

Effet du traitement thermique sur différents propriétés de l'alliage d'aluminium AGS tréfilé inustrillement

M. ZIDANI,¹ T. DJIMAOU¹, M.D. HADID

1Laboratoire de Génie Energétique et Matériaux (LGEM), Université de Biskra (Algérie)

Corresponding author 1 : zidani.sabih@gmail.com

Résumé

Dans le présent travail, on a étudié l'influence d'un traitement thermique à basse température sur l'évolution de la microstructure et quelques propriétés mécaniques et électriques de l'alliage d'aluminium de nuance 6101 utilisé dans l'industrie des câbles électrique. Pour cela, les fils, obtenus par tréfilage à froid, subissent un traitement à température de 170°C, pendant différents temps de maintien (10 minutes, 4 heures, et 20 heures), ensuite les différents échantillons seront caractérisés avant et après traitement afin de suivre l'évolution de la microstructure et les propriétés mécaniques et électriques de cet alliage. Une variété des techniques expérimentales de mesure et de caractérisation nous ont permis de mener à bien ce travail. Il s'agit de la microscopie optique, les mesures de la microdureté et la mesure de la résistivité électrique.

Keywords : tréfilage; AGS; revenu; propriétés

1. INTRODUCTION

Les principaux alliages d'aluminium sont fabriqués depuis 1886 à partir des bauxites et de la cryolithe, Les alliages à base d'aluminium ont été l'objet de plusieurs travaux de recherches scientifiques, ces alliages sont les plus utilisés justes après les fontes et les aciers. Leurs excellentes propriétés mécaniques et électriques ont permis leur utilisation dans divers secteurs d'activités telle que l'industrie aéronautique, automobile ou le transport électrique [1].

Les propriétés mécaniques et électriques de ces alliages résultent par La traitements thermique après la déformation jouent un rôle très important dans l'amélioration de ses propriétés.

Dans ce travail de recherche nous nous intéressons aux alliages Al-Mg-Si (série 6000), qui possèdent des propriétés mécaniques et électriques intéressantes. Ces alliages sont utilisés par l'entreprise nationale de câblerie électrique de Biskra (ENICAB).

L'objectif de notre travail de recherche est l'étude de l'effet de traitement thermique (revenu à basse température) sur l'évolution des propriétés mécaniques et électriques de fil d'aluminium de type Al-Mg-Si tréfilés à froid .

2. CARACTERISATION MICROSTRUCTURALE

2.1. Etat initial et tréfilé

La microstructure à l'état initial (fil machine) est présentée sur la figure 1-a. Cette microstructure montre l'existence de certaines phases à l'intérieur des grains. Cette structure est assez régulière, ce qui nous amène à dire que les cristallites peuvent être sensiblement isotropes. Et comme prévue par la littérature [2][3], les fils tréfilés montre une microstructure de grains allongés suivant l'axe du tréfilage, et selon que le taux de déformation augmente, le fil acquiert une microstructure texturée fibreuse (figure 1-b).

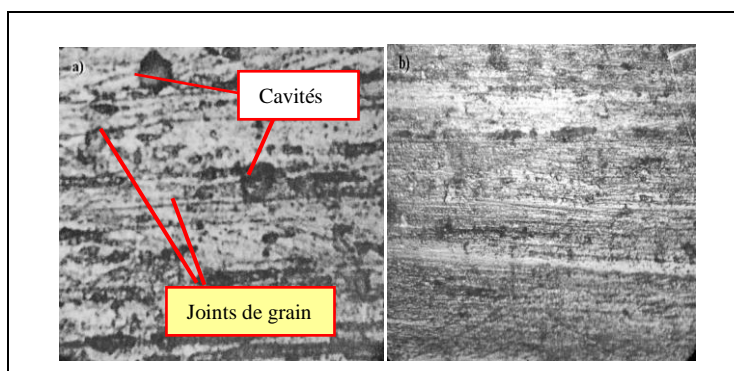


Figure 1. Microstructure par MO de : a) fil machine et b) fil tréfilé $\epsilon_3=86.81\%$

Une cavité située au joint de grain, que ce soit nucléée ou préexistante, peut se développer au cours de la déformation par des processus de diffusion et / ou déformation plastique de la matrice environnante. Les relations ont été développées, ainsi elles décrivent le changement du rayon de la cavité et le changement de volume de la cavité avec la souche, pour une croissance de différent mécanisme. Ces relations ont été testées expérimentalement par métallographie et des mesures de densité ou, il a été démontré que la diffusion peut être importante dans les premiers stades de la croissance de la cavité [3].

