

EFFET DU TAUX DE DEFORMATION SUR LES PROPRIETES MECANIQUES ET STRUCTURALES LORS DU RECUIT DE RECRISTALLISATION DE L'ALLIAGE Cu-4,6At.%In

THE EFFECT OF THE DEFORMATION RATE ON THE MECHANICS AND STRUCTURAL PROPERTIES DURING RECRYSTALLIZATION OF ALLOY Cu-4,6At.%In

S. Bensaada¹, D. Feliachi²

¹ Laboratoire des Matériaux semi-conducteurs et métalliques (LMSM)

Université de Biskra, B.P 145, Algérie

Tel/Fax : 033 743125, e-mail : bensaada52@yahoo.fr

² Laboratoire de maintenance industrielle, SONATRACH, Biskra

RESUME

Ce travail a pour but de mettre en évidence l'effet du taux de déformation sur l'évolution des propriétés mécaniques et structurales de l'alliage Cu-4,6 at.%In, homogénéisé et trempé ensuite déformé par laminage à froid et recuit à une température de 550°C. La microscopie optique et la microdureté Vickers sont les principales techniques d'analyse utilisées pour le suivi de l'évolution structurale et celle des propriétés mécaniques au cours des différents stades du recuit. Les résultats obtenus confirment d'une part l'influence notable du taux de déformation sur la taille des grains recristallisés et d'autre part conditionnent la formation de nouveaux grains par un taux critique de déformation avoisinant 10%.

MOTS CLES

Alliage Cu-In, recristallisation, grains, affinement, croissance.

ABSTRACT

The aim of this paper is to clarify the effect of the deformation rate on the evolution of the mechanic and structural properties of alloy Cu-4,6 at.%In homogenized, quenched, then deformed by cold lamination and cooked at a temperature of 550°C. The optical microscopy and microhardness Vickers are the striking methods of analysis used for the follow up of the structural evolution and those of mechanic properties during the different stages of cooking. The obtained results confirm from one side the notable influence of the deformation rate on the size of the recrystallised grains and from another side it will condition make ready the formation of grains again by a critical rate of deformation around 10%.

KEY WORDS

Cu-In alloy ; recrystallization ; grains ; refining ; growth

1 INTRODUCTION

La déformation des métaux à température ambiante implique un écrouissage, lequel est considéré parfois comme le seul moyen d'élever la limite élastique et la dureté du matériau. Mais lorsqu'on dépasse un certain taux de déformation (taux critique), il peut présenter des inconvénients en causant la fragilité au métal [1]. Le taux critique d'écrouissage dépend essentiellement du matériau et des conditions d'emploi.

Une structure écrouie est caractérisée par des perturbations structurales ne se trouvant pas généralement en équilibre thermodynamique [2]. Pratiquement une telle structure ne peut pas être adaptée à un usage industriel quelconque, car les propriétés d'emploi des métaux et alliages sont déterminés en très grande partie par la morphologie et le degré de dispersion des phases qui les constitue [3]. Un apport d'énergie est nécessaire pour restaurer les propriétés et la structure que le métal possédait avant écrouissage.

La taille des grains obtenus après recuit de recristallisation, qui ne peut se produire qu'à partir d'un certain taux critique de déformation [4], influe beaucoup sur les propriétés des alliages. Il faut éviter lors du formage à faible taux de déformation de procéder à un recuit de recristallisation, car on cherche toujours à obtenir une structure à grains fins, qui est plus résiliente est présente une rupture plus ductile qu'une structure à gros grains, qui n'est pas favorable pour des sollicitations mécaniques [5]. Le choix de la température de recristallisation est fonction d'une part du taux d'écroutissage et d'autre part de la durée de recuit. Pour que les grains restent fins il faut choisir des températures de recuit non élevées et des durées de maintien courtes, car les températures élevées conduisent parfois au lieu d'une croissance normale des grains, la soudaine d'un petit nombre de grains qui envahissent très rapidement toute la masse recristallisée [6]. Le nombre de sites favorables à la germination est influencé principalement par le taux d'écroutissage. Cependant pour des taux d'écroutissage faibles il a été observé une germination avec distorsion des joints de grains [7] et pour des taux d'écroutissage élevés, les limites à grands angles produites par les bandes de cisaillement dans les grains initiaux, agissent comme lieu de germination [8].

