

Soudage homogène MIG de l'alliage d'aluminium 6061

MIG homogeneous welding of 6061 aluminium alloy

Alexandre Benoit^{1,2}, Pascal Paillard², Thierry Baudin¹ et Jean-Baptiste Mottin³

¹ ICMMO, Laboratoire de Physico Chimie de l'Etat Solide, UMR 8182, 91405 Orsay, France

² Institut des Matériaux Jean Rouxel, IMN – ID2M, UMR 6502, 44306 Nantes, France

³ SNECMA – Usine de Châtellerault – Z.I. Nord Rue Maryse Bastié, 86100 Châtellerault, France

Abstract. The homogeneous welding (same filler metal as base metal) of the 6061 aluminium alloy with MIG process has never been reported in the open access literature. This work shows that the CMT (Cold Metal Transfer) MIG, a derivative of MIG, allows producing welds without hot-cracking. Moreover, further heat treatments partially increased or fully restore the mechanical properties of the weld. These results are compared with 6061 heterogeneous welds usually met in the industry.

Résumé. Le soudage homogène (métal d'apport identique au métal de base) de l'alliage d'aluminium 6061 avec un procédé dit semi-automatique (MIG) n'a jamais été reporté jusqu'à maintenant dans la littérature. Nous montrons ici que l'utilisation d'un dérivé du procédé de soudage MIG, le MIG CMT (Cold Metal Transfer) permet d'obtenir des cordons de soudures sains (sans fissuration à chaud). De plus des traitements thermiques ont permis de retrouver partiellement ou de restaurer totalement les propriétés de la soudure. Nos résultats sont comparés à des essais de soudage MIG CMT avec le métal d'apport préconisé pour le soudage de l'alliage 6061.

INTRODUCTION

Comme le soudage homogène de l'alliage 6001 avec métal d'apport (TIG ou MIG) n'existe pas, nous avons été obligés de faire tréfiler du métal d'apport. En partant d'une billette de métal de base, la composition chimique du métal d'apport est très proche de la composition chimique des tôles ayant servi pour le soudage.

Le MIG CMT [1] est un dérivé relativement récent du MIG pulsé puisqu'il date de 2004 [2]. Il a été développé spécifiquement pour le soudage des alliages d'aluminium [3]. CMT est l'acronyme de « Cold Metal Transfer ». En effet, ce nom fait référence, selon le fabricant Fronius, à la température de fonctionnement qui est plus faible qu'avec d'autres procédés à l'arc. L'innovation du mode CMT est de superposer une pulsation mécanique du fil sur une pulsation électrique de façon synchronisée (Fig. 1).

Le cycle CMT commence par l'approche du fil vers le métal de base afin de créer un arc électrique. Ce dernier chauffe le fil via une pulsation de courant et crée ainsi une goutte de métal fondu à son extrémité. Le fil avance alors pour déposer la goutte de métal. Une fois le contact établi, il se crée un court-circuit et le système coupe le courant. Puis le fil se rétracte pour détacher la goutte et retourne à sa hauteur initiale pour recommencer un nouveau cycle.

Ce procédé de soudage étant dit froid et étant donné pour faire des bains de fusion petits, il nous a semblé intéressant de tester le procédé pour le soudage homogène de l'alliage 6061 qui est fortement sensible à la fissuration à chaud.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Afin de valider notre approche, des tôles de 6 mm d'épaisseur ont été assemblées. Au préalable, elles ont

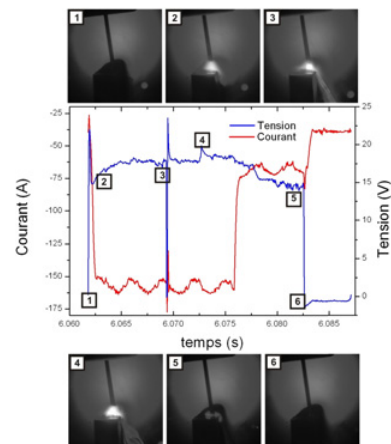


Figure 1. Illustration du mouvement du fil d'apport par rapport au signal électrique du générateur.

été usinées afin d'obtenir une préparation en X sans talon avec un jeu de 0,5 mm et des angles d'ouverture de 60° (1^{er} cordon) et 90° (2^{ème} cordon). La Figure 2 montre une macrographie d'une coupe transversale du cordon de soudure. Quelques porosités sont visibles, par contre aucune fissure n'a été détectée (ressuage et radiographie).

Des analyses EDX en microscopie électronique à balayage ont été réalisées dans les différentes zones du métal fondu. Contrairement à ce que l'on remarque lors du soudage MIG d'alliages d'aluminium contenant du magnésium, il n'y a pas eu de changement de composition chimique au sein de la zone fondue dû à la volatilisation de certains éléments d'alliages (Mg). Ainsi, les propriétés mécaniques de la zone sont susceptibles d'être restaurées par traitement thermique. De ce fait, des traitements thermiques en vue d'améliorer

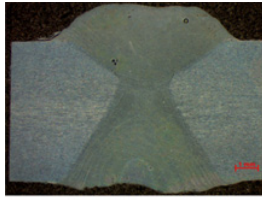


Figure 2. Macrographie de la soudure homogène. Le premier cordon est en dessous.

