

ETUDE DILATOMÉTRIQUE ET CALORIMÉTRIQUE DES ALLIAGES AL-5.8%MG-2.7%ZN ET AL-6.2%ZN-2.5%MG-1.7%CU

Reçu le 04/03/2009 – Accepté le 1/03/2010

Résumé

Cet article présente une étude sur la détermination du coefficient linéaire de dilatation thermique et de la capacité calorifique, dans l'intervalle de température [25-400°C] de deux alliages d'aluminium, Al-Zn-Mg et Al-Zn-Mg-Cu dans trois différents états structuraux. Les principaux résultats obtenus dans ce travail montrent que la cinétique des phénomènes liés à la précipitation de la phase η' , dans les deux alliages, est accélérée dans le cas des échantillons ayant subi un traitement thermique d'homogénéisation (H) et d'homogénéisation + déformation (H+D), et que le domaine de température correspondant à cette transformation de phase est décalé vers des températures plus basses que celles enregistrées dans le cas des échantillons restés à l'état brut (B). Cette étude montre aussi que le cuivre stabilise les zones de Guignier et Preston (G.P) à des températures plus hautes.

Mots clés: Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, coefficient de dilatation thermique, capacité calorifique.

Abstract

This paper presents a study on the determination of the coefficient of linear thermal expansion and heat capacity in the temperature range [25-400°C] of two aluminum alloys, Al-Zn-Mg and Al-Zn-Mg-Cu in three different structural states. The main results obtained in this work show that the kinetics of phenomena related to phase precipitation η' , in both alloys is accelerated in specimens which have undergone heat treatment homogenization (H) and homogenization + strain (H + D), and the temperature field corresponding to this phase transformation is shifted to lower temperatures than those recorded in the case of the samples remained in the raw state (B). This study also shows that copper stabilizes Guignier and Preston zones (GP) at higher temperatures.

Keywords: Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, coefficient of thermal expansion, heat capacity.

M. Benabdoun¹
N. Zergane²

¹Laboratoire des propriétés thermodynamiques et des traitements de surface.

Université Mentouri-Constantine, Algérie.

²Département de Physique, Université Mohamed Khider Biskra B. P. 145, Biskra, Algérie

ملخص

تعرض هذه الورقة دراسة عن تحديد معامل التمدد الحراري والسعة الحرارية في نطاق درجات الحرارة [25-400°C] من اثنين سبائك الألمنيوم Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu في ثلاثة هيكلية مختلفة. النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها في هذا المعرض هو حركية الظواهر المرتبطة بترسب الأطوار η' للسببكتين تزداد، في كل من سبائك في العينات المتجانسة (H) و المتجانسة + المشوهة (H+D) حيث ينزاح مجال درجة الحرارة الموافق لهذا الطور نحو درجات الحرارة منخفضة بالمقارنة مع المسجلة في الحالة الخاملة (B) كذلك يؤدي النحاس إلى تثبيت مناطق Guignier - Preston في درجة الحرارة العالية.

الكلمات المفتاحية: Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu ، معامل التمدد الحراري ، السعة الحرارية

INTRODUCTION

Les alliages d'aluminium continuent à être le centre d'intérêts de plusieurs travaux de recherche dans le domaine des sciences des matériaux. Leur grande utilisation dans l'industrie automobile et aéronautique dépend largement de leurs caractéristiques thermiques et mécaniques [1]. La grande diversité des phases présentes dans les alliages Al-Zn-Mg et Al-Zn-Mg-Cu rend ce système très complexe à étudier ; elles sont susceptibles d'améliorer les propriétés physiques par durcissement structural ou au contraire de les altérer considérablement. De nouveaux modes de traitements thermiques, thermomécaniques et thermochimiques des alliages d'aluminium doivent être conçus pour répondre aux exigences de l'industrie moderne. En utilisant différents types de traitements thermiques et thermomécaniques, on peut obtenir un large spectre de propriétés mécaniques pour différentes applications. L'une des grandeurs physiques pouvant nous renseigner sur le comportement des alliages étudiés, est le coefficient de dilation thermique, puisqu'il est sensible à l'introduction des impuretés dans la matrice ; de même il est très sensible aux différentes transformations de phases présentes et aux variations des forces de liaisons interatomiques. Dans ce travail, on se propose d'étudier le comportement dilatométrique et calorimétrique de deux alliages d'aluminium Al-Zn-Mg et Al-Zn-Mg-Cu, de suivre l'impact d'une déformation plastique sur les processus de précipitation/dissolution des phases, et d'essayer de comprendre le rôle du cuivre dans ces différentes transformations de phases.

