

Étude de l'influence du type de moule sur la rupture à chaud de l'alliage d'aluminium AlCu5MgTi

A. HAMADELLAH, A. BOUAYAD

Laboratoire des Sciences et Métiers de l'ingénieur Université Moulay Ismail, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, BP 4024, Meknès-Maroc

E-mails : hamadellah@hotmail.com ; a.bouayad@ensam-umi.ac.ma

Résumé

Le moulage des pièces en alliages d'aluminium est un procédé industriel visant l'obtention de pièces de formes complexes avec de bonnes propriétés mécaniques. Certains alliages peuvent être sensible au défaut de la fissuration à chaud pendant la solidification en fonction de plusieurs paramètres et conditions de travail, tels que la géométrie de la pièce, la température de coulée et le type de moulage. Ce travail montre que la crique est favorisée dans le moulage en moule permanent et inexistante dans le moulage sable pour l'alliage AlCu5MgTi.

Mots clefs : *alliage d'aluminium, crique, analyse thermique, température de rigidité*

1. Introduction

Durant son élaboration par moulage, en particulier pendant le refroidissement, l'alliage d'aluminium subit des sollicitations d'ordre thermomécanique qui peuvent pour certaines nuances engendrer des défauts [1]. Ces défauts apparaissent essentiellement sous forme de criques internes ou de surface [2] et jouent un rôle majeur dans la dégradation des propriétés mécaniques de l'alliage. Cependant, selon Kamguo Kamga et al. [3] la sensibilité à la crique à chaud est l'un des facteurs empêchant l'utilisation intensive de l'alliage AlCu5MgTi. La rupture à chaud correspond à l'ouverture de criques en fond de zone pâteuse, c'est-à-dire dans les régions à fraction de solide importante (au-delà de 90%), lorsque ces régions sont soumises à des déformations favorisant la mise en traction des films liquides résiduels [4,5].

Les stades de cohérence et de rigidité caractérisent la solidification pendant le refroidissement du métal dans le moule. Le point de cohérence (Dendrite coherency point : DCP) est la température à laquelle les grains commencent à interagir [6]. Ensuite et au fur et à mesure que le refroidissement augmente, des ponts entre les grains solides apparaissent et des contraintes mécaniques naissent et se transmettent sur de plus grandes distances à travers le squelette solide rigide. Selon Djurdjevic et al. [7], la température qui marque cette transition est critique, et s'appelle la «température de rigidité» (T Rigidity ??). Une technique développée

par Backrud [9] est basé sur la mise en place de deux thermocouples dans le moule, un dans la zone chaude (Tc) et le deuxième dans la paroi (Tw). Le DCP est le minimum de la courbe delta (Tw-Tc) en fonction du temps et le point de rigidité est le deuxième minimum obtenu par la même courbe.

Inspiré des études précédentes [1,8], l'objectif de ce travail est de développer un test quantitatif basé sur la nature du moule, qui est instrumenté pour suivre instantanément la variation de la température de l'alliage et l'évolution des forces induites pendant la solidification.

2. Matériels et procédures

2.1 Composition de l'alliage

L'alliage AlCu5MgTi est un matériau ayant de bonnes propriétés mécaniques, convenable pour l'utilisation dans la fabrication des pièces pour l'automobile. Cependant sa sensibilité au défaut de crique pose un problème de qualité et de coût. Le choix de cet alliage est motivé par sa grande sensibilité à la crique. La composition chimique est mesurée à l'aide d'un spectromètre à émission (voir tab. 1).

Tableau 1 : composition de l'alliage AlCu5MgTi

AlCu5MgTi							
Élément	Cu	Mn	Mg	Ti	Si	Fe	Al
Standard	4.2-	0.2-	0.15	0.15	<0.0	<0.1	Ba
	5.0	0.5	- 0.35	- 0.30	5	0	l.
Mesuré	4.5	0.24	0.27	0.23	0.05	0.1	Ba l.

2.2 Moules et instruments

A cause de la contraction de l'alliage au cours de la solidification, des contraintes et des déformations sont créées et imposées par le moule sur l'éprouvette pendant la solidification, ce qui peut entraîner des fissurations à chaud dans les zones les plus vulnérables (à cause de la variation d'épaisseur). Deux types de moulages sont choisis ; le moule permanent (moule métallique, voir fig.1) et le moule en sable silico-argileux (voir fig.2). Les

moules sont équipés d'un capteur de force et deux thermocouples (Tc1 pour la partie moins épaisse et Tc2 pour le point chaud), qui sont reliés par l'intermédiaire d'un système d'acquisition à un ordinateur pour enregistrer respectivement les différentes forces et températures en temps réel depuis la coulée jusqu'à la solidification de la pièce.

