

"Re-crystallization Process of Compressed Be Parallel to the Axis of Spinning"

MÉTALLOGRAPHIE. — *Sur les processus de recristallisation du béryllium comprimé parallèlement à l'axe de filage.* Note (*) de MM. CLAUDE GASC, JACQUES CHARRIER, SERGE SARRAZIN et JACQUES DE FOUQUET, présentée par M. Georges Chaudron.

La recristallisation du béryllium coulé filé écroui à chaud a été étudiée par mesure de la dureté et micrographie, en fonction des conditions de déformation initiale. Les différents domaines de restauration, recristallisation et grossissement du grain ont été précisés entre 650 et 800°C en vue de définir les meilleures conditions pour obtenir une structure stable et homogène à grains fins à partir de l'état brut de filage.

La recristallisation de billettes de béryllium commercial coulé filé de pureté 99 % a été étudiée par recuits isothermes après compression parallèle à la direction de filage. Dans tous les cas, les billettes de 15 mm de

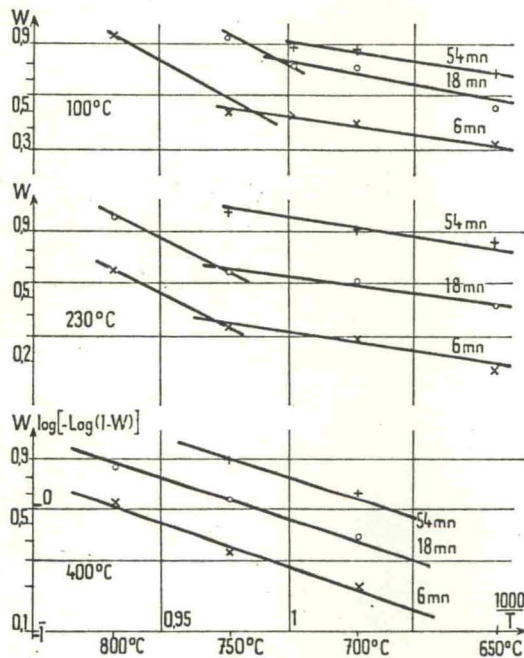


Fig. 1.

Fig. 1. — Fraction recristallisée en fonction de la température.

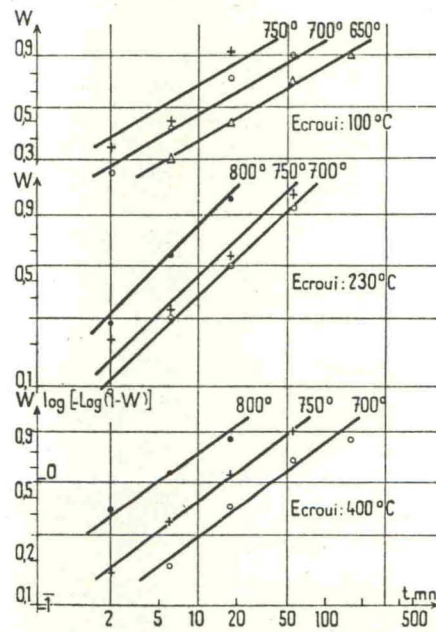


Fig. 2.

Fig. 2. — Fraction recristallisée en fonction du temps.

diamètre ont subi avant déformation un recuit préalable de 2 h à 750°C, ce qui donne un diamètre de grain moyen initial de 75 μ. Trois structures d'écrouissage ont été étudiées [(¹), (²)] :

a. État comprimé à 100°C, donnant une dureté $H_v = 204$ ($\Delta H_v = +80$) pour une déformation totale $\epsilon = 25\%$. Les grains sont presque entièrement maclés, mais leur forme initiale est conservée.

b. État comprimé à 230°C, donnant une dureté $H_v = 168$ ($\Delta H_v = +44$) pour une déformation totale $\varepsilon = 50\%$. Les grains sont fortement aplatis, avec des pliages et très peu de macles.

c. État comprimé à 400°C, donnant une dureté $H_v = 153$ ($\Delta H_v = +30$) pour une déformation totale $\varepsilon = 60\%$. Les grains extrêmement aplatis présentent de très nombreux pliages.

L'étude de la recristallisation a été effectuée en suivant pour chaque condition d'écrouissage l'aspect micrographique et l'évolution de la dureté sous une charge de 500 g, au cours de recuits isothermes de durée croissante à des températures allant de 650 à 800°C.

La fraction de métal recristallisé au temps t peut être caractérisée du point de vue des propriétés mécaniques par le rapport $W = (H_0 - H_t)/(H_0 - H_\infty)$,

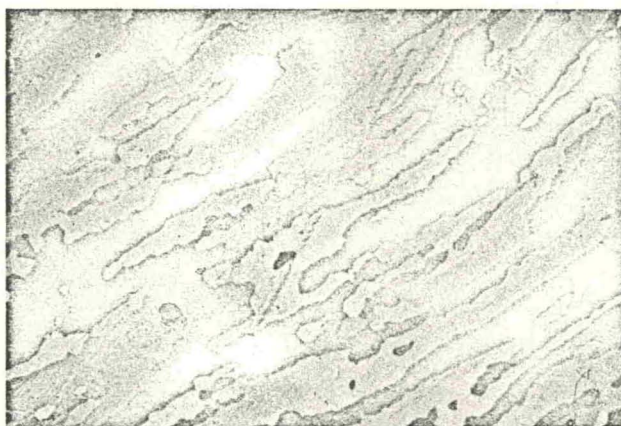


Fig. 3. — Aspect micrographique d'une billette écrouie à 400° et recuite 8 h à 700°. ($G \times 150$.)

où H_t désigne la dureté moyenne au temps t . Les figures 1 et 2 montrent que W suit une loi de la forme :

$$W = 1 - \exp \left[-\alpha t^2 \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right) \right] \quad (3),$$

les valeurs de α et de Q étant fonction de l'écrouissage initial et du mécanisme de recristallisation prédominant.