Procédures expérimentales:

Les deux alliages d'aluminium, utilisés dans cette étude, ont été obtenus par la méthode conventionnelle de coulée en lingot.

Leur composition chimique est la suivante:

Al-Zn-Mg

Éléments	Al	Zn	Mg	Cu	Zr	Fe
Pourcentage (%) en poids	91.45	5.8	2.7	0.01	0.01	0.01

Al-Zn-Mg-Cu

Éléments	Al	Zn	Mg	Cu	Zr	Fe
Pourcentage (%) en poids	89.28	6.2	2.5	1.7	0.14	0.01

Il a été procédé à l'élaboration de trois gammes d'échantillons pour chaque alliage utilisé:

- La première est restée à l'état brut (B)
- La deuxième a subi un traitement thermique

d'homogénéisation pendant 18 heures à une température de 465°C puis une trempe à l'eau à la température ambiante (H)

-La troisième, en plus du traitement thermique d'homogénéisation suivi d'une trempe dans l'eau, a été laminée à froid ($\epsilon=20\%$) (H+D) suivant la direction longitudinale (Figure 1).

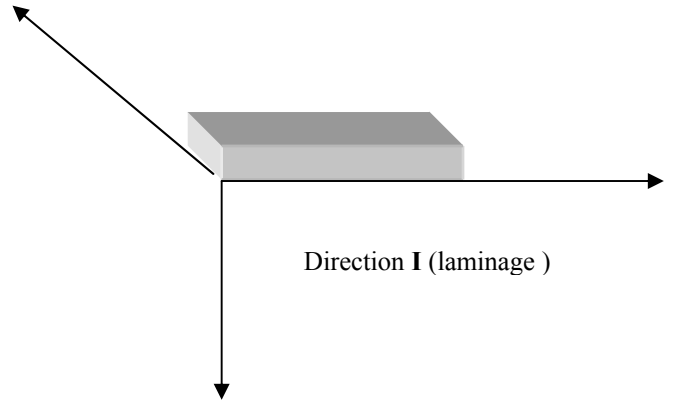
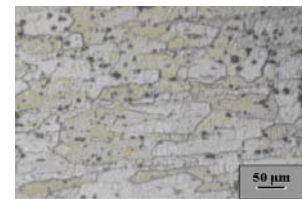


Figure 1: Direction de laminage

Il est, par ailleurs, important de noter que l'opération de laminage a été effectuée avant le découpage des échantillons. Ces états structuraux sont représentés sur la figure 2.



Al-5.8%Zn-2.7%Mg



Al-6.2%Zn-2.5%Mg-1.7%Cu

Figure 2: Microstructures des alliages dans l'état homogénéisé + déformé (H+D)

La longueur des échantillons était de 20 mm, ce qui a permis de mesurer $\alpha(T)$ avec une précision de $\pm 10^{-7}K^{-1}$. L'appareil de mesure est un dilatomètre différentiel du type D124 Adamel Lhomargy. Ces mesures ont été faites sous vide primaire avec une vitesse de chauffage égale à 2°C/mn. Cependant les mesures calorimétriques ont été effectuées avec un appareil Setaram DSC92 et une vitesse de chauffage de 2°C/mn.

Résultats :

La séquence de précipitation dans les alliages Al-Zn-Mg-(Cu) dépend fortement de l'historique du matériau, des conditions de trempe et des différents traitements thermomécaniques. Il est généralement admis [2] que :

Solution solide sursaturée \rightarrow Zones G.P. $\rightarrow \eta' \rightarrow \eta$ (MgZn₂)

Les zones G.P. des alliages Al-Zn-Mg se présentent sous la forme de petits amas sphériques de soluté. Elles s'ordonnent très rapidement pour constituer des plans alternativement riches en zinc et en magnésium, parallèles aux plans (100) de la matrice d'aluminium [3]. La précipitation de la phase métastable η' joue un rôle essentiel dans le mécanisme du durcissement structural car sa taille et sa distribution contrôlent les caractéristiques mécaniques [4].

