

# Précipitation durcissante dans un alliage d'aluminium soudé par faisceau d'électrons

L'alliage d'aluminium 7020 à durcissement structural est particulièrement bien adapté à la réalisation de pièces soudées du fait de sa composition sans cuivre. Le soudage de cet alliage par faisceau d'électrons (FE) sous-entend de bien connaître l'impact du procédé sur les propriétés mécaniques du matériau. Cet article présente quelques résultats obtenus lors d'études menées sur la caractérisation des nanostructures en relation avec les propriétés de la liaison soudée.

S. Ringeval • G. Texier CEA - Valduc  
 V. Vignal ICB, Université de Bourgogne-CNRS, Dijon  
 A. Deschamps SIMAP, INPG-CNRS-UJF, St Martin d'Hères

Les alliages de la série 7xxx contiennent du magnésium, du zinc et du cuivre. Après traitement thermique (TTh), il est possible d'obtenir un alliage avec de très bonnes propriétés mécaniques (résistance et ténacité). Dans cette série, la nuance 7020 ne contient pas de cuivre et, travaillée avec cette dernière, présente deux grands avantages :

- > après TTh, l'alliage possède de très bonnes propriétés mécaniques dues au durcissement structural important provoqué par la précipitation d'intermétalliques (à base de Mg et Zn) ;
- > cette nuance sans cuivre induit un très bon comportement au soudage (très peu de fissuration à chaud) [1]. Le soudage par FE est ici particulièrement intéressant : les joints obtenus ont une épaisseur importante tout en conservant de bonnes propriétés mécaniques.

Lors de ce soudage, les microstructures des zones fondue (ZF) et affectée thermiquement (ZAT) évoluent fortement. Ainsi, après assemblage, une évolution des précipités est observée, provoquant une modification du comportement mécanique. De plus, les températures atteintes lors du soudage sont telles qu'une partie du Zn et du Mg de la ZF s'évapore (jusqu'à 20 % pour le Zn). La ZF constitue donc une zone particulière dont la composition n'est plus nominale.

Les éventuels TTh post-soudages influencent aussi l'état de la précipitation. La microstructure évolue avec des cinétiques différentes suivant l'histoire thermique du matériau. Ainsi, les états de précipitation du métal de base, de la ZAT et de la ZF peuvent être très différents.

Des études ont donc été réalisées, certaines en collaboration (Université de Bourgogne, SIMAP), afin de mieux comprendre l'impact du soudage et de différents TTh post-soudages sur la microstructure de l'alliage 7020. L'objectif étant à terme de lier la microstructure obtenue aux propriétés mécaniques du matériau.

La compréhension des phénomènes passe par une caractérisation exhaustive des différentes microstructures (après soudage et au cours des TTh). Ceci est délicat car de nombreuses techniques expérimentales doivent être utilisées afin de pouvoir balayer les différentes échelles de la matière, du macroscopique au nanoscopique.

Nos travaux récents présentent les principaux résultats obtenus [2,3,4]. Ceux-ci concernent les variations en éléments chimiques (phénomènes de

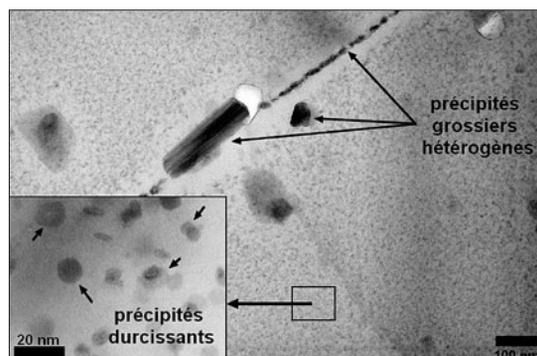


Figure 1. Images MET en champ clair de la zone fondue. Les précipités hétérogènes grossiers et les précipités durcissants très fins apparaissent en sombre.

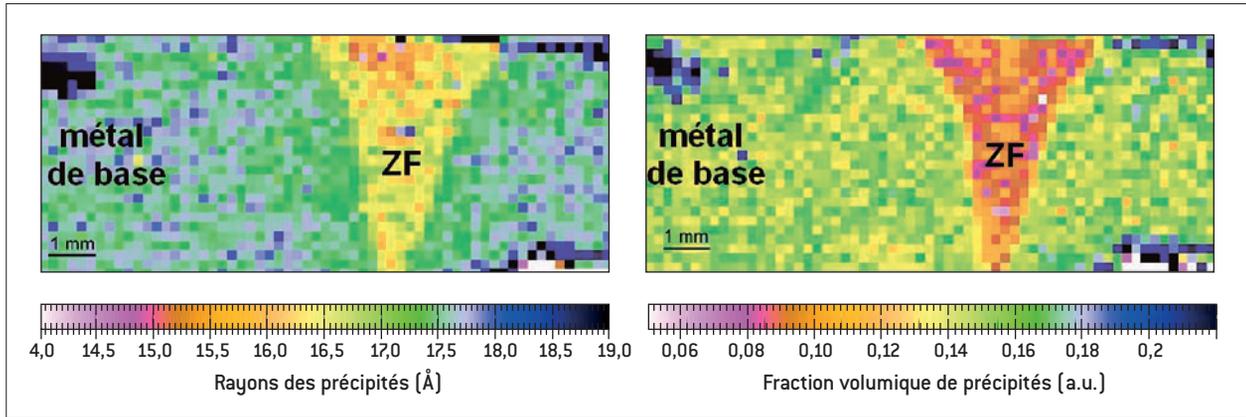


Figure 2. Cartographies SAXS obtenues à l'ESRF. La zone fondue apparaît en couleurs chaudes.