Le tableau I donne les différentes valeurs de α et de Q obtenues :

Température d'écrouissage.	Température de traitement thermique (°C).	α .	Q .
400.....	650 à 800	0,75	30 000
230.....	650 à 725	0,95	15 000
	725 à 800		45 000
100.....	650 à 725	0,7	15 000
	725 à 800		45 000

Pour le métal écroui à 400°C, la recristallisation s'effectue sous la forme d'une fragmentation progressive des grains aplatis, par réarrangement de la sous-structure de pliage. Les anciens joints constituent des barrières difficiles à franchir pour ces nouveaux grains au début du processus (*fig. 3*), mais par la suite la structure est instable et le grain continue à croître après maintien de 200 h à 800°C.

Après écrouissage à 230°C, on observe toujours au début du traitement thermique l'apparition de petits cristaux, en particulier au voisinage des joints (*fig. 4*). Mais par la suite, deux cas sont à considérer, comme pour l'évolution de la dureté : Au-delà de 725°C, la croissance rapide et homogène des nouveaux grains conduit très vite à une structure équiaxe.

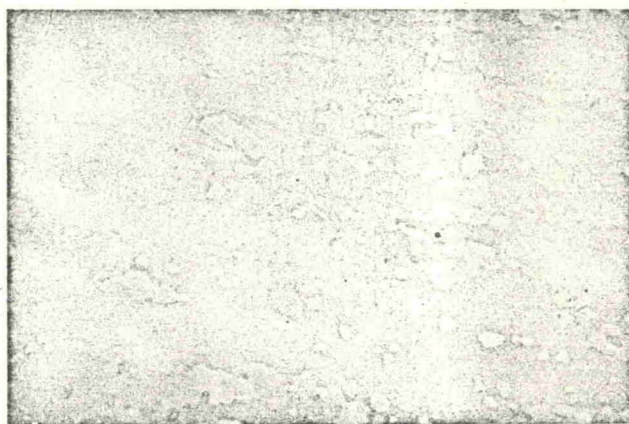


Fig. 4. — Aspect micrographique d'une billette écrouie à 230° et recuite 18 mn à 700°. (G × 150.)

Par contre, en-dessous de 725°C, de très gros grains se développent à partir des régions restaurées pour des temps de maintien en température suffisamment longs (*fig. 5*).

On retrouve après écrouissage à 100°C les deux types de recristallisation précédents de part et d'autre de 725°C. Les nouveaux cristaux apparaissent uniquement au voisinage des joints, dans les régions non macrées. Au-dessous de 725°C, la recristallisation est accompagnée d'un réarrangement des frontières de macles, mais contrairement au cas précédent aucun gros grain n'apparaît.

Dans le cas du métal écroui à 400°, la recristallisation se produit donc essentiellement par réorganisation des pliages quelle que soit la température de recuit. Cette forte tendance du béryllium à former des sous-structures à chaud a déjà été observée dans de nombreux cas par micrographie optique et électronique [(⁴), (⁵), (⁶)]. Les autres mécanismes susceptibles d'intervenir ultérieurement au cours de la croissance ne semblent jouer aucun rôle dans la restauration des propriétés mécaniques.

Par contre, dans le cas du métal écroui à 100 et 230°C, la recristallisation ferait intervenir deux processus simultanés : apparition et développement de nouveaux grains aux dépens d'une matrice écrouie d'une part, restauration de celle-ci d'autre part. Aux températures de recuit élevées, les nouveaux grains se développent très vite, avant que la matrice n'ait eu le temps de se restaurer notablement, et envahissent tout l'échantillon. Aux températures plus basses, leur croissance très lente laisse à la matrice le temps de se restaurer, ce qui explique la croissance exagérée d'anciens grains.

Les deux valeurs de Q obtenues correspondraient donc principalement, l'une (45 000 cal/mole) à la croissance des nouveaux grains, et



Fig. 5. — Aspect micrographique d'une billette écrouie à 230° et recuite 220 h à 700°. ($G \times 150$.)

l'autre (15 000 cal/mole) à la restauration. La valeur intermédiaire de 30 000 cal/mole caractériserait le perfectionnement de la sous-structure.

La valeur du coefficient α , indépendante de la température de recuit, semble caractéristique de la structure d'écrouissage.

En ce qui concerne l'obtention d'une structure homogène et à grains relativement fins, les conditions les plus favorables correspondent à un écrouissage de 25 % à 100° et un recuit de 2 h à 750°.

(*) Séance du 17 janvier 1966.

(¹) C. GASC, *Mem. Sc. Rev. Met.*, 62, n° 7-8, 1965.

(²) C. GASC et J. DE FOUQUET, *Comptes rendus*, 262, série C, 1966, p. 331.

(³) B. CHALMERS, *Progress in Metals Physics*, 3, p. 220-292.

(⁴) R. POINTU, *Thèse*, Paris, 1963.

(⁵) R. DAUMAS et coll. Conférence Internationale sur la Métallurgie du béryllium, Grenoble, 1965.

(⁶) C. GASC et M. BAUDEAU, *J. Nucl. Mat.*, 6, n° 1, 1962.