudage. Bien que celui-ci puisse être fortement limité, l'adoucissement apparaissait toujours dans la zone de la soudure de sorte qu'une optimisation des paramètres est encore nécessaire. Cette recherche sera réalisée au cours des phases suivantes du projet.

MODÈLES D'ÉLÉMENTS FINIS

Les modèles par éléments finis du procédé de soudage mis au point par l'université de Graz, ont été affinés. Un modèle a été établi par le nouveau partenaire (Cenaero à

Charleroi) avec lequel on peut réaliser les simulations du procédé de soudage et prévoir les paramètres de soudage. Le modèle a permis d' :

- estimer la forme et les dimensions du disque de soudage (Figure 2)
- extrapoler les résultats d'essais des petits aux grands diamètres et l'influence du rapport modifié de l'épaisseur de paroi par rapport au diamètre.

LORS DU SOUDAGE DES ACIERS MICROALLIÉS POUR PIPELINES (ACIERS DITS TMCP; THERMO-MECHANICAL CONTROLLED PROCESSING), IL FAUT TOUJOURS RECHERCHER UN COMPROMIS ENTRE LA DURETE ET LA RESILIENCE

différentes dimensions et en différents aciers. Il est ainsi possible de limiter les essais étant donné qu'avant d'entreprendre les essais de soudage, il est possible d'affiner le choix de la plage de paramètres escomptée.

INFLUENCE DES PARAMÈTRES DE SOUDAGE

L'influence des paramètres de soudage a été étudiée pour le soudage des tubes en aciers laminés conventionnels API-5L X42

et X52, plus spécialement l'influence de la pression de friction et de forgeage, la vitesse de rotation, le temps de soudage, la forme, les dimensions et le choix du matériau du disque de soudage, la phase de freinage et l'utilisation d'un refroidissement forcé après soudage. Les essais ont été réalisés sur des tubes de trois et quatre pouces (Dext = 88,9 et 114,3 mm). Un aperçu complet des résultats mènerait trop loin; ce qui suit en reprend cependant quelques uns.

Influence du disque de soudage

L'attention s'est portée sur le choix du matériau, la forme et les dimensions du disque de soudage. La recherche d'un matériau optimal pour le disque de soudage est complexe. En effet, le disque de soudage est très fortement soumis à la chaleur. L'apport calorifique élevé ainsi que les dimensions limitées et les faibles possibilités de diminuer la chaleur entraîneront différentes variations microstructurelles dans les matériaux. Pour un apport calorifique trop élevé apparaît une fragilisation. Avec des matériaux durcissables, le risque existe que sous l'influence du gradient thermique, des produits de transformation indésirables se forment (structures bainitiques dures ou même martensite). Les essais de soudage ont été réalisés avec

Figure 5: Microstructure à hauteur de la ligne de fusion (x200 - décapant : Nital 2 %)

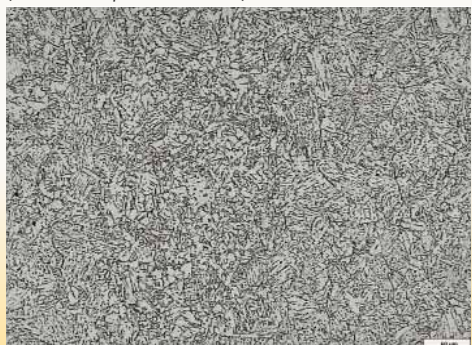


Figure 6: Microstructure à hauteur de la ligne de fusion - Epaisseur du disque de soudage = 14,9 mm

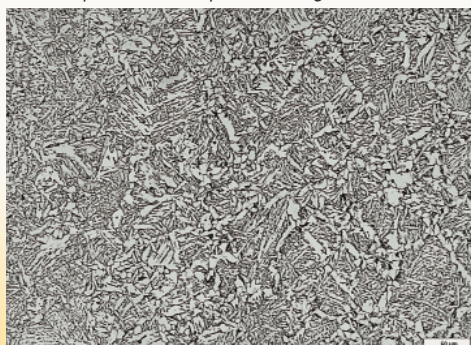
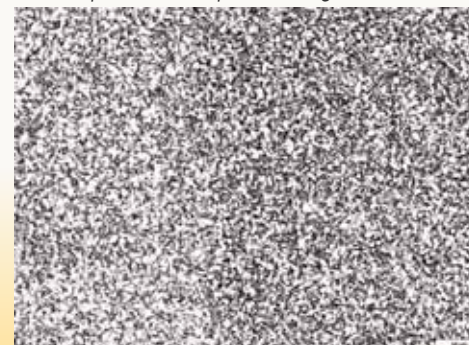


