

## Amélioration de la plasticité par un recuit de recristallisation de l'alliage d'aluminium EN-AW 1350

F. Kherouf<sup>1</sup>, S. Boutabba<sup>2</sup>, B. Fnides<sup>3</sup>

1. Laboratoire de Mécanique Industrielle, Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000 Annaba, Algérie
2. Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux, Université 8 mai 1945, BP 401, 24000 Guelma, Algérie
3. Département de Construction Mécanique et Productique, Université Bab-Ezzouar, Alger

**Résumé** —L'alliage d'aluminium EN-AW 1350 a été retenu pour la fabrication des pièces dans l'industrie aéronautique et automobile telles que les fuselages et les ailes d'avion ou les pièces de véhicules routiers. Dans ce travail une étude métallographique et la détermination de l'évolution de la micro dureté en fonction du temps de recuit ont été menées afin de caractériser avec précision le domaine plastique de l'alliage d'aluminium pour une plage de plasticité de 160%. Ce matériau est destiné à subir, par simulation numérique, une mise en forme par déformation plastique d'où la nécessité de l'analyse précise de la rugosité de son état de surface et de ses caractéristiques mécaniques après des traitements thermiques adaptés. Il a été constaté des changements de la taille des grains et de la dureté en fonction de temps de recuit.

**Keywords:** *Alliage d'aluminium, analyse micrographique, micro-dureté, recuit, plasticité*

### I. Introduction

La tendance actuelle du remplacement de l'acier et de la fonte par l'aluminium, compte tenu de la hausse des coûts de carburant et des problèmes d'environnement, est justifiée par sa légèreté et sa résistance à la corrosion dans les industries aéronautique et automobile pour la production de pièces structurales légères telles que les fuselages et les ailes d'avion ou les pièces de véhicules routiers. Pour cela il est nécessaire que le rapport de la résistance de l'alliage d'aluminium sur son poids soit plus important que celui de l'alliage à remplacer. En outre l'utilisation de nouveaux matériaux impose des investissements supplémentaires en équipements et en formation de main d'œuvre dont il faut tenir compte.

L'aluminium non allié ayant des propriétés très réduites, il est possible d'améliorer ses propriétés en ajoutant des éléments qui modifient plus ou moins profondément la microstructure. Les éléments d'addition sont peu nombreux : cuivre, silicium, magnésium, manganèse, titane et des associations magnésium + silicium, zinc + magnésium, zinc + magnésium + cuivre.

Les nuances d'aluminiums corroyés, comme l'alliage d'aluminium AA 5754 qui est très bien connu pour sa bonne soudabilité et sa haute résistance (légèrement plus résistant que le AA 5052 ou que le AA 5251) en plus de sa haute résistance à la fatigue [1]. Le AA 2618 est utilisé pour la fabrication des aubes des turbines [2] et le AA 6061 pour le forgeage des roues [3].

Les alliages d'aluminium trouvent leurs applications dans de nombreux domaines. Leur utilisation est fonction de leurs propriétés. Celles-ci dépendent de la microstructure du

---

**Corresponding author:** Fakhreddine KHEROUF  
Research field: Materials  
Adress. City 8 May 1945 ANNABA  
E-mail: fakhr\_tkd@hotmail.fr

matériau qu'il ne faut pas la négliger, au risque de voir la structure incapable de résister.

La connaissance précise de ces propriétés mécaniques est habituellement requise dans différentes applications technologiques telles que l'aéronautique [4-5] l'industrie automobile [6-7], la construction navale [8-9] et les domaines de la fabrication mécanique [10-11].

## II. Traitements thermiques des alliages d'aluminium

Si on prend en considération la résistance à la rupture des matériaux, l'aluminium et ses alliages occupent un large intervalle allant de 50 MPa pour l'aluminium raffiné à l'état recuit jusqu'à une résistance à la rupture de 65 à 750 MPa pour les alliages à haute résistance fortement chargés en éléments d'addition à l'état trempé revenu du type Al-Zn-Mg-Cu (AA 7049). On obtient une telle variété de caractéristiques mécaniques aussi bien à partir de la composition des alliages qu'en effectuant des traitements thermiques adaptés. Ces traitements permettent d'obtenir une diminution de la résistance mécanique et une augmentation de l'aptitude à la déformation plastique (traitements d'adoucissement) ou au contraire une augmentation de la résistance mécanique (traitements de durcissement).