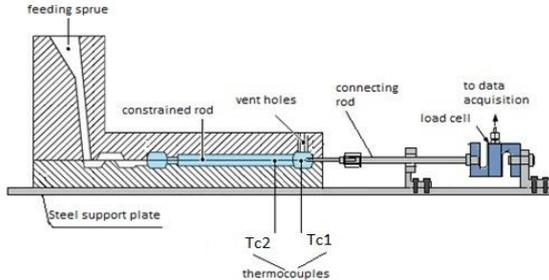


Figure 1 : Schéma du moule permanent instrumenté.

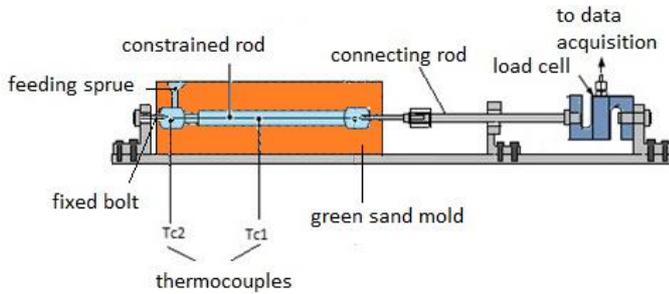


Figure 2 : Schéma du moule en sable instrumenté

3. Résultats et discussion

Les premiers constats sont d'abord visuels ; apparition de la crique dans l'éprouvette moulée en moule métallique (voir fig.3) et absence du défaut dans le moulage en sable (voir fig.4).



Figure 3 : Présence de crique dans l'éprouvette élaborée en moule permanent



Figure 4 : Éprouvette sans crique fabriquée en moule sable

A partir des courbes d'analyses thermiques (voir fig.5 et fig.6), les deux points caractérisant le refroidissement l'alliage, à savoir respectivement le DCP et la température de rigidité, sont clairement déterminés à l'aide de la courbe delta en fonction du temps. Pour le moule perant, le DCP est à (17 sec, 636°C) et le point de rigidité est à (34 sec, 551°C). Pour le moule non

permanent, les coordonnées des deux point sont respectivement (20 sec, 635°C) et (85 sec, 540°C). On remarque que le temps de solidification n'est pas le même, ceci est dû à la différence de la conductivité thermique des deux matériaux. Dans le moule permanent la solidification se fait plus rapidement, ce qui augmente la vitesse de déformation.

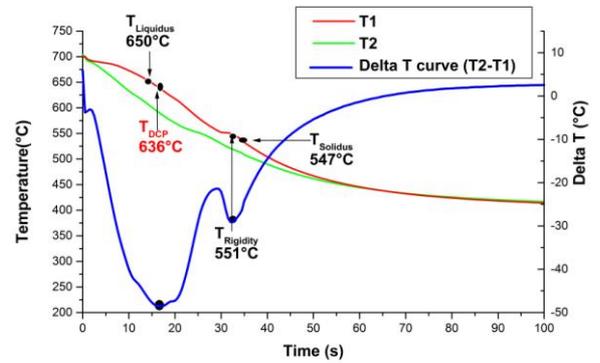


Figure 5 :

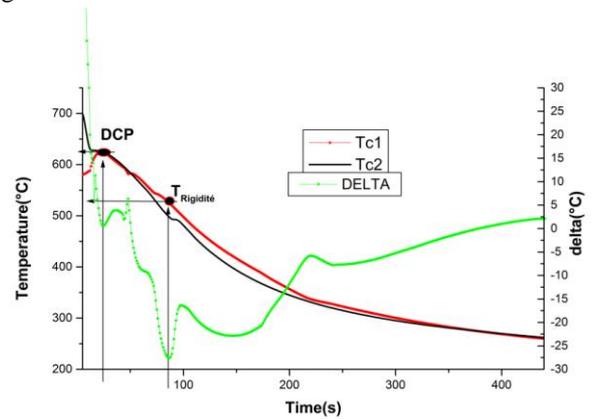


Figure 6 : Courbes de refroidissement du point chaud et de la paroi et la courbe différence Delta dans le moule sable.