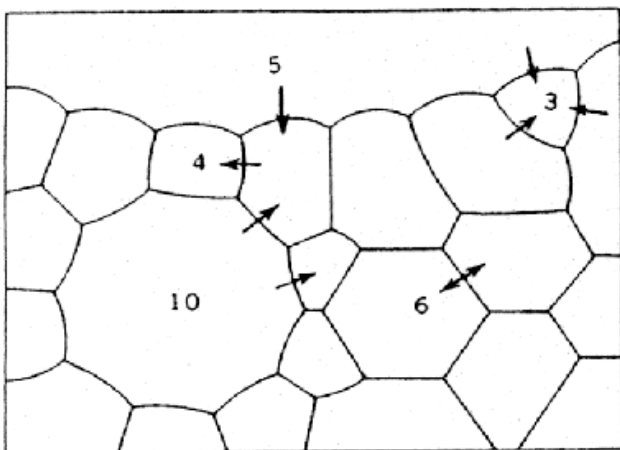


Figure 1 : Structure schématique avec un angle de 120° dans des points triples, les courbures des interfaces ainsi que leur mouvement s'effectue selon le nombre des surfaces limites [9]

Durant le processus de croissance des grains, le diamètre moyen des grains augmente simultanément avec la diminution du nombre de grains. Quels grains croissent et quels grains disparaissent, cela est expliqué approximativement à partir du nombre de leurs interfaces [9], dont leur énergie interfaciale est supposée égale. Les arêtes des grains dont 3 se touchent respectivement, doivent former obligatoirement un angle de 120° . La courbure des interfaces entre les arêtes dépend du nombre d'interfaces (figure.1), seulement pour le cas de 6 interfaces, les limites des grains sont rectilignes, pour un nombre d'interfaces inférieur, la courbure est convexe, donc voûter à l'extérieur et enfin pour un nombre d'interfaces supérieur, la courbure est concave. Une surface courbée à toujours tendance de se

raccourcir en une surface plane. Les surfaces convexes croissent vers le centre des grains et les surfaces concaves à partir du centre. Une morphologie de croissance anormale pour certains grains est néfaste pour un matériau destiné à la mise en forme est conduit à une fragilisation.

2 PROCEDURES EXPERIMENTALES

Le matériau en question est l'alliage Cu-4,6at.%In, élaboré par fusion sous atmosphère inerte (argon) à partir du cuivre (5N5Cu) et de l'Indium (5N5In) très purs, sous forme de lingots cylindriques de 10 mm de diamètre et 100 mm de longueur. Les échantillons destinés aux travaux expérimentaux sont homogénéisés pendant 23 jours à $T=600^\circ\text{C}$ et trempés dans l'eau, ensuite déformé par laminage à froid en une seule passe, dont les taux d'écroutissage sont indiqués sur le tableau 1.

Tableau 1 : Etat des échantillons utilisés dans l'expérimentation

Echantillons	Taux de déformation ϵ (%)	HV _{0,1}
1	10	82,4
2	20	90,7
3	30	97,3
4	40	105,6
5	50	127,4
6	70	145,8

La microdureté HV_{0,1} de notre alliage à l'état trempé et non déformé est de 53HV.

La température de recuit de recristallisation choisie est proche de celle de l'homogénéisation et elle est de l'ordre de 550°C . Vu l'atmosphère oxydante qui règne dans le four, un ensemble de recuit sous vide a été conçu à cet égard pour éviter l'oxydation des échantillons. La microscopie optique et la microdureté Vickers sont les principales techniques d'analyse utilisées pour le suivi de l'évolution structurale et celle de la microdureté. Pour l'examen métallographique on a utilisé une solution d'acide nitrique concentré à 40% avec des durées d'attaque de 10 à 20 secondes.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus montrent d'une part que le taux de déformation à une influence notable sur la taille des grains obtenus après recuit de recristallisation et d'autre part la formation de nouveaux grains est conditionnée par un taux critique de déformation avoisinant 10%. Les figures 2a, 2b1,2b2 et 2b3 montrent respectivement l'état structural initial des échantillons trempé, écroui de 20%, de 40% et de 70%. Aux premiers stades du recuit, la germination et l'affinement du grain sont plus prononcé pour les taux de déformation élevés et elles sont accompagnées d'une chute de la microdureté HV (figures 3a, 3b et 3c). Après 16 heures de recuit les grains obtenus sont de taille hétérogène et relativement plus fins pour le cas des échantillons à taux de déformation élevé figures 2c1, 2c2 et 2c3. Cependant le

prolongement de la durée de recuit jusqu'à 45 heures a conduit à une croissance du grain pour tous les échantillons, figures 2d1, 2d2 et 2d3 et elle est accompagnée d'une élévation de la microdureté pour les échantillons à taux de déformation inférieur à 50%.