Dans ce travail la détermination de la dureté et une étude micrographique ont été effectuées sur des échantillons en alliage d'aluminium. Cette étude a permis de déterminer l'évolution de la taille des grains et de la dureté en fonction du temps de recuit. Le but est d'obtenir une courbe de plasticité plus importante.

## III. Test de dureté

La dureté d'un matériau caractérise sa résistance à la pénétration, un pénétrateur est appliqué sur la surface du matériau à tester avec une force pendant un temps donné. Dans ce travail nous avons utilisé un microduromètre automatique à pénétration Vickers.

Trois essais ont été effectués pour chaque échantillon afin d'obtenir des statistiques raisonnables pour les valeurs mesurées de la dureté.



Fig. 1 Epreuves.

### III.1. Dureté avant traitement thermique

Les essais de dureté ont été réalisés sur machine Vickers type HWDM-1 « HIGHWOOD » en utilisant des éprouvettes circulaires, voir figure 1. Pour chaque échantillon, trois mesures à une charge maximale de 300gr ont été effectuées. La charge est appliquée progressivement jusqu'à la charge maximale qui est maintenue pendant 15 s, ensuite on retire progressivement la charge.

Tous les tests de duretés ont été réalisés sur les faces extérieures des éprouvettes préalablement polies.

Tableau 1. Dureté avant traitement thermique

Dureté	Essai1	Essai2	Essai3
Vickers	41.1	42.6	40.1

### III.2. Dureté après traitement thermique

Le traitement thermique sur les éprouvettes a été réalisé à 320°C pour un temps allant jusqu'à 8 heures.

Tableau 2. Dureté après traitement thermique

Traitement	Essai1	Essai2	Essai3
Sans	41.1	42.6	40.1
1h dans le four	34	32.6	32.1
1h30	27.3	25.8	27.9
2h	28.7	30	27.7
3h	23.6	22.3	20.3
4h	22.6	20.9	21
5h	23.8	19.3	21.2
8h	21.5	21.7	21.2

Au vu des résultats obtenus lors des essais, nous constatons que la dureté de l'éprouvette

chute de manière significative durant les trois premières heures de recuit puis se stabilise à 22 HRV.

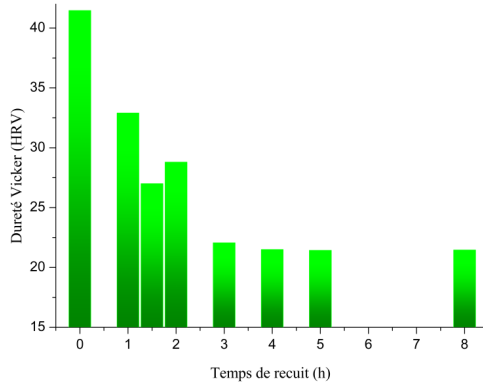


Fig. 2 Evolution de la dureté en fonction du temps de recuit.

#### IV. Etude micrographique

La métallographie optique permet d'obtenir des informations sur les éléments constitutifs des microstructures telles que les fissures, la texture, la dimension des grains et les différentes phases présentes.

Avant de réaliser le contrôle micrographique sur les éprouvettes, un polissage au 4000 avec du papier abrasif en carbure de silicium avec une finition à l'alumine est nécessaire à l'aide d'une pâte diamantée de 1  $\mu\text{m}$  afin d'obtenir une surface miroir exempte de rayure. Pour faire ressortir les joints de grains, chaque éprouvette a été plongée dans une solution acide [12] Keller (eau distillée  $\text{H}_2\text{O}=95$  ml, acide fluorhydrique  $\text{HF}=1$  ml, acide nitrique  $\text{HNO}_3=2.5$  ml, acide chlorhydrique  $\text{HCl}=1.5$  ml) entre 30 et 40 secondes. Ceci afin d'obtenir un contraste entre les différents grains. Le microscope métallographique est doté d'une caméra numérique reliée à un PC permettant d'enregistrer un grand nombre de photos de différentes microstructures avec différents grossissements de chaque échantillon. La micrographie a un grossissement X200.

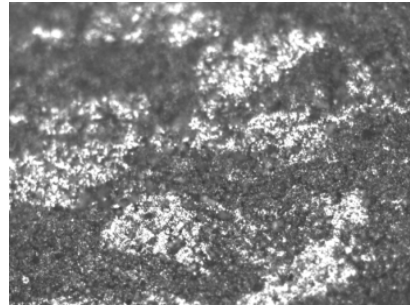


Fig. 3 Sans traitement thermique.

