

## INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR SUR LE COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE DE LA TOLE ALMgSi

S. SAADALLAH\*, K. BOULEMZAOU, A. CHAHANE, A. BOUBERTAKH ET S. HAMAMDA

Laboratoire Thermodynamique et Traitements de Surface des Matériaux, département de Physique, Université frères Mentouri, Constantine, Algérie.  
e-mail: \*sorormet@yahoo.fr

Reçu le 19/01/2014 – Accepté le 29/06/2014

### Résumé

L'objectif de cet article est l'étude de l'influence de l'épaisseur sur le coefficient de dilatation thermique de la tôle ALMgSi. Les résultats obtenus dépendent fortement de l'épaisseur. Les courbes dilatométriques varient d'une direction à une autre. Il y a présence d'une anisotropie dont l'intensité dépend de l'épaisseur et de la direction de mesure. L'échantillon prélevé selon la direction Y et dont l'épaisseur est de 1.15mm présente une dilatation faible devant les autres. Ce comportement le rend intéressant dans le domaine industriel.

**Mots clés :** ALMgSi, Epaisseur, Dilatation, Anisotropie, Laminage.

### Abstract

The purpose of this paper is the study of the effect of the thickness on the thermal expansion coefficient of the ALMgSi sheet. The results obtained are highly dependent on the thickness. The dilatometric curves vary from one direction to another. There is the presence of an anisotropy whose intensity depends on the thickness and the measurement direction. The measurements of the thermal expansion coefficient, of the sample whose thickness 1.15mm, taken along the Y direction is lower than those of the others. This behavior makes it interesting in the industrial field.

**Keywords:** ALMgSi, thickness, dilation, Anisotropy, Lamination

### ملخص

الهدف من هذا المقال هو دراسة تأثير سمك الصفيحة على معامل تمدد ها الحراري. النتائج التي تم الحصول عليها تعتمد اعتمادا كبيرا على السمك. إن منحنيات معامل التمدد الحراري تختلف من اتجاه إلى آخر. هناك وجود للتباين في المناحي والذي شدته تعتمد على السمك والاتجاه الذي أجري القياس وفقه. إن قياس معامل التمدد الحراري للعينة ذات السمك 1.15 ميليمتر، وفق الاتجاه Y يبين بأنه صغير أمام معاملات التمدد الحراري وفق الاتجاهين الآخرين. هذا السلوك يجعله هام في التطبيقات في المجال الصناعي.

**الكلمات المفتاحية:** ALMgSi، سمك، تمدد، تباين الخواص، التصفيح

## I. INTRODUCTION

L'aluminium ainsi que ses alliages font de plus en plus partie de notre vie quotidienne. Ils jouent un rôle important dans l'industrie et occupent la deuxième place dans la construction de différentes pièces [1, 2].

Dans les années 80, les techniques de refroidissement rapide ont permis d'obtenir des alliages d'aluminium de structure fine ayant des propriétés mécaniques intéressantes devant celles des alliages d'aluminium élaborés par les méthodes classiques[3].

L'utilisation des méthodes d'élaboration telles que la DCC Direct Chill Casting et le Melt spinning (single, Twin) ont permis d'élaborer des alliages d'aluminium avec des propriétés thermodynamiques intéressantes. Leur coefficient de dilatation thermique  $\alpha(T)$  a diminué devant celui des alliages d'aluminium conventionnels [4,5]. Les coefficients de dilatation thermique d'échantillons prélevés de lingot (obtenu par DCC) suivant les directions parallèle et perpendiculaire à la direction de laminage dans le plan de laminage et perpendiculaire au plan de

laminage ont tous les trois diminué devant celui de l'aluminium pur et ceux des alliages classiques. Les mêmes études et procédures ont été appliquées pour les alliages d'aluminium sous forme de tôles et de rubans. Les résultats dilatométriques ont confirmé la diminution de la dilatation que se soit de la tôle ou du ruban devant celle des alliages d'aluminium obtenus par coulée. Quelque soit la technique de refroidissement utilisée,  $\alpha(T)$  est devenu une grandeur anisotrope. Il est inférieur à celui de l'aluminium pur et des alliages d'aluminium classiques qui ont un coefficient de dilatation thermique isotrope.

Actuellement, les alliages Al-Mg-Si (série 6xxx) ont un champ d'applications industrielles très dense. Ils sont utilisés essentiellement dans l'industrie aéronautique, automobile et navale. Ils se prêtent facilement aux traitements thermiques [6].