ségrégation liés au soudage), la morphologie et la taille des grains dans les différentes régions, la texture du joint soudé qui diffère de celle du matériau de base et la caractérisation des précipités, qu'ils soient grossiers hétérogènes ou « durcissants ».

L'accent a été mis sur l'étude de cette précipitation fine durcissante car elle conditionne en grande partie les propriétés de l'alliage. Ces précipités, très fins, de l'ordre de 20 nm, ne peuvent être observés directement qu'à l'aide de la microscopie électronique à transmission (MET) (figure 1).

Ces travaux ont montré que la cinétique de précipitation dépendait fortement de la composition chimique du matériau et de la teneur en solutés. Ainsi, après soudage par FE, l'évaporation du Zn et du Mg se traduit, après TTh post-soudage industriel classique (traitement T6), par des précipités durcissants plus fins et moins nombreux que dans le métal de base. Ces phénomènes ont été quantifiés par SAXS (Small Angle X-ray Scattering) à l'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) (figure 2). Le lien avec la mécanique a pu être réalisé par microdureté. Il a été mis en évidence que cet état de précipitation dégradé diminuait la dureté jusqu'à 25 %.

La caractérisation nanostructurale de la liaison est donc un enjeu primordial pour la qualité des soudures. Toutefois, les études par MET ou SAXS sont coûteuses en moyens et en temps. Une alternative à ces techniques est apportée par la calorimétrie différentielle à balayage (DSC) qui permet, compte tenu des connaissances acquises par ailleurs, un suivi de l'évolution des cinétiques de précipitation et de dissolution (figure 3), apportant ainsi de précieuses informations sur l'état de la nanostructure et donc sur les propriétés mécaniques associées de l'alliage par une approche macroscopique plus globale du matériau.

Nos récents travaux ont montré la nécessité de bien connaître l'alliage 7020 et l'impact des différents procédés (FE, TTh) sur les propriétés du

matériau. Une diminution de l'un des éléments d'alliage conduit à une modification importante de la nanostructure et donc à une baisse importante des propriétés mécaniques. Ces études ont aussi montré le fort impact de la vitesse de trempe et des différents TTh sur les cinétiques de précipitation.

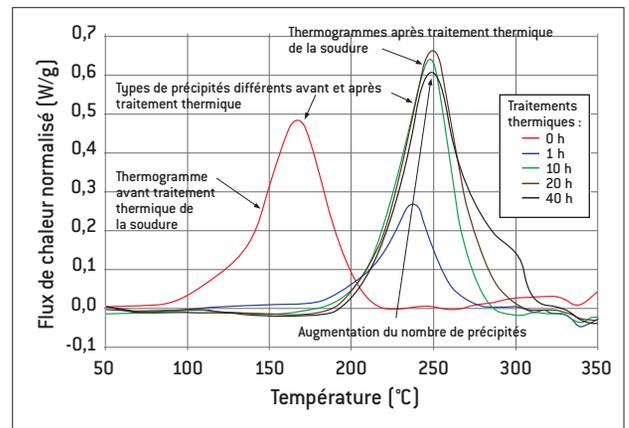


Figure 3. Thermogrammes DSC obtenus dans la ZAT d'une liaison soudée autogène en AZ5G. Évolution des états de précipitation au cours du traitement thermique post-soudage.

RÉFÉRENCES

[1] G.P. DOLAN, J.S. ROBINSON, "Residual stress reduction in 7175-T73, 6061-T6 and 2017A-T4 aluminium alloys using quench factor analysis", *J. Mater. Process Technol.*, **153-154**, p. 346-351 [2004].

[2] A. DESCHAMPS, G. TEXIER, S. RINGEVAL, L. DELFAUT-DURUT, "Influence of cooling rate on the precipitation microstructure in a medium strength Al-Zn-Mg alloy", *Mater. Sci. and Eng.*, **A501**, p. 133-139 [2009].

[3] A. DESCHAMPS, S. RINGEVAL, G. TEXIER, L. DELFAUT-DURUT, "Quantitative characterization of the microstructure of an electron-beam welded medium strength Al-Zn-Mg alloy", *Mater. Sci. and Eng.*, **A517**, p. 361-368 [2009].

[4] A. STAIGER, C. JOSSE, V. VIGNAL, S. RINGEVAL, "Analyse MEB-EDS d'une liaison soudée en alliage d'aluminium 7020-T652", rapport interne Université de Bourgogne [2009].