Figure 7: Microstructure à hauteur de la ligne de fusion - Epaisseur du disque de soudage = 19,8 mm



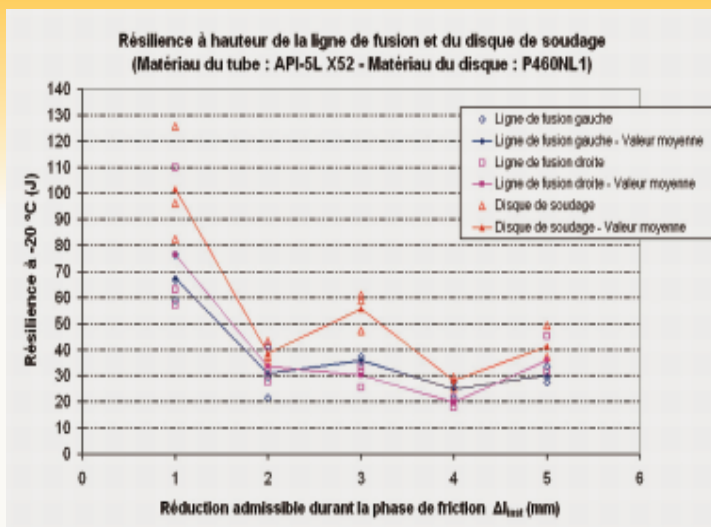


Figure 8: Résilience en fonction du temps de soudage (contrôle via Δl_{inst})

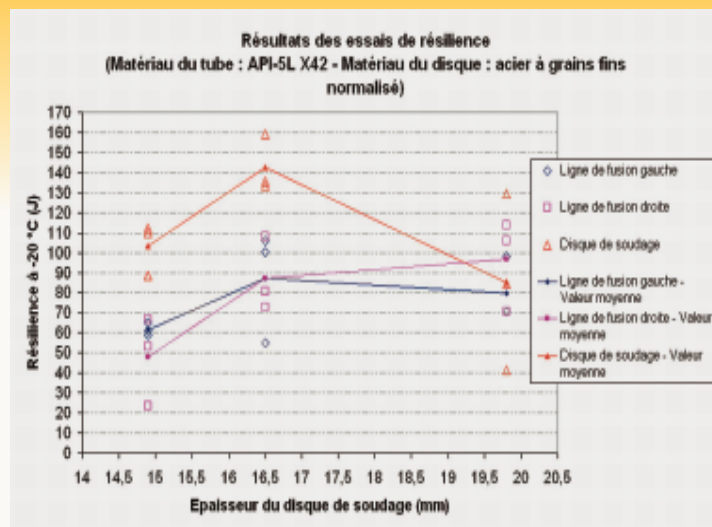


Figure 9: Résilience en fonction des dimensions du disque de soudage

différents aciers tels que des aciers thermomécaniques laminés, des aciers trempés revenus (Q&T), des aciers HSLA et à grains fins normalisés. La figure 8 donne la résilience en fonction du temps de soudage pour des soudures sur tubes en API-5L X52. Par soudure, on a réalisé 3 sets d'essais de résilience, respectivement avec l'entaille à gauche et à droite de la ligne de fusion et au milieu dans le disque de soudage. Le temps de soudage a été contrôlé en mesurant un certain raccourcissement des tubes à souder (Δl_{inst}). Il en ressort que lors de l'utilisation de ce matériau pour le disque, seul un temps de soudage court est admissible ($\Delta l_{inst} = 1,0$ mm, correspondant à un temps de soudage de 14,4 s). Dans ce cas, la dureté dans la zone affectée thermiquement s'élevait à 260 HV10 maximum.

apparaître que la forme, les dimensions et le choix du matériau du disque de soudage ont une très grande influence sur la qualité des soudures. L'épaisseur du disque de soudage influence les propriétés mécaniques telle que la résilience. La figure 9 montre la résilience (à -20 °C) des tubes soudés en API-5L X42 en fonction de l'épaisseur du disque. Lorsque l'épaisseur du disque de soudage est insuffisante apparaissent des structures surchauffées et la résilience dans la soudure est plus faible. Dans les figures 6 et 7, les microstructures de ces soudures pour une épaisseur de resp. 14,9 en 19,8 mm sont comparées. Dans le premier cas, on a une structure bainitique, dans le second une structure constituée de ferrite, de perlite et de carbures.

