

## ETUDE DILATOMETRIQUE D'UNE TOLE ALMGSI AYANT DIFFERENTES EPAISSEURS

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

Laboratoire Thermodynamique et Traitements de Surface des Matériaux,  
Université Frères Mentouri, Constantine, Algérie.

Reçu le 18/03/2013 – Accepté le 14/04/2014

### Résumé

L'objectif de cette note est l'étude de l'influence de l'épaisseur d'une tôle, d'un alliage Al-Mg-Si, sur le coefficient de dilatation thermique. Cette tôle contient d'autres éléments d'addition.

Trois échantillons ont été prélevés orientés selon les directions parallèle, perpendiculaire à la direction de laminage dans le plan de laminage et la troisième est perpendiculaire au plan de laminage (direction Z). Les résultats obtenus montrent que les comportements dilatométriques changent fortement avec l'épaisseur.

Le coefficient de dilatation thermique suivant la direction Z de la tôle d'épaisseur 1.35mm est très faible devant ceux des deux tôles d'épaisseur 1.15 et 1mm.

**Mots clés :** alliage AlMgSi, épaisseur, dilatation, anisotropie, laminage, dispersoïdes, tôles.

### Abstract

The purpose of this paper is to study the influence of the thickness of a sheet, of an Al-Mg-Si alloy, on the thermal expansion coefficient. This sheet contains other alloying elements.

Three samples were taken along the parallel direction, the perpendicular direction to the rolling direction in the rolling plan and the perpendicular direction to the rolling plan (Z direction). The obtained results show that the dilatometric behaviour changes strongly with thickness.

It is important to notify that the obtained thermal expansion coefficient along Z direction of the sheet whose thickness is about 1.35mm is very low compared to that of the two other sheets with 1mm and 1.15mm as thickness.

**Keywords:** AlMgSi alloy, thickness, expansion, anisotropy, rolling, dispersoids sheets.

### ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة تأثير سمك صفيحة من سبيكة Al-Mg-Si على معامل التمدد الحراري والتي تحتوي على عناصر إضافية أخرى.

من أجل ذلك قمنا بتحضير عدة عينات وفق الاتجاه الموازي لاتجاه الدرفلة، الاتجاه العمودي لا اتجاه الدرفلة في مستوي الدرفلة و الثالثة وفق الاتجاه العمودي لمستوي الدرفلة، لقد لوحظ تغير السلوك التمددي له ارتباط كبير بتغير سمك الصفيحة. لا بد من التركيز على أن معامل التمدد الحراري وفق الاتجاه العمودي لمستوي الدرفلة في حالة الصفيحة ذات السمك 1.35 ميليمتر ضعيف أمام التمدد وفق نفس الاتجاه في حالة الصفيحتين التي سمكهما 1 و 1.15 ميليمتر.

**الكلمات المفتاحية:** AlMgSi سبيكة، وسمك، والتوسع، تباین، المتداول، dispersoids ورقة.

## I. INTRODUCTION

L'aluminium est le troisième élément le plus abondant juste après le silicium et l'oxygène. sa production industrielle n'a commencé qu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle, c'est le métal le plus utilisé après le fer et les aciers [1].

De nos jours, l'aluminium et ses alliages sont utilisés dans beaucoup de domaines: l'aéronautique, l'automobile, le ferroviaire et le navale, les superstructures et les équipements ; dans le bâtiment (toitures, façades, aménagement intérieur) ; dans l'industrie électrique (câbles et appareillages) , pour la fabrication d'appareils ménagers ; l'emballage, la décoration. Donc, il reste un matériau incontournable dans les divers secteurs et son utilisation ne cesse de croître [2].

Dans les alliages d'aluminium de la série 6000, les principaux éléments d'alliage sont le magnésium (Mg) et le silicium (Si) qui se combinent pour former le composé stœchiométrique  $Mg_2Si$ , durcissant à l'état métastable. ces alliages sont utilisés à l'état trempé et mûri, ce qui leur confère de bonnes propriétés mécaniques. Dans la plupart des alliages de la série 6xxx, l'addition de manganèse ou de chrome [3] permet d'augmenter leur limite élastique et le contrôle de la taille des grains, le cuivre possède le même effet sur ces alliages mais lorsqu'il est présent à plus de 0.5%, il peut réduire la résistance à la corrosion.[5-6]

Pour augmenter les caractéristiques mécaniques d'un métal, il faut stopper ou ralentir le mouvement des dislocations, deux solutions sont utilisées .la première est la déformation du réseau cristallin, la deuxième consiste à créer des obstacles comme des précipités intermétalliques.