La séquence de précipitation communément acceptée pour les alliages Al-Mg-Si [7,8] est la suivante:

**(SSS) → Amas de solutés et /ou zones GP →  $\beta''$  (en aiguilles) →  $\beta'$  (précipité intermédiaire en bâtonnets) →  $\beta$  (Mg<sub>2</sub>Si) (sous forme de plaquettes).**

Le but de notre travail est l'étude du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température de

trois tôles de même composition mais ayant chacune une épaisseur.

## II. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Nous avons utilisé un alliage à base d'aluminium Al-1.08Masse Mg-0.52Masse Si où la précipitation est

toujours continue. La composition est donnée dans le tableau 1:

	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	V	Zn	zr
<b>Tôle 2</b>	<b>97.417</b>	<b>0.21</b>	<b>0.30</b>	<b>0.30</b>	<b>1.08</b>	<b>0.12</b>	<b>&lt;0.011</b>	<b>0.52</b>	<b>0.024</b>	<b>0.006</b>	<b>0.011</b>	<b>0.001</b>

Tableau 1: composition de l'alliage étudié

L'alliage AlMgSi obtenu par refroidissement rapide utilisé pour la réalisation de cette étude a été déformé à froid par compression pour obtenir au final trois tôles dont chacune à une épaisseur égale à 1.00mm puis 1.15mm et le troisième à 1.35mm. Les traitements isothermes ont été réalisés à l'état brut. Puis à partir de chaque tôle, nous avons prélevé trois échantillons selon les directions X, Y et Z.

X correspond à la direction parallèle à la direction de laminage.

Y correspond à la direction perpendiculaire à la direction de laminage.

Z correspond à la direction perpendiculaire au plan de laminage.

Quant à nos essais dilatométriques, le cycle thermique imposé à nos échantillons consiste en un chauffage dans l'intervalle de températures 25°C - 550°C avec une vitesse de 10°C/min et suivi d'un refroidissement à la même vitesse. Nous avons effectué des mesures de  $\alpha(T)$  selon les trois directions X, Y et Z. les échantillons selon X et Y ont chacun une longueur de 20mm. Selon la direction Z, l'épaisseur varie d'un échantillon à un autre. Elle passe de 1mm, 1.15mm puis 1.35mm.

Le dilatomètre utilisé est du type DIL 402C NETZSCH. La précision de mesure de  $\alpha(T)$  est de l'ordre de  $10^{-7}^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

### III. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS

Les courbes de la figure 1 représentent les coefficients de dilatation thermique en fonction de la température suivant les trois directions X, Y et Z de la tôle ayant 1mm d'épaisseur.

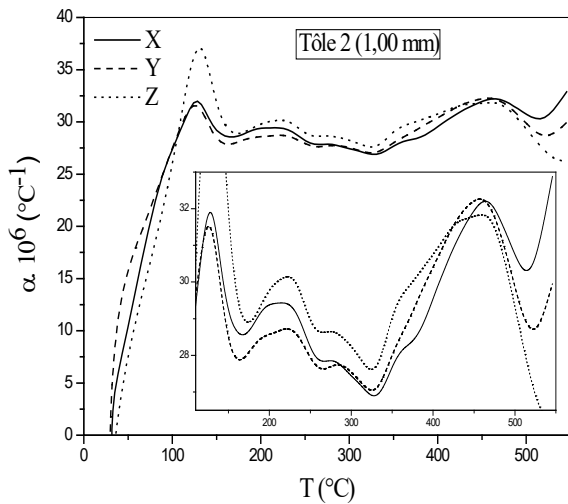


Figure 1: Variation du coefficient dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y, Z de la tôle d'épaisseur 1mm.

Toutes les courbes comportent plusieurs anomalies dilatométriques. Apparemment leurs nombres est le même d'une direction à une autre. Par contre, les intensités des pics varient selon les directions. Nous remarquons que les pics caractéristiques des zones GP sont différents d'une direction à une autre. Selon la direction Z, il est nettement supérieur aux deux autres et légèrement décalé en température. Il est situé à 130°C.

Les autres anomalies apparaissent presque aux mêmes températures et elles sont plus étalées. Les valeurs du coefficient de dilatation thermique changent d'une orientation à une autre. Donc,  $\alpha(T)$  dépend de la direction de la mesure. Cela implique l'existence d'une anisotropie, alors qu'habituellement, les alliages d'aluminium classiques sont isotropes. Les résultats montrent que le mode d'élaboration joue un rôle non négligeable dans le comportement du matériau.