2.2. Etat de revenu

Le suivi de l'évolution de la structure sur les fils d'aluminium tréfilés et revenus est consacré à l'étude de l'effet de taux de déformation, c'est à dire, on a pris trois fils du même alliage étudié et qui sont différemment déformés. Le premier avec un taux de réduction de section de ($\epsilon_1=21.66\%$), le deuxième de déformation moyenne ($\epsilon_2=68,99\%$), et le troisième a subi une forte déformation de ($\epsilon_3=86.81\%$).

La figure 2 présente la microstructure caractérisée par microscope optique de fil machine et fil fortement déformé a 86.81% qui ont subi un revenu à 170°C pendant (10 minutes, 4heures et 20heures). Le revenu de fils fortement déformé provoque la formation des précipités après 10 minutes de maintien. Ces précipités seront nombreux, de tailles plus grandes et ont différentes formes avec le prolongement de maintien [4].

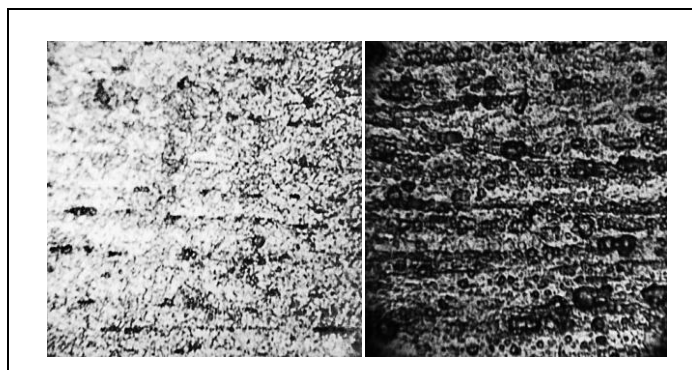


Figure 2. Microstructures par microscope optique après revenu à 170°C pendant 20 heures de :
a) fil machine et b) fil fortement déformé a 86.81%.

3. EVOLUTION DES PROPRIETES DES FILS TREFILE ET REVENUS

Le tréfilage à froid effectué avant le traitement thermique produit un écrouissage élevé du matériau. Le taux de déformation par tréfilage dépasse 86%. Cette déformation à froid produit une microstructure avec une forte densité de dislocations. D'après [3] au cours de l'étirage du fil à travers la filière, c'est la déformation plastique qui est l'origine d'un mouvement de dislocations. Cette déformation provoque une modification générale de ses propriétés mécaniques, car sous l'effet combiné de la force de traction appliquée au fil et de la compression latérale qui apparaît le long des parois de la filière comme une force de réaction [5]. Ce phénomène est appelé durcissement structural par écrouissage, qui induit une augmentation des propriétés mécaniques du fil tréfilé.

3.1. Propriétés mécaniques et électrique

Les résultats des propriétés mécaniques et électriques sont illustrés dans le tableau I. Les mesures de La résistance à la rupture ont montrés une augmentation de cette dernière en fonction de la déformation, causée par le durcissement structural par écrouissage [6]. Sa valeur atteint 362,61 MPa à la déformation de 86.81% après qu'elle était de 235,35 MPa à l'état non déformé (fil machine) (figure 3). L'écrouissage d'un métal ou alliage a pour effet d'augmenter sa dureté et sa résistance mécanique (résistance à la rupture et limite d'élasticité) mais, en contrepartie, de diminuer sa plasticité, c'est-à-dire son allongement à la rupture et son aptitude à la déformation. De même on a constaté une augmentation de la résistivité électrique avec la déformation de, puis une diminution de cette dernière après le revenu (figure 4).

Tableau I. Résultats des propriétés mécaniques et électriques des fils tréfilés et revenu à 170°C.