Pour cela, nos échantillons ont été déformés à

fonction de la température des trois alliages AlMgSi sous forme de tôle.

## II. EXPERIMENTATION

Pour ce travail, nous avons pris plusieurs éléments d'addition dont les proportions sont données dans le tableau 1 suivant :

L'appareil utilisé est le dilatomètre du type DIL 402 C NETZSCH. Le coefficient de dilatation thermique est mesuré avec erreur absolue égale à  $10^{-7}^{\circ}C^{-1}$ . Le cycle thermique de nos essais consiste en un chauffage dans l'intervalle de température de 25°C à 550°C avec une vitesse de 10/min, suivi d'un refroidissement à la température ambiante. Selon les directions X et Y, les échantillons ont chacun une longueur de 3 mm alors que suivant la direction Z, la longueur et celle de l'épaisseur.

## III. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS :

L'examen des courbes dilatométriques  $\alpha(T)$  des alliages étudiés à l'état brut montre la présence de différentes anomalies enregistrées lors du chauffage des échantillons dans les trois directions X, Y, Z. Elles sont dues à des phénomènes de transformation de phases.

La figure 1 représente la variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y, Z de la tôle 1 d'épaisseur 1.00 mm,

Selon les trois directions on remarque que les courbes dilatométriques ont sensiblement la même allure sauf que suivant la direction Y, l'anomalie située aux environs de

320°C  
est  
intense.

	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	V	Zn	Zr
<b>Tôle 1</b>	<b>balance</b>	<b>0.21</b>	<b>0.34</b>	<b>0.42</b>	<b>1.03</b>	<b>0.049</b>	<b>0.014</b>	<b>0.54</b>	<b>0.016</b>	<b>0.006</b>	<b>0.016</b>	<b>0.001</b>

Tableau .1: composition d'alliage étudié.

froid par compression pour obtenir des échantillons sous forme de tôles ayant différentes épaisseurs et dont les valeurs sont les suivantes (1mm, 1.15mm, 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.

Les séquences de précipitation et l'analyse des précipités ont été l'objet de plusieurs études, les principales réactions de précipitation qui se produisent dans les alliages Al-Mg-Si [6-7], peuvent être récapitulées comme suit :

**(SSS) → GP (Amas de solutés et /ou zones) →  $\beta''$  (en aiguilles) →  $\beta'$  (précipité intermédiaire en bâtonnets) →  $\beta$  ( $Mg_2Si$ ) (sous forme de plaquettes).**

L'objectif de ce travail est l'étude de l'influence de l'épaisseur sur le coefficient de dilatation thermique en

Probablement, la précipitation a été favorisée par une importante concentration de lacunes. Aux hautes températures, les valeurs de  $\alpha(t)$  des trois courbes se rapprochent et l'écart entre-elles devient faible. Donc, ce comportement peut être lié à une coalescence des précipités.

La figure 2 illustre la variation du coefficient de dilatation thermique suivant les trois directions X, Y et Z du matériau dont l'épaisseur est de 1.15mm.

Le comportement dilatométrique suivant la direction Z présente un pic très intense devant celui des deux autres. Un autre résultat intéressant est la faible valeur du coefficient de dilatation thermique suivant la direction Z. Les rapports  $\alpha_x/\alpha_z$  et  $\alpha_y/\alpha_z$  dépassent largement 150%. Ce comportement peut être lié à une répartition importante des dispersoïdes, stables à hautes températures, suivant la direction Z.