Le degré d'affinement du grain figures 4a, 4b et 4c part d'une valeur nulle, croit et passe par un maximum, ensuite diminue lors de la croissance des grains, il est relativement élevé pour les taux de déformation supérieur à 50%.

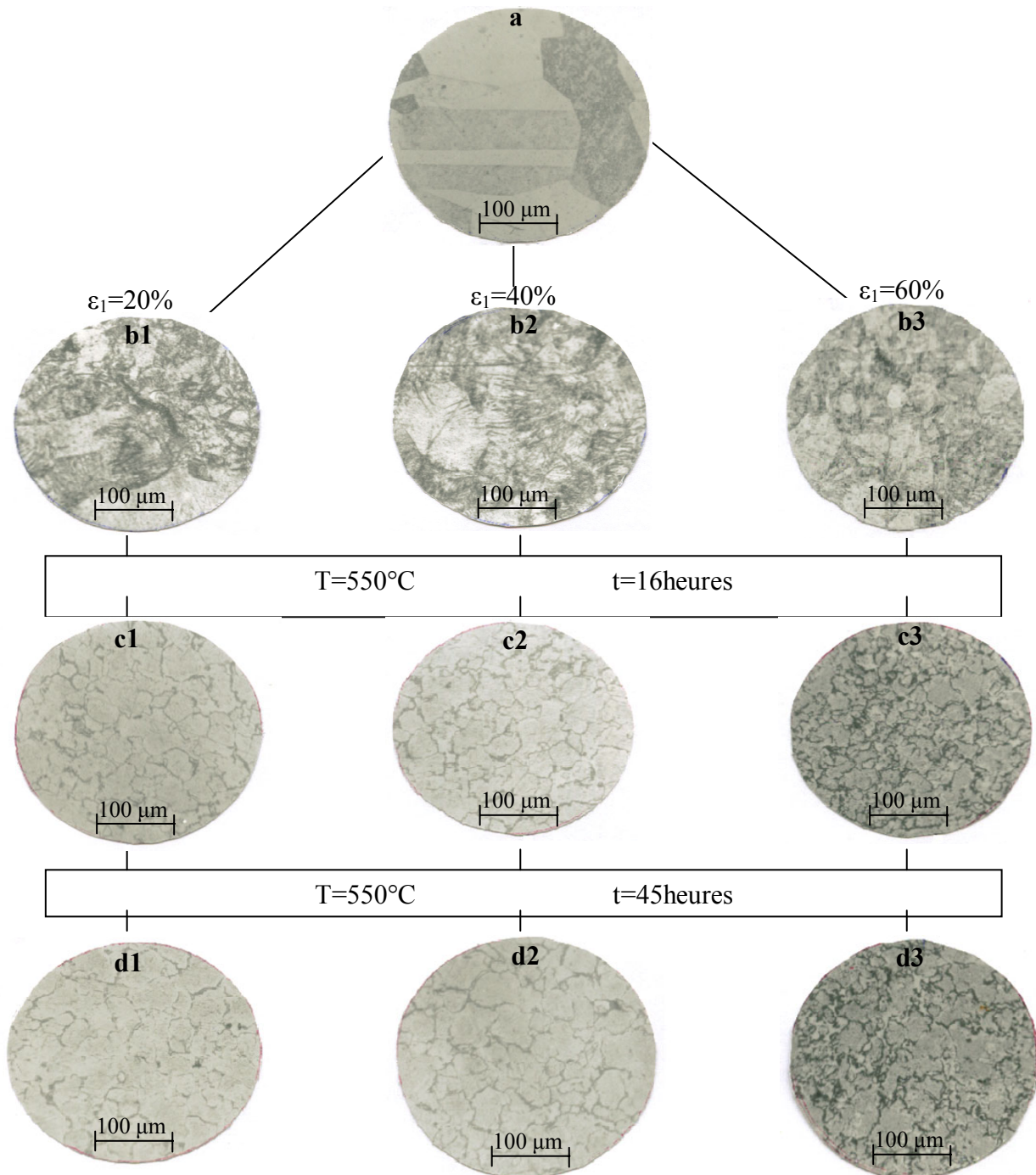


Figure 2 : Structure de l'alliage Cu-4,6At.-%In, homogénéisé pendant 23 jours à $T=600^{\circ}\text{C}$, trempé dans l'eau, ensuite écroui.
 a- état trempé, b₁- écroui ($\epsilon_1=20\%$), b₂- écroui ($\epsilon_2=40\%$), b₃- écroui ($\epsilon_3=70\%$)
 c₁, c₂, et c₃.recuit à $T=550^{\circ}\text{C}$ pendant 16 heures
 d₁, d₂ et d₃. recuit à $T=550^{\circ}\text{C}$ pendant 45 heures

