

Etude thermocinétique de la précipitation de phases Mg_xSi_y dans les alliages d'aluminium 6061 : procédés d'élaboration / microstructure / propriétés mécaniques

Contact : J. Garnier, jerome.garnier@cea.fr, CEA Saclay, DEN/DMN/SRMA/LC2M
C. Toffolon, caroline.toffolon@cea.fr, CEA Saclay, DEN/DMN/SRMA/LA2M
S. Vincent, sebastien.vincent@cea.fr, CEA Saclay, DEN/DMN/SRMA/LC2M

Mots clés : Alliage d'aluminium, 6061-T6, Mg_2Si , comportement mécanique, lien microstructure / propriétés, précipitation, calculs thermocinétiques, Thermo-Calc[®], MatCalc[®], traitements thermiques, calorimétrie, dilatométrie, PTE, MEB, MET, DRX.

Contexte de l'étude :

Le développement de nouvelles filières nucléaires et l'amélioration des filières existantes nécessite la qualification de nouveaux matériaux. Le comportement sous irradiation de ces nouveaux matériaux peut être étudié grâce à l'utilisation de réacteurs expérimentaux dédiés. Le réacteur expérimental Osiris, actuellement en service au CEA, devrait être exploité jusqu'au milieu de cette décennie. Afin de prendre le relais d'Osiris, le CEA construit actuellement le Réacteur expérimental Jules Horowitz (RJH).

De conception plus innovante qu'Osiris, le RJH permettra d'atteindre des flux neutroniques plus élevés. Pour répondre à de tels besoins, le réacteur comportera un caisson cœur. L'alliage d'aluminium 6061-T6 a été retenu pour la conception de ce composant central (dans lequel a lieu la réaction nucléaire) en raison :

- de sa transparence aux neutrons,
- de sa très bonne conductivité thermique,
- de sa plus grande stabilité de propriétés sous irradiation que les alliages de la série 5 (AG3 Net par exemple) ou même les alliages de Zr.

Cette étude débutée en 2010 vise à suivre et modéliser les évolutions microstructurales à chaque étape de la gamme d'élaboration afin de comprendre l'impact de chacune sur la microstructure et le comportement mécanique. Cette étude porte sur deux alliages d'aluminium modèles élaborés à l'échelle semi-industrielle.

La gamme d'élaboration se divise en plusieurs étapes : la coulée, le traitement thermique d'homogénéisation, la mise en forme par forgeage, le traitement thermique de mise en solution, la trempe, le détensionnement et le traitement thermique de revenu. Le travail postdoctoral de Sébastien Vincent a permis d'étudier les évolutions microstructurales jusqu'à l'étape de forgeage [1]. L'étude de la mise en solution, de la trempe, du détensionnement et du revenu restent à mener.

Description du travail postdoctoral :

Le durcissement structural des alliages d'aluminium de la série 6xxx est assuré par des précipités Mg_xSi_y de type GP, β'' , β' , β . Les deux coulées étudiées présentent des teneurs différentes en Mg et Si. Pour ces deux alliages modèles, l'étude portera sur la caractérisation et la modélisation de la précipitation des phases Mg_xSi_y au cours des différentes étapes thermo-mécaniques. Des simulations thermodynamiques effectuées avec le logiciel Thermo-Calc[®] et des simulations thermocinétiques effectuées avec le logiciel MatCalc[®] permettront d'étudier l'influence de la variation de la composition nominale des alliages d'aluminium sur les domaines d'existence en température des phases secondaires précipitées (fractions volumiques, rayons moyens) afin de cibler les caractérisations expérimentales à réaliser. Le couplage entre les analyses calorimétriques, dilatométriques et la mesure de pouvoir thermoélectrique, avec des analyses microstructurales en MEB, MET et DRX permettront de caractériser les différentes cinétiques de précipitation. Des expériences en température *in-situ* de MET et de diffraction de neutrons pourront également être menées afin de suivre l'évolution des phases en temps réel. L'ensemble de ces données permettra d'alimenter des calculs thermocinétiques de précipitation.

Le candidat postulant sur ce travail postdoctoral participera à l'encadrement d'un stage de master 2 sur une étude annexe spécifique à la recristallisation de l'alliage d'aluminium 6061. Cette dernière consistera à caractériser et modéliser l'influence des dispersoïdes au Cr et Mn dans les alliages d'aluminium 6061. Ces

dispersoïdes sont des précipités de quelques centaines de nanomètres qui freinent la recristallisation par épinglage des joints de grain par effet Zener. Pour ce stage, des coulées modèles avec des teneurs différentes en Cr et Mn seront élaborées à petite échelle. L'étude de ces coulées modèles permettra d'optimiser la taille et la densité des dispersoïdes au Cr/Mn en vue de limiter les risques de recristallisation.

Une fois la gamme d'élaboration optimisée, des caractérisations mécaniques seront effectuées sur les matériaux modèles, en lien avec une thèse en cours portant sur l'étude du comportement et de l'endommagement du matériau industriel. L'étude du comportement mécanique de ces alliages modèles permettra d'affiner la compréhension du comportement mécanique des alliages d'aluminium.

[1] S. Vincent et *al.*, « Evolutions microstructurales de deux alliages d'aluminium 6061 lors des étapes d'élaboration », 20^{ème} Congrès Français de Mécanique, Besançon, France, 29 août au 2 septembre 2011.

Profil recherché :

Docteur en métallurgie, science des matériaux, ou mécanique.

Informations pratiques :

Début du stage postdoctoral : Mars 2012 (prévoir 2 mois d'enquête environ avant le début du contrat)

Durée du stage postdoctoral : 1 an reconductible 1 ans