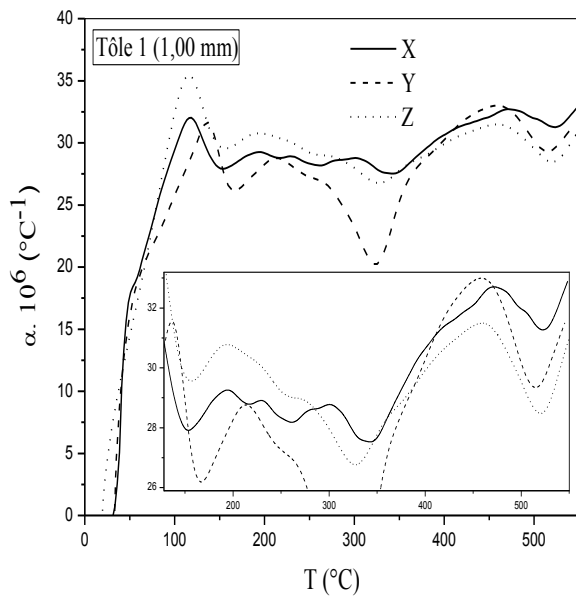


Figure 1 : Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y, Z de la tôle 1 d'épaisseur 1.00 mm.

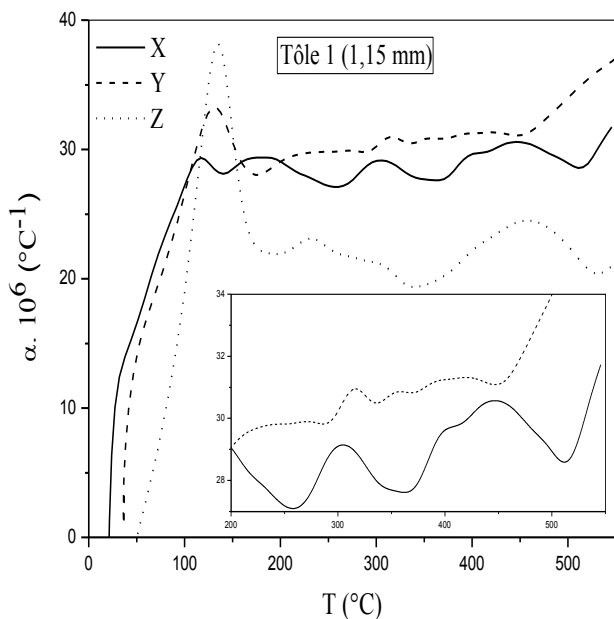


Figure 2 : Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y, Z de la tôle 1 d'épaisseur 1.15 mm.

Pour la tôle 1 d'épaisseur 1.35mm et d'après la figure 3 représentée ci-dessous, les anomalies dilatométriques caractéristiques des zones GP apparaissent plutôt suivant la direction X que selon les directions Y et Z. Par contre l'intensité de l'anomalie suivant Y est intense devant celle selon X ou Z. Au delà de 150°C les coefficients de dilatation selon X et Y varient monotonement et sont du même ordre de grandeur.

Dans le cas de cet échantillon, le traitement mécanique a provoqué une forte diminution du coefficient de dilatation thermique selon la direction Z. Il a baissé de 300% devant les deux autres. Cela implique un important renforcement des

liaisons interatomiques conduisant à une amélioration des caractéristiques mécaniques.

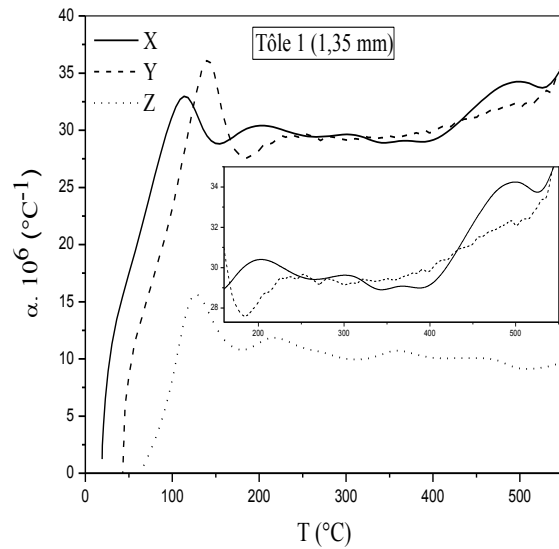


Figure 3: Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon les trois directions X, Y, Z de la tôle 1 d'épaisseur 1.35 mm.

L'étape suivante a été réservée à l'analyse du coefficient de dilatation thermique des trois tôles suivant les trois directions X, Y et Z. Cette étude va nous permettre de mettre en évidence le rôle de l'épaisseur sur le comportement dilatométrique et de faire une étude comparative des trois échantillons prélevés selon la même direction X, Y ou Z.

