

Estimation de contraintes résiduelles par la méthode du contour : application au soudage multipasse

C. RAMARD^{a,b}, P. PILVIN^b, D. CARRON^b, F. BRIDIER^c

a. IRT Jules Verne, Chemin du Chaffault, 44340 Bouguenais, constant.ramard@univ-ubs.fr

b. IRDL – FRE CNRS 3744, Université Bretagne Sud, rue de Saint-Maudé, 56321 Lorient Cedex, philippe.pilvin@univ-ubs.fr, denis.carron@univ-ubs.fr

c. Naval Group Research, Technocampus Océan, 5 rue de l'Halbrane 44340 Bouguenais, florent.bridier@naval-group.com

Résumé :

Les procédés de soudage sont l'un des moyens d'assemblage les plus utilisés dans la construction navale. Pour des pièces de fortes épaisseurs, les joints soudés nécessitent plusieurs étapes successives (soudage multipasse) engendrant ainsi des contraintes et des déformations résiduelles. Dans cette étude deux méthodes de mesure de contraintes résiduelles (méthode du contour et méthode du trou profond) ont été appliquées sur un joint d'angle en T en acier à haute limite d'élasticité.

Abstract:

Arc welding is commonly used to join metallic parts in shipbuilding. For thick plate assemblies multipass welding is employed, each weld bead being deposited one after another. Distorsion and residual stresses are induced by multipass welding. In this study, experimental measurements by contour method and deep-hole drilling (DHD) technique have been achieved on welded T-section high strength steel.

Mots clefs : Soudage multipasse, contraintes résiduelles, méthode du contour, méthode du trou profond.

1 Introduction

Les procédés de soudage font partie des moyens d'assemblage les plus utilisés dans la fabrication de structures métalliques. Lorsque les épaisseurs des pièces sont importantes, ce qui est souvent le cas en construction navale, un joint soudé peut être réalisé en plusieurs étapes successives (soudage multipasse). L'histoire thermique et les modifications microstructurales provoquées par le soudage engendrent des contraintes et des déformations résiduelles qu'il est important de maîtriser. L'étude de la tenue mécanique des assemblages soudés s'appuie généralement sur la connaissance de la microstructure de l'acier et des champs de contraintes et de distorsions présents en fin de soudage. La simulation numérique peut aider à leur évaluation. Cependant la confrontation de telles simulations à des mesures expérimentales s'avère souvent nécessaire dans un but de validation.

2 Méthodes d'estimation des contraintes résiduelles

Dans cette étude, on s'intéresse à la mesure des contraintes résiduelles générées lors d'une opération de soudage multipasse par la méthode du contour et la méthode du trou profond (DHD). L'estimation des contraintes résiduelles par ces deux méthodes a été mise en œuvre sur plusieurs coupons soudés représentatifs des étapes d'un soudage multipasse en Té sur un acier à haute limite d'élasticité. Cela permet une analyse de la redistribution des contraintes dans le joint soudé passe après passe.

2.1 Méthode du contour

Cette méthode destructive est basée sur la mesure des surfaces découpées, de certaines composantes du déplacement induites par la redistribution des contraintes (Figure 1) [1].

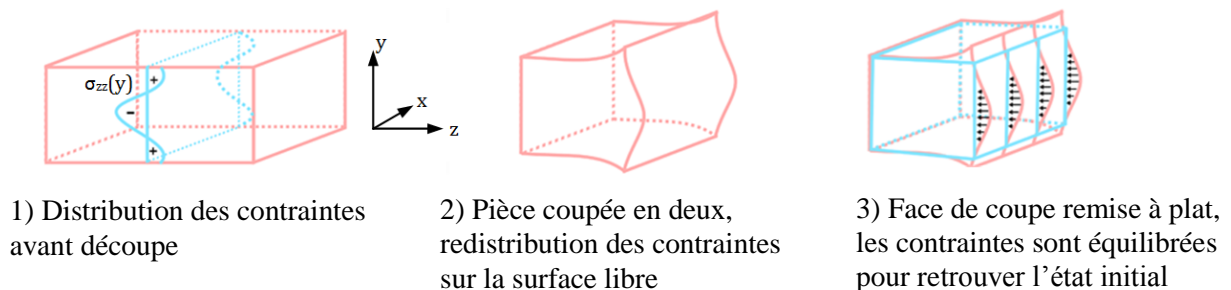


Figure 1 : Principe de la méthode du contour [2]

La mise en œuvre de cette méthode nécessite une découpe soignée du joint soudé qui peut être effectuée par électroérosion (EDM) (Figure 2). Cette technique de découpe effectuée sans contact génère très peu de modifications de l'état de contrainte de la pièce à découper.

