

Etude et prédiction des comportements mécaniques locaux induits par le soudage FSW d'alliages d'aluminium à durcissement structural des séries 2000, pour des applications aéronautiques.

Mots-clés : soudage FSW, alliages d'aluminium, caractérisation mécanique, caractérisation métallurgique, lois de comportement

Contexte

Le soudage par friction-malaxage (FSW) est un procédé d'assemblage à l'état solide en plein essor qui est principalement utilisé pour assembler les alliages d'aluminium. Un outil en rotation, enfoncé dans la matière à l'interface des deux plaques à assembler et se déplaçant le long de cette l'interface, crée un échauffement par friction et déformation plastique et un brassage de la matière pour former le joint soudé. Le soudage par FSW des aluminiums est maintenant bien maîtrisé pour les cas simples et il est ainsi possible de souder des alliages à durcissement structural des séries 2000 et 7000 pour applications aéronautiques, difficilement soudables par les techniques classiques de soudage par fusion. Cependant la maîtrise complète du procédé et des assemblages associés reste encore à améliorer. En particulier le choix des paramètres de soudage et des formes d'outils les plus adéquats ainsi que la prédiction des caractéristiques mécaniques et de la tenue en service des assemblages soudés restent une problématique industrielle de premier plan. La simulation numérique du procédé est une réponse à ces difficultés notamment en permettant des études paramétriques à moindre coût. Cependant, compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu, la simulation du soudage FSW des alliages d'aluminium à durcissement structural présente des difficultés inhérentes à toute modélisation qui se veut représentative des variations de température, des déformations et d'évolutions microstructurales toutes spatialement hétérogènes. En particulier, si la prédiction des champs thermiques et des duretés dans les assemblages apparait actuellement bien maîtrisée, ce n'est pas encore le cas pour celles de la ductilité, la résistance à la rupture ou la tenue en fatigue et fatigue-corrosion. Pour ce faire, des progrès sont encore attendues dans la compréhension et la prédiction des comportements mécaniques locaux en lien avec les évolutions de l'état de précipitation, notamment dans les zones d'adoucissement du cordon où se localisent les déformations. Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans cette démarche dans le cadre d'une collaboration avec l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne et un industriel de l'aéronautique.

Objectifs et programme de travail

La caractérisation du comportement mécanique local post-soudage FSW s'effectuera sur éprouvettes issues de joints soudés en alliage de la série 2000 par techniques de corrélation d'image numériques (DIC). Elle s'effectuera aussi sur éprouvettes cyclées thermiquement sur machine Gleeble avec des cycles thermiques imposés issus de simulations numériques tenant compte du chemin de la matière au voisinage de l'outil dans différentes zones du joint. L'état de précipitation sera caractérisé par différentes techniques expérimentales (microscopies optique et électroniques, diffraction d'électrons rétrodiffusés, diffusion aux rayons X aux petits angles, calorimétrie différentielle à balayage...) et son évolution sera modélisée. Une loi de comportement en lien avec l'état de précipitation sera proposée pour les différentes zones étudiées. Enfin, il s'agit d'intégrer dans la simulation numérique les cinétiques de transformation métallurgique et les lois de comportement mécanique pour prédire le comportement mécanique local dans le joint soudé et ses conséquences globales à l'échelle de la pièce.



Profil : titulaire d'un Bac+5 dans les domaines du génie mécanique et des matériaux au 1er septembre 2018. Goût et compétences pour l'expérimentation. Des connaissances en modélisation numérique par éléments finis et/ou en détermination de lois de comportement seront appréciées.

Début de la thèse : sept. - oct. 2018

Laboratoire de rattachement : IRDL (UMR CNRS 6027, irdl.fr)

Localisation géographique : La thèse se déroulera au sein du pôle thématique de recherche Assemblages multi-matériaux de l'IRDL sur les sites de l'Université Bretagne-Sud (UBS) à Lorient et l'Université de Bretagne Occidentale (UBO) à Brest

Financement : Contrat Doctoral Etablissement UBS / UBO

Pour tout renseignement, contacter :

Dr Denis CARRON, denis.carron@univ-ubs.fr, 02.97.87.45.54

Pr Philippe Le Masson, philippe.le-masson@univ-ubs.fr

Dr Georgios Stamoulis, georgios.stamoulis@univ-brest.fr

Study and prediction of the local mechanical behaviour induced by FSW welding of 2xxx series heat-treatable aluminium alloys for aeronautical applications.

Keywords: FSW, aluminium alloys, mechanical characterisation, metallurgical characterisation, constitutive laws

Context

Friction Stir Welding (FSW) is a solid-state joining process mainly used to assemble aluminium alloys. A rotating tool generates frictional heat and plastic deformation in the material at the interface of the two plates to be assembled, generating a welded joint. FSW of aluminium alloys is now well controlled for simple cases. Furthermore, 2xxx and 7xxx series heat-treatable alloys for aeronautical applications, that stay difficult to weld by conventional fusion welding techniques, can be satisfactorily joined by this process. However, the complete control of the process still needs to be improved. In particular, the choice of the most appropriate welding parameters and tool shapes as well as the prediction of the mechanical characteristics and of the in-service behaviour of welded joints, remain major industrial problems. Numerical simulation of the process is a response to these difficulties, mainly when performing parametric studies at low computational cost. However, given the complexity of the involved phenomena with spatially heterogeneous temperature variations, deformations and microstructural evolutions, modelling FSW of heat-treatable alloys presents substantial difficulties. In particular, even if thermal cycles and hardness in the assemblies currently appear to be well predicted, this is not yet the case for ductility, tensile strength and fatigue / corrosion fatigue resistance. In order to do so, progress is still expected in the understanding and prediction of local mechanical behavior in connection with changes in the precipitation state, mainly in the softened areas of the welding bead where the deformations are located. This constitutes the main framework of the subject of the proposed thesis, in collaboration with the Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint-Etienne and an aeronautical industrial group.

Objectives and main tasks

The characterisation of the local mechanical behaviour will be performed on welded 2xxx series aluminium alloy specimens by using Digital Image Correlation (DIC) techniques. It will also be carried out on thermally cycled specimens achieved with a Gleeble machine. The programmed thermal cycles will result from numerical simulations taking into account the material path in the vicinity of the tool in different areas of the joint. The precipitation state will be characterized by different experimental techniques (optical and electronic microscopies, electron backscattered diffraction, small angle X-ray scattering, differential scanning calorimetry...) and its evolution will be modeled. A constitutive law related to the state of precipitation will be proposed for the different studied areas. Finally, the metallurgical transformation kinetics and the mechanical constitutive law will be integrated in the numerical simulation to predict the local mechanical behaviour in the welded joint and its global consequences at the scale of the overall structure.



Profile: Holder of an MSc in mechanical engineering and materials science by September 1, 2018. Willingness, skills and abilities for experimentation. Knowledge in numerical modeling by finite element analysis and / or determination of behavior constitutive laws will be appreciated.

PhD start: sept. - oct. 2018

Research laboratory: IRDL (UMR CNRS 6027, irdl.fr)

Location: The PhD will take place within the IRDL research group « Multi-material assemblies » in Université de Bretagne-Sud (UBS) at Lorient and in Université de Bretagne-Occidentale (UBO) at Brest.

Funding: three-year doctoral contract funded by UBS / UBO

For any information, please contact:

Dr Denis CARRON, denis.carron@univ-ubs.fr, 02.97.87.45.54

Pr Philippe Le Masson, philippe.le-masson@univ-ubs.fr

Dr Georgios Stamoulis, georgios.stamoulis@univ-brest.fr