La figure 4 représente le coefficient de dilatation thermique en fonction de la température des trois échantillons prélevés des différentes épaisseurs et ayant la même orientation X.

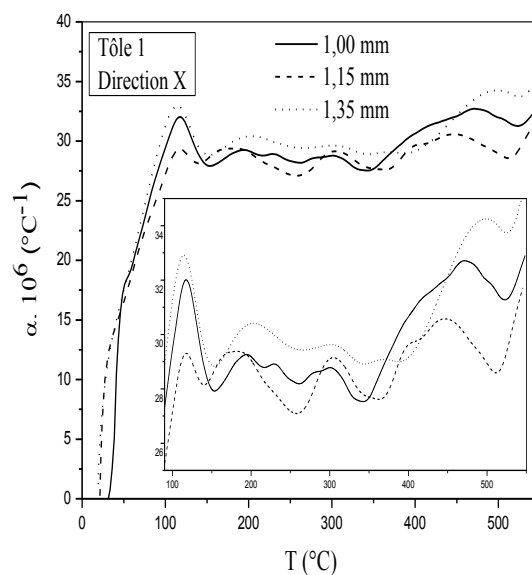


Figure 4 : variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon la direction X de la tôle 1 d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35mm.

Nous constatons que les courbes du coefficient de dilatation thermique suivant la direction X des trois échantillons (quand l'épaisseur passe de 1mm à 1.15mm puis à 1.35mm), sont confondues lorsque la température est inférieure à 50°C. Au delà de cette température, les valeurs de  $\alpha$  ne sont plus les mêmes. Donc, il y a naissance d'une anisotropie qui s'intensifie avec l'augmentation de la température. Quand  $T \geq 250^\circ\text{C}$ , le coefficient de dilatation thermique de la tôle d'épaisseur 1.15mm est inférieure à celui des deux autres. Probablement dans ce cas, la concentration de défauts introduits lors du laminage favorise la diffusion des particules formées appelées dispersoïdes responsables de l'amélioration des propriétés mécaniques.

La figure 5 représente le coefficient de dilatation thermique pris selon la direction Y des échantillons dont l'épaisseur passe de 1mm à 1.15mm et à 1.35mm.

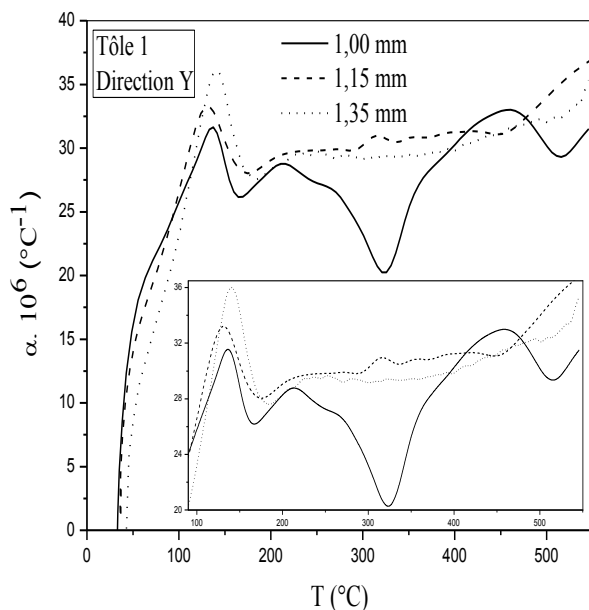


Figure 5: variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon la direction Y de la tôle 1 d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35 mm,

Nous constatons que le coefficient de dilatation de l'échantillon ayant 1.35mm d'épaisseur varie linéairement. Dans l'intervalle de température 150-550°C,  $\alpha$  est presque constant et se situe entre les deux autres coefficients de dilatation. Donc, la disparition de l'anomalie dilatométrique dans cet échantillon lui procure un large domaine de température où les changements dilatométriques sont presque nuls, ce qui rend son utilisation intéressante dans ce domaine de température.

La figure 6 représente le comportement dilatométrique des trois échantillons prélevés suivant la direction Z.