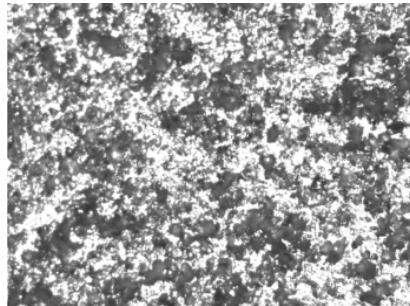


Fig. 4 Après 1h de recuit.

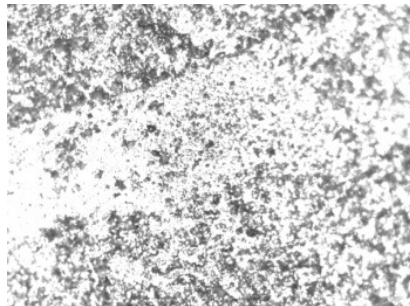


Fig. 5 Après 2h de recuit.

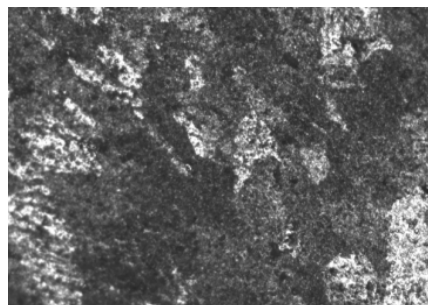


Fig. 6 Après 3h de recuit.

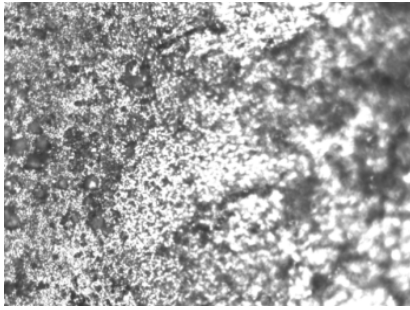


Fig. 7 Après 4h de recuit.

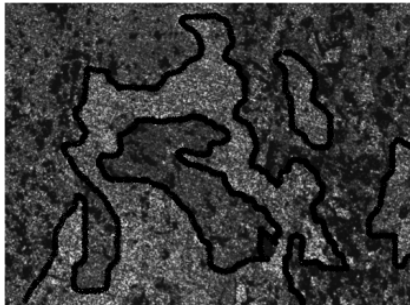


Fig. 8 Après 5h de recuit.

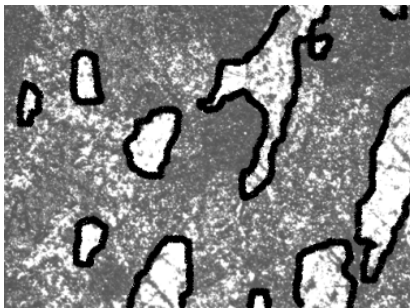


Fig. 9 Après 8h de recuit.

L'observation au microscope optique a permis d'observer les joints de grains.

Pour l'échantillon sans traitement thermique, aucun joint de grain n'est visible même en augmentant le zoom. Pour 1 heure de recuit on distingue quelques grains qui ne sont pas nets. Un recuit de 2 heures donne une légère différence laissant supposer un grossissement des grains. Pour 3 heures de recuit, la démarcation des grains est plus visible. Pour 4 heures de recuit, pas de changement visible par rapport aux éprouvettes de 3 heures de recuit. Après 5 heures de recuit, on constate que la microstructure de l'éprouvette a complètement

changée. Pour un recuit de 8 heures, la taille des grains est similaire à celle des éprouvettes ayant subies 5 heures de recuit.

## V. Essai de torsion

Les essais de torsion ont été réalisés sur une machine destinée aux travaux pratiques pédagogiques. Les essais sont effectués sur des éprouvettes en alliage d'aluminium AA 1350 ayant subi un recuit de 8 heures à 320°C.

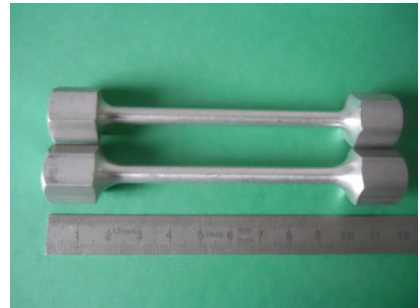


Fig. 10 Eprouvette de torsion.