LA NOUVELLE TECHNIQUE DANS LA PRATIQUE

La troisième phase du projet a été consacrée à l'application de la nouvelle technique dans la pratique. Pour ce faire, un dispositif d'essai à grande échelle a été conçu pour le soudage de tubes ayant un diamètre compris entre 8 et 20 pouces. La construction de ce

dispositif d'essai a commencé et sera prochainement terminée de telle sorte que les soudures de pipelines de grand diamètre en acier microallié à haute résistance moderne (API-5L X65, X70, X80) peuvent être étudiées. Ce dispositif d'essai est représenté à la Figure 11.

CONCLUSION

Pour le soudage des aciers laminés conventionnels ayant une structure ferrite-perlite, tels que l'API-5L X42 et X52, l'influence des paramètres de soudage sur les propriétés a été étudiée. Pour ce faire, des essais ont été réalisés sur des tubes de trois et quatre pouces. Sur base des résultats, les paramètres de soudage peuvent être choisis de telle sorte que des soudures de bonne qualité peuvent être réalisées qui satisfont aux exigences posées dans la norme souvent utilisée EN 12732. Le choix du matériau du disque a également été étudié avec succès. Sur base des connaissances acquises sur le comportement du matériau et des propriétés des soudures, des extrapolations de paramètres de soudage pour d'autres dimensions

de tubes à souder peuvent être faites. Dans une prochaine recherche, l'assemblage de tubes de grand diamètre en aciers microalliés modernes sera étudié. Etant donné la structure (bainitique) et le comportement de ces aciers totalement différents, une recherche complémentaire est nécessaire pour:

- l'optimisation des paramètres de soudage et la détermination de la plage de paramètres pour l'assemblage de tubes de grand diamètre en aciers microalliés modernes,
 - l'extrapolation des paramètres de soudage pour d'autres dimensions,
 - la détermination du matériau adéquat pour le disque, pour le soudage de ces aciers et l'optimisation des dimensions de celui-ci.
- Comme ces aciers ne sont pas disponibles pour des diamètres inférieurs à 12" (Dext = 323 mm), la recherche sera réalisée avec le dispositif d'essai à grande échelle. Les résultats serviront également à la qualification du procédé de soudage avec pour objectif d'appliquer la technique dans la pratique. □

Figure 10: Répartition de la température dans une soudure simulée

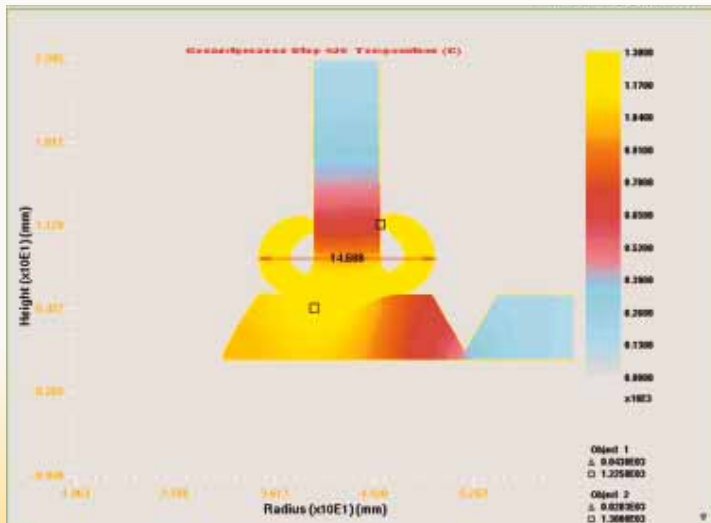


Figure 11: Dispositif d'essai à grande échelle