Le comportement dilatométrique de cette tôle avec une épaisseur de 1,35mm est très intéressant. Son coefficient de dilatation a diminué de moitié devant celui de la tôle de 1,15mm. Il est trois fois plus petit que celui de l'échantillon d'épaisseur 1mm. A partir de 200°C, il varie monotonement et sa valeur est égale à  $9.10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  [9,10].

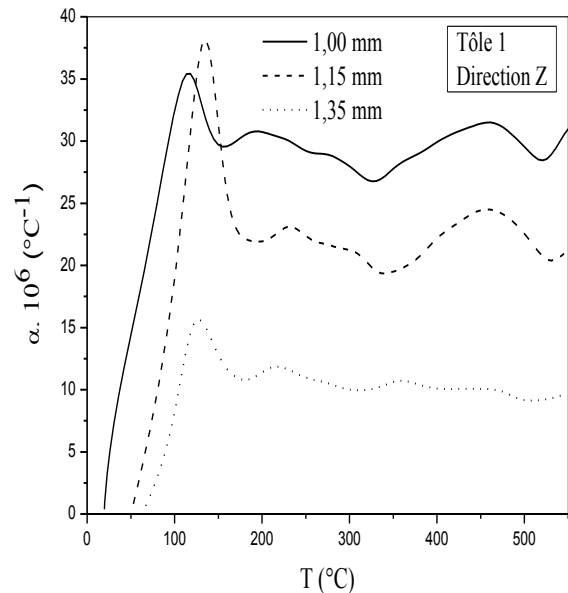


Figure 6 : Variation du coefficient de dilatation thermique en fonction de la température selon la direction Z de la tôle 1 d'épaisseurs 1, 1.15 et 1.35 mm,

#### IV. CONCLUSION

A partir de ce travail, nous avons montré que quelque soit l'épaisseur de la tôle AlMgSi, il y'a présence d'une anisotropie qui change d'un échantillon à un autre.

Les coefficients de  $\alpha(T)$  mesurés dans le plan de base XY ne sont pas les mêmes. Cette différence est vraisemblablement due à une orientation préférentielle des dispersoïdes.

Nous avons pu mettre en évidence que  $\alpha(T)$  suivant l'axe Z de l'échantillon d'épaisseur 1.35mm est nettement inférieur aux autres.

Le coefficient de dilatation thermique de cette dernière est trois fois plus petit que  $\alpha(T)$  de ce tôle d'épaisseur 1mm. et deux fois plus faible que  $\alpha$  de tôle d'épaisseur 1.15mm. Apparemment, le laminage de ce tôle pour obtenir une épaisseur 1.35mm, favorise la formation d'une concentration optimale de défauts qui peuvent être responsables de la mobilité des particules fines et donc d'une diffusion importante des dispersoïdes stables à hautes températures. Ce comportement rend les propriétés mécaniques appréciables. Cette tôle devient intéressante d'un point de vue industriel.

#### REFERENCES

- [1] H. Leiris, Métaux et alliages autres que les aciers et les fontes, Tome II, Masson et Cie éditeurs, 1971, p.71-92.
- [2] A. K. Gupta, D. J. Lloyd, S. A. Court, Mater. Sci. Eng., A, Vol.301, 2001, p. 140-146.
- [3] Y. Aouabdia, A. boubertakh, S. Hamamda, Mater. Lett., Vol.64, 2010, p.335-356.
- [4] M. Reboul, T. J. Warner, Corrosion Reviews, Vol.15, 1997, p. 471-496.
- [5] C. Vargel, corrosion de l'aluminium, Paris, 1999, p.123-138.
- [6] W. F. Miao, D. E. Laughlin, Met. Mater. Trans., Vol. 31(A), 2000, p. 361-371.

- [7] G. A. Edwards, K. Stiller, G. L. Dunlop, M. J. Couper,  
Acta Mater, Vol.46, 1998, p.3893-3904.
- [8] M. Murayama, K.Hono, Acta Mater, Vol 47, 1999,  
p.715-718.
- [9] S. Saadallah, A Benaissa, A. Boubertakh and S.  
Hamamda, J. Mat. Sci. Eng. Vol.4, 2015, p.1-4.
- [10] S.Saadallah, A.Boubertakh, S.Hamamda, XL Summer  
School – Conferenre “advanced problems in mechanics”,  
Saint-Petersburg (Repino), Russia, July-2-8, 2012, p.82.