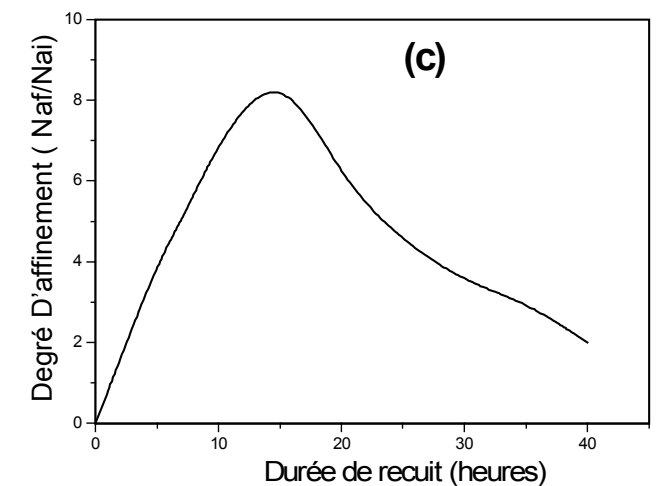
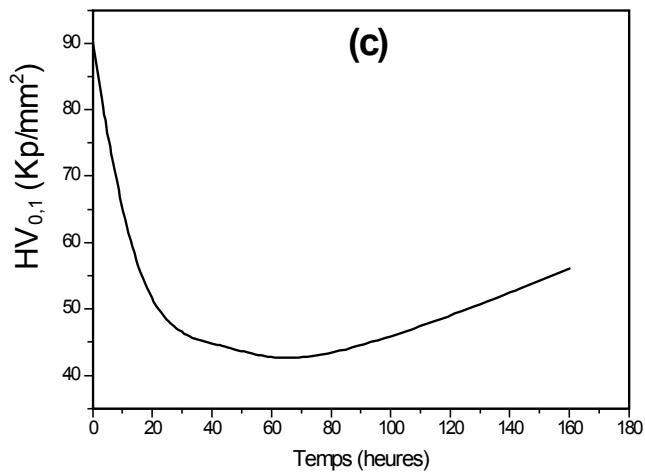
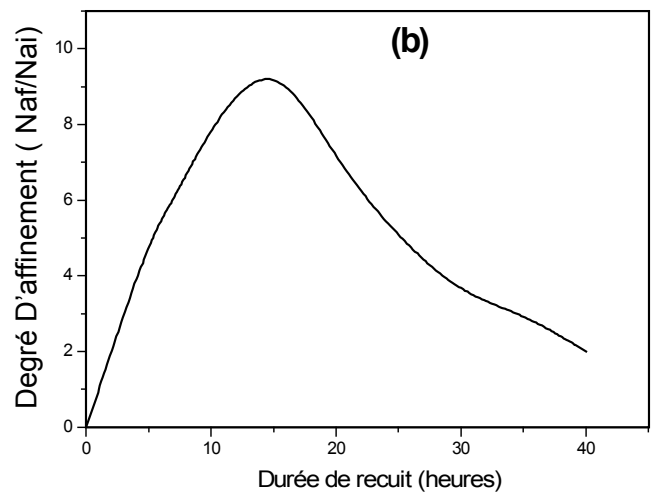
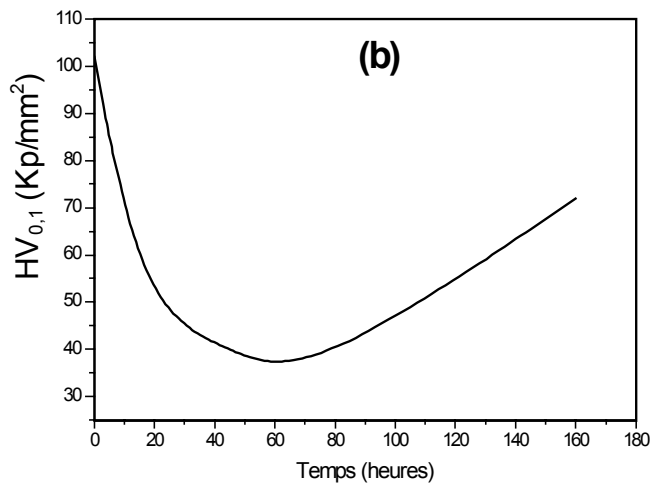
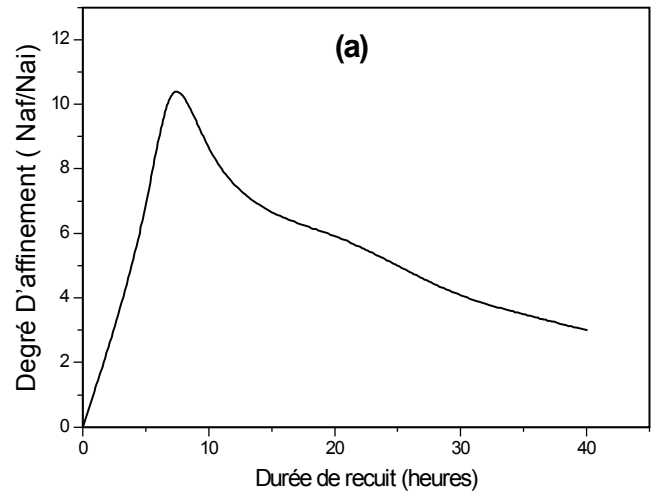
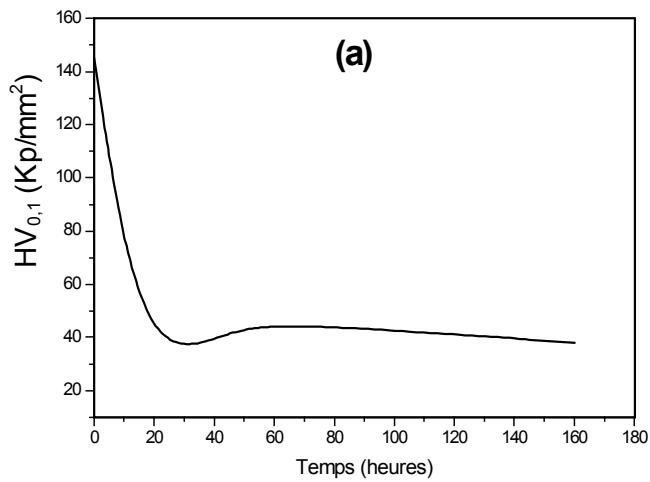