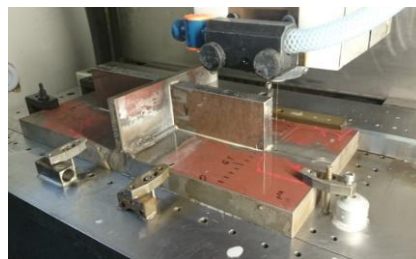


Figure 2 : Découpe EDM d'un joint soudé en Té

La topographie des faces découpées est mesurée à l'aide d'un profilomètre, les nuages de points obtenus par les mesures sur les deux faces (mesurées séparément) sont recalés dans un même repère. Le filtrage des points de mesure permet d'éliminer les valeurs aberrantes et de s'affranchir des effets de bord de la découpe.

Un lissage du nuage de points de mesure permet d'atténuer le bruit de mesure qui conduirait à l'obtention de niveaux de contrainte non représentatif du champ de contrainte réel (Figure 3) [3]. Il s'agit d'un lissage par splines cubiques réalisé via Matlab® (*csaps function*). Après le lissage les déplacements des points de mesure sont projetés sur un maillage éléments finis représentatif du joint soudé.

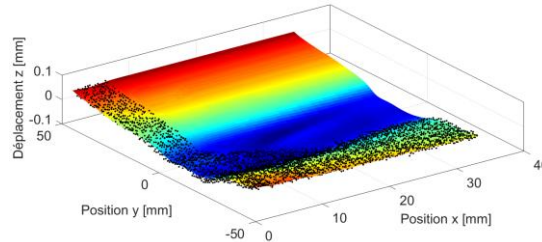


Figure 3 : Champ de déplacement lissé et points de mesure après post-traitement

La composante normale du déplacement de la nouvelle surface libre est alors imposée aux nœuds d'un maillage éléments finis de la pièce étudiée et un calcul en élasticité linéaire permet une estimation de la composante normale de la contrainte sur la surface de découpe.

2.2 Méthode du trou profond

Cette méthode semi-invasive permet d'évaluer le niveau de contrainte résiduelle en réalisant un perçage à travers la pièce et en mesurant précisément le diamètre avant et après redistribution des contraintes. La redistribution des contraintes est obtenue en réalisant un carottage autour du trou de référence à l'aide d'un trépan (électroérosion par enfonçage). Cette technique permet d'estimer localement et dans deux directions orthogonales le niveau des contraintes résiduelles. Les mesures réalisées par l'entreprise Veqter® (Bristol, Royaume-Uni) ont été situées au même endroit pour les différents tronçons représentatifs des étapes successives du soudage (Figure 4).

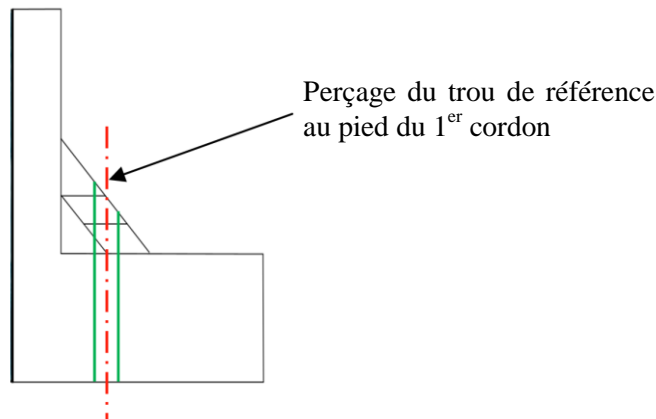
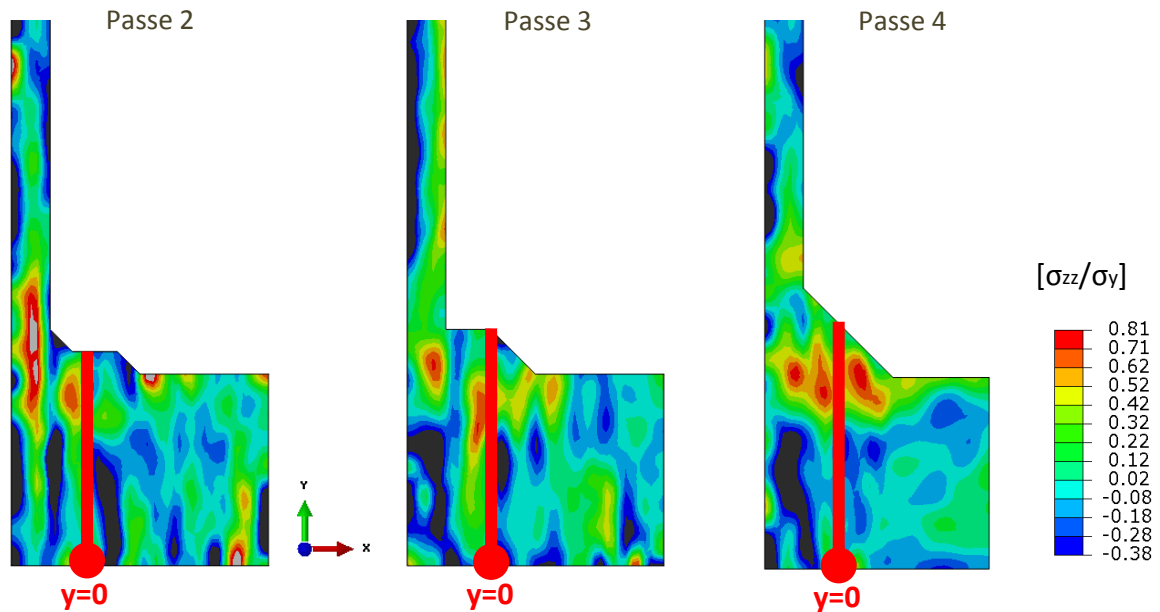