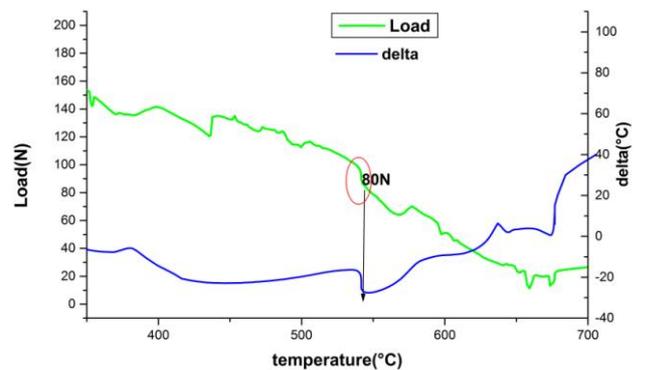


Figure 7 : Allure de la force développée et la courbe delta en fonction de la température dans le moulage sable.

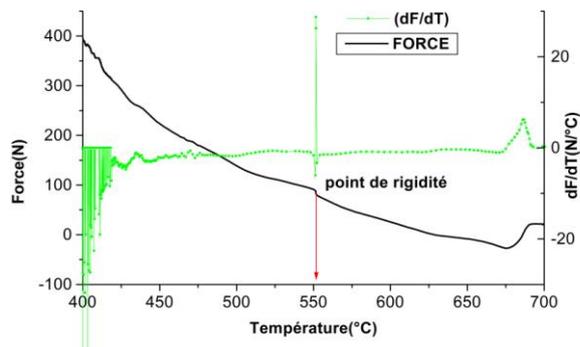


Figure 8 : Allure de la force développée et sa dérivée en fonction de la température dans le moule métallique

Les figures 7 et 8 expliquent bien l'évolution des forces générées en fonction de la température dans l'éprouvette pendant la solidification. On remarque que les forces enregistrées au voisinage du point de rigidité sont proches dans les deux essais, alors que la crique est présente dans le moule métallique et est absente dans le moule sable. Ceci est expliqué par le fait que la crique résulte de la rigidité du moule métallique qui empêche l'alliage d'assumer son retrait. Par ailleurs le moule en sable ne gêne pas la déformation de l'éprouvette au moment du retrait grâce à la propriété de plasticité du sable silico-argileux.

4. Conclusion

Les essais menés sur les deux moules de types différents, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- 1- La rigidité du moule métallique est le facteur principal de l'apparition de la crique pendant la solidification de l'alliage AlCu5MgTi.
- 2- La plasticité du sable favorise le retrait de l'alliage pendant la solidification.
- 3- Les contraintes enregistrées dans les deux essais sont les mêmes au voisinage de la température de rigidité, sauf que la vitesse de refroidissement est rapide pour le moulage permanent et lente pour le moulage en sable.

Références

- [1] Eskin, D.G., Katgerman, L., A Quest for a New Hot Tearing Criterion. *Metall. Mater Trans. A* (2007) 1511–1519.
- [2] Backerud, Lennart, Guocai Chai, and Jarmo Tamminen. "Solidification Characteristics of Aluminum Alloys. Vol. 2. Foundry Alloys." *American Foundrymen's Society, Inc., 1990*, (1990): 266.
- [3] Kamga, H. Kamguo, et al. "Hot tearing of aluminum-copper B206 alloys with iron and silicon additions." *Materials Science and Engineering: A* 527.27 (2010): 7413-7423.

- [4] U. K. Bhattacharya, C. M. Adams, H. F. Taylor, "Hot Tear Formation in Steel Casting", *Trans. AFS*, 60, 1952
- [5] D'Elia, Francesco, et al. "Hot Tearing Susceptibility of Mg- 5Nd- xZn Alloys." *Magnesium Technology 2016* (2016): 129-134.
- [6] Esfahani, MR Nasr, and B. Niroumand. "Study of hot tearing of A206 aluminum alloy using Instrumented Constrained T-shaped Casting method." *Materials Characterization* 61.3 (2010): 318-324.
- [7] Djurdjevic, Mile B., and Gerhard Huber. "Determination of Rigidity point/temperature using thermal analysis method and mechanical technique." *Journal of Alloys and Compounds* 590 (2014): 500-506.
- [8] Cao, G., and S. Kou. "Real-Time Monitoring of Hot Tearing in AZ 91 E Magnesium Casting." *Transactions of the American Foundry Society*, Vol. 115115 (2007): 709-719.
- [9] Chai, Guocai, et al. "Dendrite coherency during equiaxed solidification in binary aluminum alloys." *Metallurgical and Materials Transactions A* 26.4 (1995): 965-970.