Figure 3 : Evolution de la microdureté HV temps en fonction de la durée de recuit de recristallisation

- (a): échantillon 1 $\epsilon_1 = 70\%$
- (b): échantillon 2 $\epsilon_2 = 40\%$
- (c) : échantillon 3 $\epsilon_3 = 20\%$.

Figure 4 : Evolution du degré d'affinement du grain en fonction de la durée du recuit de recristallisation.

- (a) échantillon 1 $\epsilon_1 = 70\%$
- (b) échantillon 2 $\epsilon_2 = 50\%$,
- (c) échantillon 3 $\epsilon_3 = 20\%$.

4 CONCLUSION

Les résultats de cette étude mettent en évidence, d'une part l'influence notable du taux de déformation sur la taille des grains lors du recuit de l'alliage Cu-4,6at.%In, homogénéisé, trempé ensuite écroui, c'est le stade initial qui est le plus sensible à la différence du taux de déformation et d'autre part la recristallisation dans cette alliage est conditionné par un taux critique de déformation avoisinant 10%.

L'état structural des échantillons à taux de déformation supérieur à 50% est caractérisé par des grains relativement fins. La croissance du grain n'a pas évoluée de la même cinétique pour tous les échantillons et elle est accompagnée d'une élévation de la microdureté HV. Les valeurs maximales du degré d'affinement du grain sont obtenues dans le cas des échantillons à taux de déformation supérieur à 50% et enfin aucune compétition entre la germination et la croissance du grain n'a été observée à cette température.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. D.Verhoeven, Fundamentals of physical metallurgy, John Wiley and Sons (1975), p. 48-52.
- [2] V. Novikov, grain growth and control of microstructure and texture in polycrystalline materials, CRC press, Boca Roton, FL.USA, (1977), p.24-29.
- [3] K.E. Hensger, Strukturveränderung beim erwarmten plastisch verformter metalle, MWT, Bergakademie Freiberg, (1977), p.87-95.
- [4] R. Jonck, le tréfilé 39, Stuttgart, (1982), p.47-54
- [5] B. Bredendick, Fertigungstechnick 2, Verlagstechnick, Leipzig, (1966), p.47-54.
- [6] F. Abdellioua, Influence de la déformation plastique sur la dilatation thermique des alliages à base de cuivre, mémoire de magistère, (2002), p.53-59.
- [7] J. Boiley et P.Hirsch, Proc.Royal soc.A267, (1962), p.11.
- [8] R. D.Doherty, in Recrystallization of metals, ed.by L.Himmel, New York. Gordon and Breach, (1963), p.311.
- [9] P.G. Schewmon, Transformations in metals, MC.Grow-Hill, New York, (1969), p.118.