

# Effet du Taux D formation et la Température de Recuit sur la Cinétique de Recristallisation des Fils de Cuivre Tr fil s Froid

Mosbah Zidani<sup>1</sup>, Salim Messaoudi<sup>1</sup>, Thierry Baudin<sup>2,3</sup>, Chemesddine Derfouf<sup>1</sup>  
et Marie.Hélène. Mathon<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Département de Génie-Mécanique, Université de Biskra - B.P: 145 Biskra 07000 Algérie

<sup>2</sup> CNRS, UMR8182, ICMMO, Laboratoire de Physico-Chimie de l'Etat Solide,  
Orsay, F-91405

<sup>3</sup> Univ Paris-Sud, Orsay, F-91405.

<sup>4</sup>Laboratoire Léon Brillouin, CEA(DSM-DRECAM)-CNRS, CEA Saclay,  
91191 Gif sur Yvette, France s-Sud, Orsay, F-91405.

**Résumé** - L'industrie de fabrication du fil a un grand intérêt économique en Algérie. Ceci se justifie et concrétise par l'installation de deux grandes entreprises de tréfilage à travers le territoire national. L'une, à Biskra, spécialisée dans la fabrication des fils des différentes sections en aluminium et en cuivre, destinés à la fabrication des fils électriques ; l'autre, à El-Eulma (Tréfilage-Setif), produit des fils d'acier pour différentes utilisations industrielles. Dans notre travail on a opté pour l'étude de tréfilage du fil de cuivre destiné au câblage électrique. Dans ce travail on a étudié l'évolution de la microstructure et les propriétés mécaniques des fils tréfilés et recuits à 160°C, ainsi que l'influence combinée du taux de déformation par tréfilage à froid et de la température de recuit sur la cinétique de recristallisation.

**Keywords**-fil de cuivre; déformation par tréfilage; recuit; recristallisation.

## I. INTRODUCTION

Le tréfilage consiste à réduire la section d'un fil métallique par passage à travers une ou plusieurs filières, sous l'effet d'une force de traction (tirage). Il est généralement suivi d'un recuit de recristallisation. Les modifications structurales entraînées par la déformation plastique à froid modifient les propriétés physiques et mécaniques des métaux. Ce travail est consacré à l'étude de l'effet de la déformation à froid et du recuit sur la microstructure et les propriétés mécaniques de fils de cuivre.

## II. MATERIAU ETUDIE ET METHODES DE CARACTERISATION

Le matériau étudié est un fil de cuivre tréfilé à différents taux de réduction ( $\epsilon_1 = 47,97\%$ ,  $\epsilon_2 = 71,64\%$  et  $\epsilon_3 = 91,66\%$ ). Ce produit est obtenu à partir d'un fil machine ETP-1 (Electrolytic Tough Pitch) de diamètre initial 8 mm. Tous ces fils ont été fournis par l'entreprise ENICAB Biskra (Algérie). Les méthodes de caractérisation utilisées dans la présente étude sont : la microscopie optique, la microdureté et l'essai de traction.

## III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### A. Etude de l'état tréfilé

Les microstructures (Fig.1) du fil machine montrent une forme équiaxe des grains. En revanche, dans le plan longitudinal des fils tréfilés, on observe une microstructure de grains allongés suivant l'axe du tréfilage. Cet allongement augmente avec le taux de déformation et conduit à une microstructure très fibreuse pour les plus forts taux de déformation.



**Figure 1:** Microstructures du fil machine et fils tréfilés ( $\epsilon_3 = 91,66\%$ )

Des mesures de microdureté (Fig.2) montrent une augmentation de la dureté des fils tr fil s avec le taux de déformation. Cette augmentation est très forte au premier stade de la déformation puis tend à se stabiliser. Ce type de résultat a déjà été rencontré sur des fils d'acier tr fil s [1-4]. Les résultats des essais de traction, illustrés par la figure 5, montrent une augmentation des propriétés de résistance ( $R_{p0,2}$ )