Nous constatons qu'aux hautes températures, les valeurs des différents coefficients s'éloignent l'un de l'autre. Ce comportement peut signifier qu'il y a une précipitation et/ou une coalescence des précipités.

La figure 2 illustre le comportement dilatométrique de la même tôle mais cette fois-ci son épaisseur est égale à 1.15mm. L'analyse du dilatogramme montre que les courbes dilatométriques obtenues selon X, Y et Z sont superposables mais les valeurs de  $\alpha(T)$  sont très distinctes.

Les maximums des pics caractéristiques des zones G.P. sont très importants. La différence entre les maximums du coefficient de dilatation thermique mesuré selon la direction Y et celui déterminé suivant la direction Z dépasse 60%.

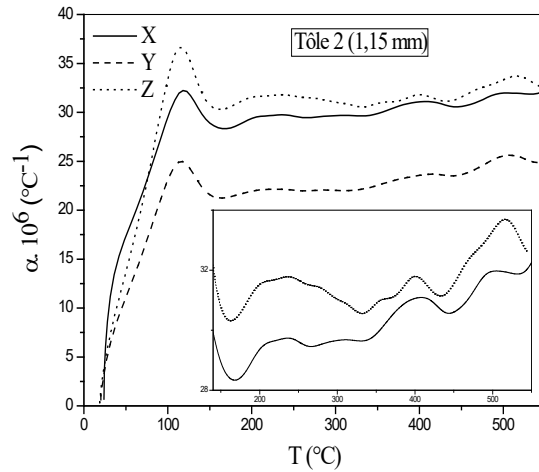


Figure 2: Variation du coefficient dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y, Z de la tôle d'épaisseur 1.15mm.

Les valeurs de  $\alpha(T)$  suivant la direction Y sont très inférieures à celles obtenues selon les deux autres directions. Ce comportement peut témoigner de la bonne tenue mécanique de cet échantillon. Son coefficient de dilatation thermique est invariable dans un large domaine de température. Les extrémums des courbes apparaissent à la même température. A partir de 150°C, les allures de ces dernières sont superposables. Les valeurs de  $\alpha_X$  et  $\alpha_Z$  sont légèrement décalées, alors que celles de  $\alpha_Y$  demeurent nettement inférieures à celles de  $\alpha_X$  et  $\alpha_Z$ .

Un résultat analogue a été obtenu dans le cas de la tôle contenant 0.049 Mn [1]. Lorsque les deux tôles (0.12 et 0.049 Mn) ont la même épaisseur égale à 1,15mm, nous remarquons qu'elles se dilatent moins suivant deux directions distinctes (la direction Z pour la tôle 1 et la direction Y pour la tôle 2). Leur coefficient de dilatation est sensiblement égal à  $25 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ . Le traitement mécanique subi par les deux échantillons a agit différemment sur l'effet de propagation des lacunes.

Probablement, les éléments d'addition sont responsables des changements d'interactions selon les différentes directions. La figure 3 représente les variations du coefficient de dilatation thermique de l'alliage dont la dimension suivant la direction perpendiculaire au plan de laminage est égale à 1.35mm.

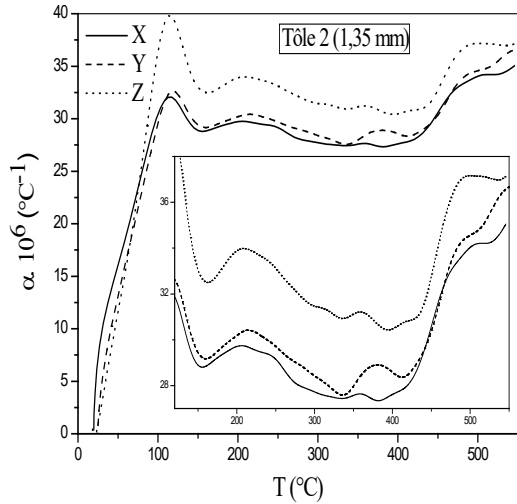


Figure 3: Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y et Z de la tôle d'épaisseur 1.35 mm.