La phase thermodynamiquement stable η , $MgZn_2$, est semi cohérente avec la matrice lorsqu'elle est de petite taille [5]. Malgré le nombre important de travaux consacré à cette famille d'alliage d'aluminium, nous avons remarqué une insuffisance de ces derniers caractérisant l'influence des traitements thermiques sur le coefficient de dilatation thermique. Les figures 3 et 4 représentent l'influence des différents traitements thermomécaniques sur l'évolution des deux grandeurs thermodynamiques $\alpha(T)$ et dQ/dt dans l'intervalle de température [25-400°C].

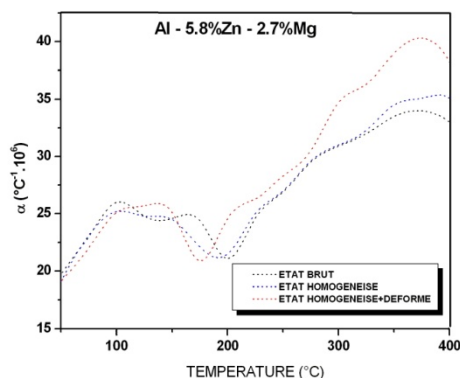


Figure3 : Influence des traitements thermomécaniques sur le coefficient de dilatation thermique $\alpha(T)$

Les changements notables, trois expansions et une contraction, observés dans l'allure de $\alpha(T)$ témoignent de l'existence de quatre transformations de phase (précipitation ou dissolution) qui se sont produites lors du chauffage des échantillons. Les trois expansions semblent ne pas être affectées par le type de traitement thermomécanique subi par le matériau. Par contre, on constate un certain effet du traitement d'homogénéisation (H) et du traitement d'homogénéisation + déformation (H+D) sur la seule contraction du matériau observée dans l'intervalle de température ci-dessous. Ce phénomène a été déjà observé par Benabdoun et Al [6] sur un alliage de la même famille.

État du matériau	Domaine de température °C
Brut (B)	175-225
Homogénéisé (H)	160-225
Homogénéisé+Déformé (H+D)	160-200

C'est dans ce même intervalle de température qu'a été observé un front de recristallisation pour l'alliage Al-Zn-Mg dans les conditions (H+D)(figure5).

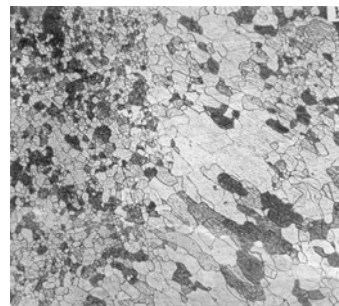


Figure 5 : Front de recristallisation observée à 180°C

L'examen des thermogrammes de la D.S.C. (figure 4) confirme l'existence d'au moins trois de ces quatre transformations survenues lors du revenu avec l'apparition de trois différents pics, tout en donnant des renseignements complémentaires sur leur intensité et sur leur nature.

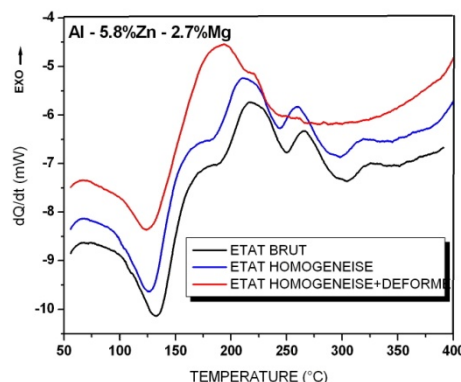


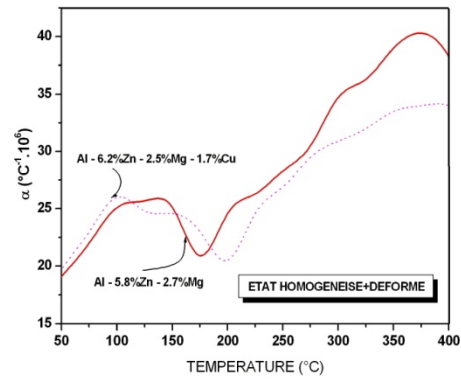
Figure4 : Influence des traitements thermomécaniques sur le coefficient dQ/dt