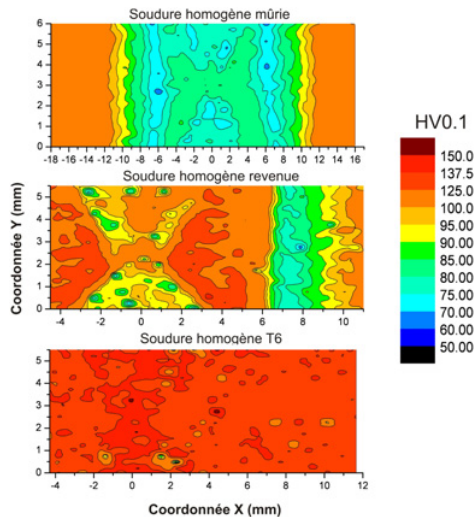


Figure 3. Cartographie de microdureté pour les soudures homogènes après différents traitements thermiques.

les performances mécaniques de nos soudures ont été réalisés :

- un murissement naturel à température ambiante durant au moins 15 jours,
- un revenu de précipitation classique pour l'alliage 6061 (8heures à 175 °C),
- un traitement complet de précipitation (T6) avec mise en solution (30 minutes à 530 °C suivi d'une hypertrempe puis d'un revenu de précipitation de 8 heures à 175°C.

Des cartographies de dureté Vickers ont été réalisées sur des coupes transverses des cordons de soudures homogènes (Fig. 3) et hétérogènes (Fig. 4) après les différents traitements thermiques post-soudage. A l'état mûri, aussi bien pour les soudures homogènes que pour les soudures hétérogènes, les pertes de propriétés mécaniques se situent dans la zone fondue (ZF) et la zone affectée thermiquement (ZAT) et sont de même ordre de grandeurs. Après le traitement thermique de revenu, il y a une restauration des propriétés mécaniques en ZAT et dans une moindre mesure en ZF pour les cordons homogènes ainsi que dans la ZAT des cordons hétérogènes.

Après le traitement thermique complet T6, les zones affectées par la température des deux cordons ont été restaurées. Par contre, en raison d'une chimie différente de la zone fondue pour les cordons hétérogènes, il n'y a pas de restauration des propriétés initiales alors que c'est le cas dans les cordons homogènes.

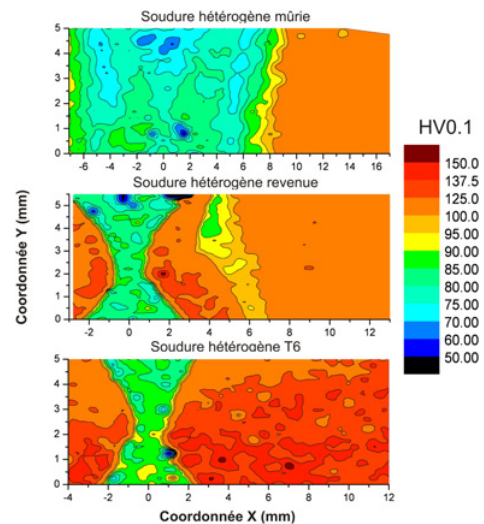


Figure 4. Cartographie de microdureté pour les soudures hétérogènes après différents traitements thermiques.

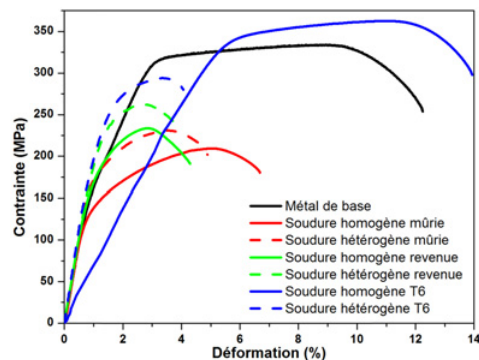


Figure 5. Essai de traction sur soudures homogènes et hétérogènes – Influence des traitements thermiques post-soudage – Comparaison avec le métal de base.

Des essais de traction transversale par rapport au cordon ont aussi été réalisés après arasement des cordons de soudure. Les résultats des essais de traction sont représentés sur la Fig. 5. Il faut noter que les traitements thermiques post-soudage permettent d'améliorer les propriétés mécaniques des assemblages homogènes comme hétérogènes. Pour les traitements de murissement et de revenu, les assemblages hétérogènes semblent plus performants que ceux homogènes. Par contre, pour le traitement complet (T6), les propriétés de l'assemblage homogène sont largement supérieures à l'assemblage hétérogène et même au métal de base. Ce dernier résultat est dû au fait qu'il est plus aisé et plus efficace de faire un traitement thermique de mise en solution, hypertrempe et revenu sur un coupon de quelques décimètres carrés que sur une tôle de plusieurs mètres carrés.

Un point qu'il faudrait améliorer est la taille de la ZAT en soudage homogène. En effet, les Figure 3 et Figure 4 montrent que le soudage homogène après traitement de murissement conduit à une taille de cordon (les 2 ZAT et la ZF) d'environ 23 mm alors que pur une même supposée énergie, le soudage hétérogène donne un cordon de 17 mm.

Cela provient que pour le soudage hétérogène nous avons essayé d'adapter une synergie existante. Une étude du process en caméra rapide et thermographie infra-rouge a montré que, dans le cas du soudage homogène, malgré la synergie imposée nous n'étions pas en CMT pur mais qu'il y avait des phases de pulsé parasite qui augmentait l'énergie apportée au cordon.

CONCLUSION

Nous avons réussi lors de cette étude à produire des cordons de soudure homogène sans défaut sur tôles de 6 mm d'épaisseur d'un alliage 6061 au moyen du procédé MIG CMT. Nous sommes en train d'améliorer nos résultats en mettant au point une synergie propre à

l'alliage afin d'éviter les trop forts échauffements ainsi que les projections que nous avons rencontrées.

Références

- [1] P. Kah, R. Suoranta, J. Martikainen, « Advanced gas metal arc welding processes », *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012,1–20.
- [2] T. Rosado, P. Almeida, I. Pires, 5e Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2008.
- [3] C. G. Pickin, K. Young, « Evaluation of cold metal transfer (CMT) for welding aluminium alloy », *Science and Technology of Welding and Joining*, 11, 2006, 583–585.