Nous constatons que l'allure des courbes caractérisant les mesures de la dilatation suivant les trois directions X, Y et Z est la même. Les différentes anomalies dilatométriques sont aux mêmes températures. Par contre, les valeurs du coefficient de dilatation thermique ne sont pas les mêmes qu'il soit mesuré selon la direction Z ou dans le plan de base. La valeur de  $\alpha_Z$  est nettement plus grande que celles de  $\alpha_X$  ou  $\alpha_Y$  sur tout le domaine de température étudié.

Cela implique l'existence d'une anisotropie. Par contre, le comportement de  $\alpha$  est isotrope dans le plan de laminage. Les valeurs de  $\alpha_X$  et  $\alpha_Y$  sont pratiquement confondues sur tout le domaine de température. Suivant les directions X et Y, le matériau se comporte comme les alliages d'aluminium classiques élaborés par les techniques conventionnelles.

Le pic selon la direction Z, apparaissant aux environs de 90°C et correspondant aux zones G.P. est très important devant celui observé suivant les directions X ou Y. Probablement, les amas de Si ou de Mg sont plus importants selon la direction Z.

Analysant le rôle de l'épaisseur sur le comportement dilatométrique suivant les trois directions X, Y et Z des trois tôles.

La figure 4 illustre le comportement de  $\alpha$  selon la direction X des trois tôles de différentes épaisseurs. Direction X de cette tôle d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35mm.

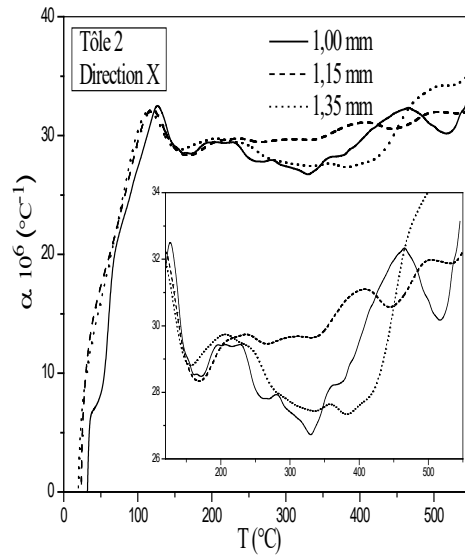


Figure 4: Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon la direction X de cette tôle d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35 mm.

Dans le domaine de température 50 - 200°C, les trois courbes sont superposables. Au delà de 240°C, les courbes diffèrent et présentent des anomalies dilatométriques ayant des intensités différentes et leurs positions en température varient d'une épaisseur à une autre.

Le comportement de  $\alpha$  suivant la direction Y (figure 5), lorsque l'épaisseur des échantillons passe de 1.35mm à 1.15mm puis à 1mm montre qu'il y a une forte anisotropie. La tôle dont l'épaisseur est égale à 1.15mm présente un coefficient de dilatation inférieur à celui des deux autres tôles et varie monotonement dans un large domaine de température. Il est quasiment constant de 150°C à 450°C.

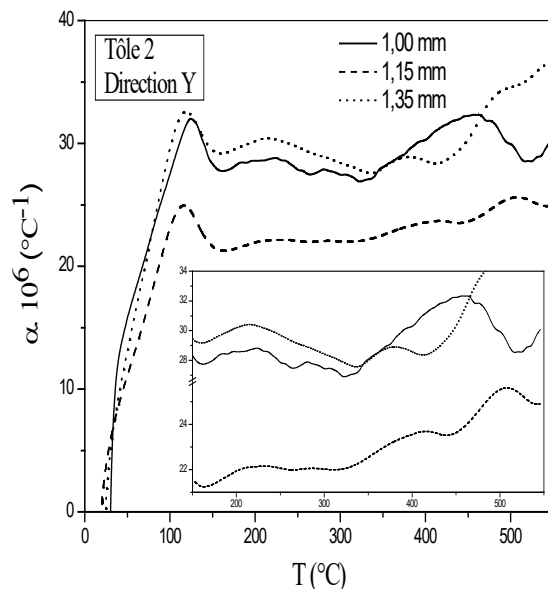


Figure 5: Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon la direction Y des tôles d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35mm.

La figure 6 illustre le comportement du coefficient de dilatation thermique suivant la direction Z de la tôle lorsque l'épaisseur passe de 1mm à 1.15mm puis à 1.35mm.