On peut penser, en première approche, qu'il existe une réelle similitude des résultats trouvés par les deux techniques expérimentales. Le décalage d'une vingtaine de degrés est certainement dû au mauvais calibrage de la D.S.C. Indépendamment du traitement reçu par les échantillons avant leur revenu, on observe dans les trois cas :

-Le premier pic endothermique, correspondant à la première expansion dans les courbes dilatométriques, peut être attribué à la dissolution des zones G.P.[7]. Le deuxième pic, exothermique, correspond à la seule contraction enregistrée ; il est du probablement à l'apparition de la phase métastable η' [8].

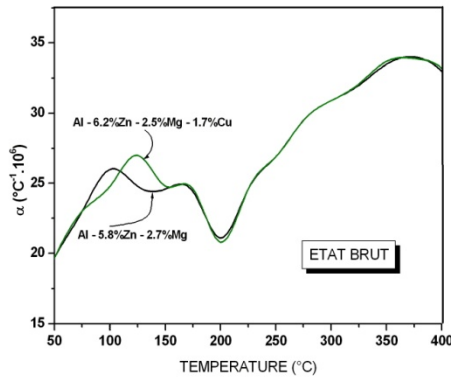
Le troisième pic exothermique, enregistré sur la courbe de la D.S.C. correspond parfaitement à la deuxième expansion observée en dilatométrie ; ceci est certainement lié à la formation de la phase stable η ($MgZn_2$)[9]. On peut conclure que les résultats expérimentaux de la D.S.C.confirment que les traitements thermomécaniques

n'ont pas d'effets notables sur la dissolution des zones G.P. et sur la précipitation de la phase d'équilibre MgZn₂. Les figures 5 et 6 montrent respectivement l'influence des traitements thermomécaniques sur le coefficient de dilatation thermique $\alpha(T)$ et sur les courbes de la D.S.C. dans le cas des deux alliages utilisés. On y voit pour les deux alliages que le traitement thermique d'homogénéisation et surtout de ce dernier traitement associé à la déformation plastique se font ressentir par un décalage vers des températures plus basses pour la précipitation de la phase métastable η' . Ceci est dû principalement aux défauts introduits par l'opération de laminage. L'un des résultats les plus importants dans ce travail est que l'addition du cuivre dans les alliages Al-Zn-Mg semble jouer un rôle de retardateur dans le processus de dissolution des zones de Guignier et Preston. En effet, On peut voir d'après les figures 5a et 6a, dans le cas des échantillons à l'état brut(B), que la dissolution des zones G.P. se produit à des températures supérieures pour l'alliage contenant du cuivre par rapport à l'alliage Al-Zn-Mg. Ce rôle de stabilisateur a été déjà mis en évidence, dans d'autres alliages et par d'autres techniques d'investigation, par Livak et Al. [10].

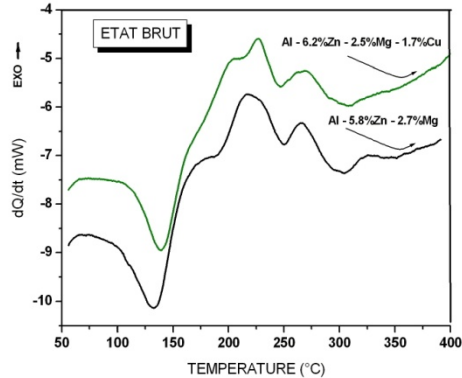


(c)

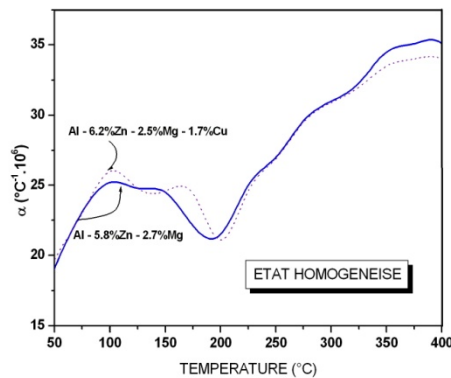
Figure5 : Influence des traitements thermomécaniques sur le coefficient de dilatation thermique $\alpha(T)$
 - (a) Echantillons à l'état brut (B)
 - (b) Echantillon à l'état homogénéisé (H)
 - (c) Echantillons à l'état homogénéisé+Déformé (H+D)