Etat de fil	Taux de déformation ϵ (%)	Propriétés mécaniques			Propriétés électriques	
		Résistance linéiquem Ω/m	La charge à la rupture Mpa	Allongement A%	Résistivité $\Omega mm^2/m$	Conductivité $m/\Omega mm^2$
Tréfilé	ϵ_3 (86,81%)	3,541	362,61	9	0,03671	30,57
	ϵ_2 (68,99%)	1,609	310.04	6	0,03593	28,61
	ϵ_1 (21,66%)	0,636	304.85	6,5	0,03508	28,5
	0	0,48	235,35	15	0,03362	29,74
Revenue à 10 min	ϵ_3 (86,81%)	3,543	364,84	10,5	0,03597	30,61
	ϵ_2 (68,99%)	1,612	304,91	4,5	0,0351	28,6
	ϵ_1 (21,66%)	0,637	278,84	1	0,0348	28,5
	0	0,483	238,94	14	0,0338	29,58
Revenue à 04 heures	ϵ_3 (86,81%)	3,54	359,02	4,5	0,0358	30,58
	ϵ_2 (68,99%)	1,602	317,46	7	0,03494	28,74
	ϵ_1 (21,66%)	0,634	304,75	8	0,03497	28,59
	0	0,483	256,39	6	0,03352	29,57

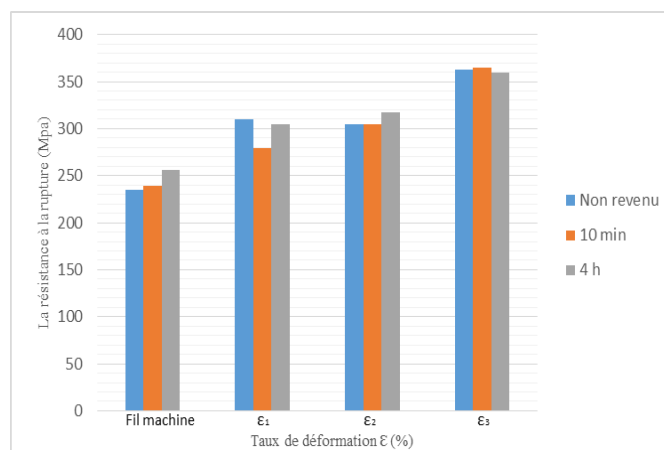


Fig 3. Evolution La résistance à la rupture en fonction du taux de déformation

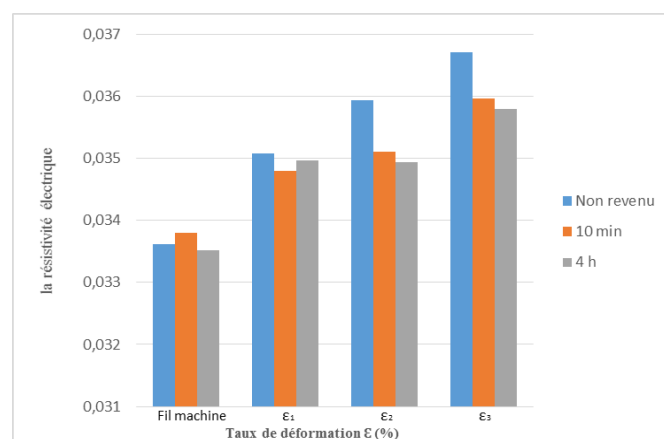


Fig 4. Evolution de la résistivité électrique en fonction de la déformation

Les figures 3-4 montrent que le revenu à 170°C ne provoque pas un changement notable sur l'évolution de la résistance mécanique et la résistivité électrique en fonction de la déformation. Par contre on a constaté une diminution remarquable de l'allongement après 10 minutes de revenu à 170°C, après une déformation de 21.66%, puis une élévation de ce dernier avec le temps de maintien.

La déformation plastique à froid conduit à l'écroutissage du matériau, donc à son durcissement. Cet écroutissage dépend de la composition chimique du matériau, du taux de déformation appliqué et des conditions de déformation

(température, vitesse et mode de déformation) [7]. En effet, la déformation à froid entraîne une importante augmentation de la densité de dislocations (i.e. énergie élastique stockée) dans le matériau. Il s'ensuit une hétérogénéité de la microstructure et de la texture cristallographique à l'intérieur des grains [8].