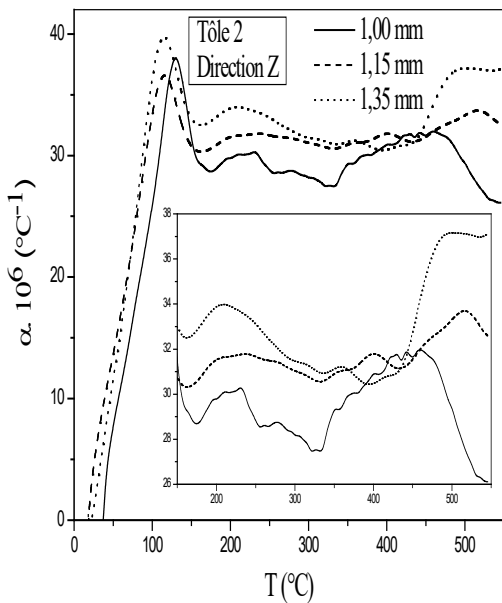


Figure 6: Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon la direction Z des tôles d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35 mm.

Nous remarquons une nette différence entre les trois courbes. Les températures d'apparitions des différentes anomalies dilatométriques changent d'une épaisseur à une autre.

Les pics de la courbe dilatométrique du matériau ayant pour épaisseur 1mm sont tous décalés vers les hautes températures. Les intensités des pics correspondant aux zones GP varient en fonction de l'épaisseur. Nous constatons que le coefficient de dilatation thermique en fonction de la température de la tôle dont l'épaisseur est égale à 1mm est nettement inférieur aux deux autres sur tout l'intervalle de température. Nous estimons que ce résultat peut jouer un rôle très important est rend cet échantillon compétitif par rapport à d'autres matériaux dont le prix de revient est élevé. Ceci nous permet d'affirmer que les propriétés mécaniques de la tôle de 1mm d'épaisseur se sont améliorées. Donc, son utilisation devient intéressante d'un point de vue industriel [9,10].

#### IV. CONCLUSION

Les essais dilatométriques montrent que l'épaisseur joue un rôle important et que les caractéristiques physiques et surtout mécaniques en dépendent. Les traitements thermomécaniques sont en partie responsables des propriétés physiques de l'alliage étudié. Donc, le processus de chauffage avec l'augmentation du taux de compression, montrent que quelque soit chauffage avec l'augmentation du taux de compression, montrent que quelque soit l'épaisseur du matériau, il y a présence d'une anisotropie qui change d'un échantillon à un autre et les comportements. Apparemment, cette différence peut être liée à une répartition non aléatoire des précipités présents dans les échantillons. Suivant la direction Y,  $\alpha$  de la tôle d'épaisseur 1.15mm est inférieure aux deux autres. Ce comportement est vraisemblablement dû à une orientation préférentielle des dispersoïdes.

L'analyse calorimétrique confirme les résultats dilatométriques. Les séquences de précipitation GP,  $\beta''$ ,  $\beta'$  sont les mêmes dans tous les échantillons. Les intensités des anomalies dilatométriques des différentes transitions de phases changent d'un échantillon à un autre.

#### REFERENCES

- [1] S. Saadallah, Mémoire de magister soutenu en 2007, Département de Physique, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie.
- [2] L.F. Mondolfo, Aluminium alloys: Structure and Properties, Butterworths, London, 1976.
- [3] K. Boulemzaoud, A. Chahdane, S. Saadallah, A. Boubertakh, S. Hamamda, 12-th International Young Scientists Conference Optique and High Technologie Material Science (SPO), Kyiv, Ukraine 2011, Octobre 27-30, p.235.
- [4] T. Abid, A. Boubertakh, S. Hamamda, J. alloys and Compounds, 490, 2010, p.166-169.
- [5] M. Benabdoun, Thèse d'état, Université Mentouri Constantine, 2004.
- [6] K. Inoue, T. Yosimura, A. Fuji, H. Noguchi, Proceeding of the 8th International Fatigue Congress, Stockholm, Sweden, 2002, p.2633-2640.
- [7] W. F. Miao, D. E. Laughlin, Met. Mater. Trans., Vol. 31(A), 2000, p. 361-371.
- [8] G. A. Edwards, K. Stiller, G. L. Dunlop, M. J. Couper, Acta Mater, Vol.46, 1998, p.3893-3904.
- [9] Y. Aouabdia, A. Boubertakh, S. Hamamda, Mater. Lett., Vol.64, 2010, p.335-356.
- [10] S. Saadallah, A. Benaissa, A. Boubertakh and S. Hamamda, J. Mat. Sci. Eng. Vol.4, 2015, p.1-4.