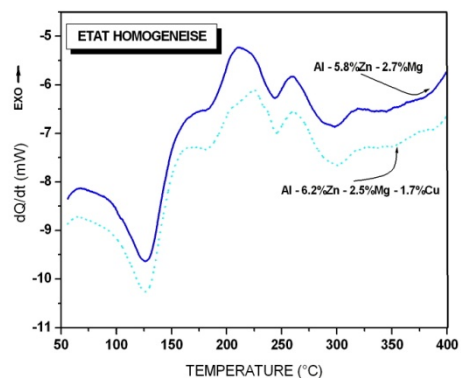
(a)



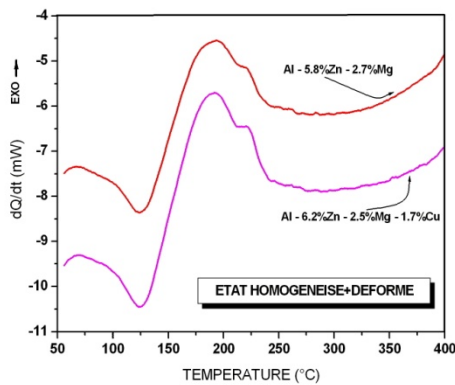
(a)



(b)



(b)



(c)

Figure6 : Influence des traitements thermomécaniques sur les courbes de la D.S.C.

- (a) Échantillons à l'état brut (**B**)
- (b) Échantillon à l'état homogénéisé (**H**)
- (c) Échantillons à l'état homogénéisé+Déformé (**H+D**)

CONCLUSION

Dans ce travail, on a pu vérifier que les deux principales techniques d'analyse thermique, la dilatométrie et la calorimétrie, peuvent être utilisées comme des méthodes d'investigation complémentaires dans le domaine des transformations de phases. Notre étude a pu mettre en évidence : la grande similitude des deux grandeurs thermodynamiques, le coefficient de dilation thermique $\alpha(T)$ et la capacité calorifique des deux alliages utilisés. La cinétique des phénomènes liés à la précipitation de la phase η' (dans le cas des deux alliages) est accélérée pour les échantillons homogénéisés et homogénéisés et déformés ; le domaine de température correspondant à cette transformation de phase est décalé vers des températures plus basses que celles enregistrées dans le cas des échantillons à l'état brut. On a pu aussi remarquer que l'addition du cuivre aux alliages Al-Zn-Mg permet de stabiliser les zones de Guignier et Preston à des températures plus hautes.

RÉFÉRENCES

1. N. Nicholas et A. Deschamps, Acta. Mater. 51(18)(2003)5335-5348
2. J. Lendvai, Mat. Sci. Forum 217-222(1996)43-56
3. A. K. Mukhopadhyay, Q. B. Yang et S. R. Singh, Acta Met. Mat. 42(9)(1994)3083-3091
4. N. Ryum, Zeit. Met. 66(6)(1975)339-343
5. P. Donnadiou, M. Roux-Michollet et V. Chastagnier, Phil. Mag. A. 79(6)(1999)1347-1366
6. M. Benabdoun, T. Dorbani et T. Hamamda, Ann. Chim. Sci. Mat., 2007, 32(1), pp. 1-9
7. P. Gomiero, A. Reeves, A. Pierre, F. Bley, F. Livet et H. Vichery, Proc. 4th International conference on aluminium alloys, Atlanta, p. 644-651, (1994)
8. L. SZ. Mondolfo, N. A. Gjostein, D. W. Lewinson, Trans. AIME, 206, p. 1378-1385, (1956)
9. J. Ardo et J. R. Simensen, Metallurgical Transactions, 4, p. 2413-2421, (1973)
10. R. J. Livak et J. M. Papazian, Scripta Metall. 18, p. 483, (1984)