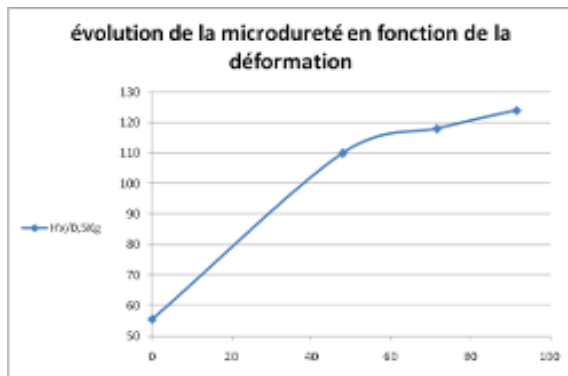


Figure 2 : Evolution de la valeur moyenne de la microdureté en fonction du taux de déformation.

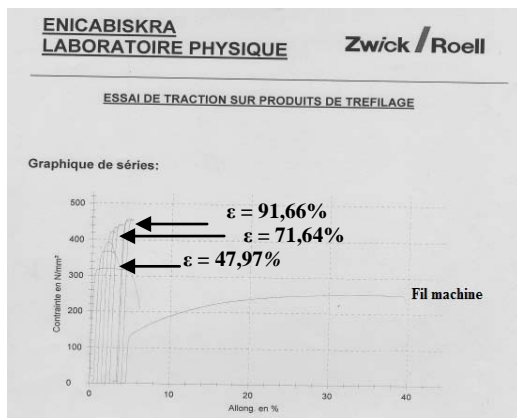


Figure 3. Graphique de la série des essais de traction après avant recuit.

### B. Etude de l'état recuit

Le recuit à 160 C permet de déclencher le mécanisme de recristallisation ce qui conduit à l'élimination partielle ou totale de la microstructure croisée des grains déformés (Fig.3). Pour les recuits prolongés au-delà de 300 minutes, on a remarqué un léger grossissement des grains par rapport au fil machine [5].

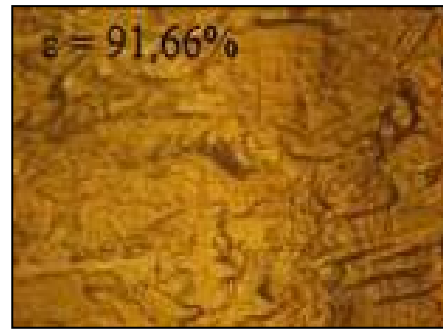


Figure 3. Microstructure du fil tr fil s ( $\epsilon_3 = 91,66\%$ ) de 91,66% et recuit 300 min.

### I . ESTIMATION DE LA FRACTION RECRISTALLISEE

La filiation de la microdureté montre un adoucissement de la microstructure des fils tr fil s et recuits à 160 C, cette diminution est plus importante pour le fil faiblement déformé.

Par ailleurs, l'estimation de la fraction recristallisée (Fig.4) met en évidence les différences cinétiques de recristallisation entre les trois taux de déformation [6-7]. On observe une augmentation de la vitesse de recristallisation avec le taux de déformation. Par exemple, après 9 minutes de maintien, la fraction recristallisée est la même et d'environ 14% pour les fils fortement et faiblement déformés. Mais au-delà de cet instant, la vitesse de recristallisation du fil fortement déformé devient plus importante que celle des fils de moindre déformation. Cependant, pour le temps de maintien inférieur à 120 minutes, on a pu formuler une interprétation adéquate la différence de vitesse de recristallisation qui existe entre le fil déformé 47,97% et le fil déformé 71,64%.

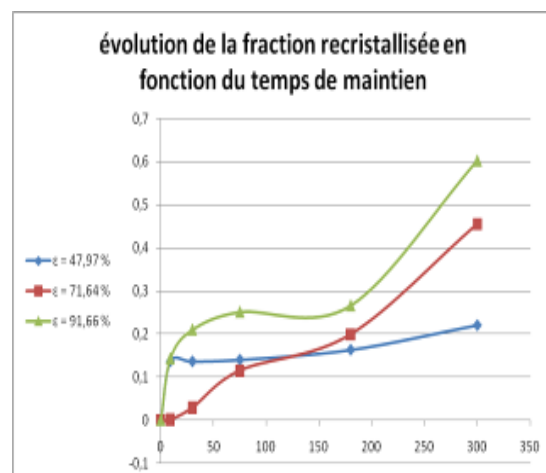


Figure 4: Evolution de la fraction recristallisée en fonction du temps de maintien (en min).