Le diagramme de traction classique donne un intervalle de déformation plastique assez court puisque la rupture de l'éprouvette intervient très rapidement après la limite d'élasticité. Dans ce travail, nous avons effectué un essai de torsion pour lequel nous avons une zone d'écoulement plus importante. Les éprouvettes en alliage d'aluminium AA 1350, de longueur 115 mm et de diamètre  $\varnothing 6$  mm, ont subi un recuit de recristallisation préalable de 8 heures à 320°C. La courbe contrainte-déformation a été relevée jusqu'à 160%, voir figure 11.

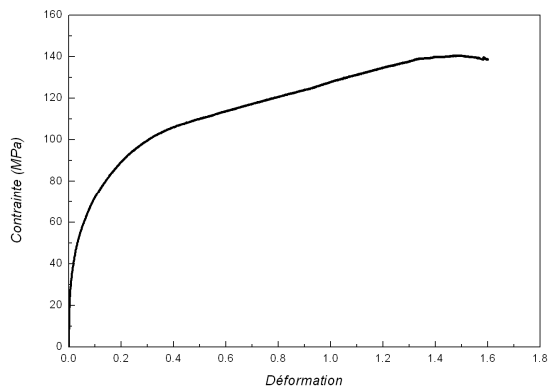


Fig. 11 Courbe contrainte-Déformation.

## VI. Conclusions

Des essais de torsion sur des éprouvettes en alliage d'aluminium AA 1350 ont été effectués pour caractériser le matériau dans le domaine plastique et des essais micrographiques et micro dureté ont été effectués sur des éprouvettes ayant subi un recuit afin d'avoir une zone de plasticité plus importante pour introduire cette caractéristique dans le programme des lois de comportement pour l'insérer dans les logiciels MEF (Abaqus, Ansys,...) pour simuler par exemple des essais de mise en forme d'une tôle en grande déformation plastique.

## References

- [1] R. Haghayeghi, E.J. Zoqui, H.J. Choi, H. Bahai. An investigation on the effect of intensive shearing on the grain refinement of A5754 aluminium alloy, *Journal of Alloys and compounds* 481 (2009) 358-364.
- [2] W. WeronÅski, A. Gontarz, Zb. Pater. The reasons for structural defects arising in forgings of aluminium alloys analysed using the finite element method, *Journal of Materials Processing Technology* 92-93 (1999)50-53.
- [3] Y.H. Kim, T.K. Ryou, H.J. Choi, B.B. Hwang. An analysis of the forging processes for 6061 aluminum-alloy wheels, *Journal of Materials Processing Technology* 123 (2002) 270-276.
- [4] D. Karagiozova, R. Mines. Impact of aircraft rubber tyre fragments on aluminium alloy plates: II-numerical simulation using LS-DYNA, *International Journal of Impact Engineering* 34 (2007) 647-667.
- [5] D. Varas, R. Zaera, J. López-Puente, Numerical modelling of the hydrodynamic ram phenomenon, *International Journal of Impact Engineering* 36 (2009) 363-374.
- [6] A. Rusinek, R. Zaera, P. Forquin, JR. Klepaczko, Effect of plastic deformation and boundary conditions combined with elastic wave propagation on the collapse site of a crash box, *Thin-Walled Structures* 46 (2008) 1143-1163.
- [7] Z. Kazanci, K. Bathe, Crushing and crashing of tubes with implicit time integration, *International Journal of Impact Engineering* 42 (2012) 80-88.
- [8] Z. Zong, Y. Zhao, H. Li, A numerical study of whole ship structural damage resulting from close-in underwater explosion shock. *Marine Structures* 31 (2013) 24-43.
- [9] S. Ehlers. The influence of the material relation on the accuracy of collision simulations, *Marine Structures* 23 (2010) 462-474.
- [10] W. Hui, L. Ying-bing, P. Friedman, C. Ming-he, G. lin. Warm forming behavior of high strength aluminum alloy AA7075, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 22 (2012) 1-7.
- [11] Q. Zhang, M. Arentoft, S. Bruschi, L. Dubar, E. Felder, Measurement of friction in a cold extrusion operation: Study by numerical simulation of four friction tests, *Int J Mater Form* 1 (2008) 1267-1270.
- [12] A.M.Habraken, C. Bouffieux, M. Carton and J.L. Beckers, Study of a 2024 aluminium rod produced by rotary forging, *Journal of Materials Processing Technology* 184 (2007) 19-26.