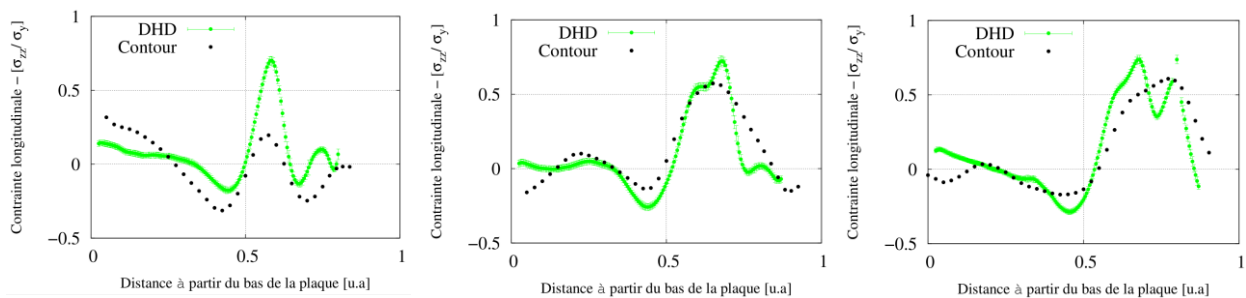
Figure 4 : Position du perçage du trou profond sur le joint soudé

3 Résultats – Discussion

Les résultats fournis par la méthode du contour permettent d'obtenir une cartographie 2D de la composante du champ de contrainte résiduelle normale au plan de découpe. Une meilleure qualité de la découpe en réduisant la vitesse d'avance et en utilisant un diamètre de fil inférieur à 240 μm permettrait d'améliorer la qualité des résultats [4]. Pour comparer les résultats obtenus par les deux méthodes, trois profils de contraintes correspondant à l'emplacement et au diamètre du trou profond ont été extraits à partir de chaque cartographie 2D (Figure 5).

Figure 5 : Résultats méthode du contour (isovaleur de σ_{zz} normée)

Les trois profils ont été moyennés puis tracés avec les résultats obtenus par la méthode du trou profond. Ces deux méthodes sont cohérentes bien que la méthode du contour ait tendance à sous-estimer les maximums des niveaux de contraintes résiduelles. De plus le lissage réalisé lors du post-traitement ne permet pas de visualiser les « pics de contraintes » caractéristiques de l'aspect multipasse du soudage comme cela est observé par la méthode du trou profond.

Figure 6 : Comparaison méthode du contour, DHD (évolution spatiale de σ_{zz} normée)

Ces résultats permettront d'apporter les données expérimentales nécessaires pour une validation de la simulation numérique (analyse thermo-métallurgique-mécanique) du soudage du joint d'angle en Té.

Références

- [1] PRIME, M. B. ; Cross-sectional mapping of residual stresses by measuring the surface contour after a cut, J of Eng. Mat & Techn, 123, pp. 162-168., 2001.
- [2] PAGLIARO, P. et al.; Measuring Inaccessible Residual Stresses Using Multiple Methods and Superposition, Experimental Mechanics, Volume 51, No. 7, pp. 1123-1134, 2011.
- [3] LEVIEIL, B. et al.; User Influence on Two Complementary Residual Stress Determination Methods: Contour Method and Incremental X-Ray Diffraction, Experimental Mechanics, Volume 56, No. 9, 2016.
- [4] DE WALD, A. T.; PRIME, M. B. ; "The contour method", in Practical residual stress measurement methods, West Sussex, John Wiley & Sons, pp. 109-138, 2013.