D'une manière simplifiée en admettant que la conductibilité électrique est due à la circulation des électrons dans le métal, elle se trouve donc en relation directe avec le nombre des « électrons libres » et avec leur liberté de circulation dans la masse du métal. Les électrons sont ralentis par leurs chocs avec les atomes et l'on conçoit que la résistivité électrique soit affectée par tout ce qui détruit la « continuité » de la matière, ceci à toutes les échelles : atomique, microscopique ou macroscopique. Dans notre cas, l'alliage a subi une forte déformation à froid, alors il est affecté par l'effet de l'écrouissage, qui perturbe profondément l'ordre du réseau cristallin et influe sur la résistivité électrique ce qui explique son augmentation progressive après chaque passe [9].

4. CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif la compréhension de l'évolution de la microstructure de des propriétés mécaniques et électriques lors de la mise en forme par tréfilage à froid du fil d'aluminium tréfilé destiné à la câblerie électrique et après un traitement de revenu à basse température.

L'étude des fils d'alliage d'aluminium tréfilés et revenus, nous a permis de déduire les conclusions suivantes:

La microstructure à l'état initial (fil machine) montre l'existence de certaines phases à l'intérieur des grains. Cette structure est assez régulière, ce qui nous amène à dire que les cristallites peuvent être sensiblement isotropes.

Le tréfilage des fils d'aluminium provoque une augmentation de la microdureté qui produit un écrouissage élevé du matériau accompagné d'un développement d'une texture fibreuse.

Une diminution de la microdureté pour l'ensemble de fils tréfilé par rapport à l'état initial après 10 minutes de maintien par contre une augmentation de cette dernière avec le prolongement de maintien notamment pour le fil déformé de 21.66% après 4 heures de revenu

Une augmentation de la résistance mécanique avec le taux de réduction par tréfilage, en revanche l'allongement chute en fonction de ce dernier. De même on a constaté une augmentation de la résistivité électrique avec l'augmentation de la déformation.

Le revenu à 170°C provoque un changement faible sur l'évolution de la résistance mécanique et la résistivité électrique en fonction de la déformation. Par contre on a constaté une diminution remarquable de l'allongement après 4 heures de revenu à 170°C

REFERENCES

- [1] Ghania BENCHABANE, Les mécanismes de recristallisation et de croissance des grains dans les métaux et alliages métalliques légers, thèse de doctorat, Université Mohamed Khider Biskra ,2009
- [2] Dillamore, I.L. and Roberts, W.T. (1965) In: *Metalurgical Reviews*, **Vol. 10**, pp.22.
- [3] Hadid, M.D., Evolution de la microstructure et des propriétés mécaniques au tréfilage des alliages d'aluminium, mémoire de magistère , école national polytechnique,2012
- [4] Shin, H.J., Joeng, H.T. and Lee, D.N. (2000) *Mater Sci, Eng.*, **Vol. A279**, pp. 244.
- [5] Jakani, S. (2004). Thèse de doctorat, *Effet des impuretés sur les mécanismes de recristallisation du cuivre tréfilé*, Université Paris XI, France.
- [6] Olen, J.L. (1962). *Electron Transport in métaux*, Wiley Interscience, New York.
- [7] Zidani, M., Messaoudi, S., Baudin, T., Derfouf, C., Boulagroun, A. and Mathon, M.H. (2013). In: *Acta Physica Polonica*, **Vol.123**, pp.470-472, Study of the relation between microstructure and properties (mechanical/electrical) of copper wire drawing and annealed.
- [8] Zidani, M., Hadid, M.D., Messaoudi, S., Dendouga, F., Bessais, L., Baira, F., Bayarassou, M., Helbert, A.L., Mathon, M.H. and Baudin, T. (accepted 2014) In: *Thomson Reuters*, The drawing process of the wires of copper and aluminium; Evolution of the microstructure and (mechanical/electrical) properties.
- [9] Mc. Hargue, C.J., Jetter, L.K. et Ogle, J.C. (1995) *Transactions of the Metallurgical, Society of A.I.M.E*, **Vol. 215**, pp831.