## ESSAI DE TRACTION

Les résultats des essais de traction (Tab.1 et Fig.5) des fils déformés et recuits montrent clairement un retour des propriétés mécaniques vers l'état ductile des fils. Ce retour est important pour les fils fortement tréfilés. Ce résultat inattendu, certainement du à la cinétique de recristallisation demandée, a été observé dans le cas de la rupture, via la diminution de l'allongement à la rupture.

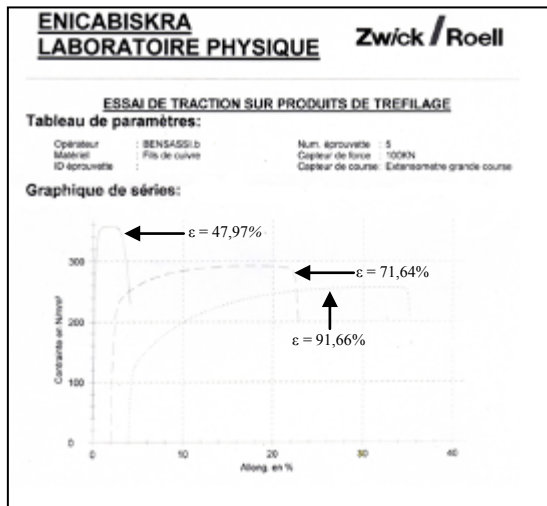


Figure 5. Graphique de la série des essais de traction après recuit.

$\epsilon$ (%)	Avant recuit		Après recuit	
	A(%)	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	A(%)	$R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )
47,97	2,9	368	4,1	357
71,64	1,8	423	20,8	293
91,66	1,5	451	31,2	257

Tableau 1. Résultats des essais de traction avant et après recuit (Laboratoire de physique ENICA-Biskra)

## CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déduire les conclusions suivantes :

- 1-Le tréfilage provoque un développement d'une microstructure fibreuse accompagnée d'une modification de certaines propriétés mécaniques comme l'augmentation de la dureté et de la résistance mécanique à la rupture et la diminution de l'allongement à la rupture.
- 2-Un recuit à 160 °C conduit à un phénomène de recristallisation juste après les premières minutes de maintien en température des fils fortement déformés.
- 3-La recristallisation active par la déformation conduit à un retour progressif des propriétés mécaniques vers celles d'un état proche de l'état initial.

## REFERENCES

- [1] S.He, A. an Bael, S.Y.Li, P. an Houtte, F.Mei, A.Sarban: Mater.Sci. and Engineering A, vol.346, pp.101-107, 2003
- [2] M.Zidani, Z.Boumerzoug, T. Baudin, R. Penelle, Mater. Sci. Forum,vol. 514-516, pp. 554-558, 2006.
- [3] M.Zidani, Z.Boumerzoug, T. Baudin and D. Solas, Mater. Sci. Forum, vol.550, pp.447-452, 2007.
- [4] P.Gangli, J.A. Szpunar and Sugundo, ICOTOM 9, pp.531-536 (1991).
- [5] M. Zidani , S. Messaoudi , T. Baudin , D. Solas and M. H. Mathon Int J Mater Form. vol.3, pp.7-11, 2010
- [6] S. Jakani, Thèse de doctorat, Effet des impuretés sur les mécanismes de recristallisation du cuivre tréfilé, Université Paris XI (2004)
- [7] S. Jakani, T. Baudin, C-H. de Novion and M-H. Mathon, Effect of impurities on the recrystallisation texture in commercially pure copper-ETP wires, Materials Science and Engineering A, vol. 456, pp.261-269, 2007