

## Chapitre 4 – Matériaux sous contrainte

### EXERCICE 4-11

#### a) Indices des plans et des directions de glissement dans l'aluminium

Dans les métaux, le **glissement cristallographique se produit dans les plans de plus grande densité atomique et selon les directions de plus grande densité atomique**. Pour l'aluminium qui est un métal C.F.C., les plans de glissement sont donc les plans de la famille  $\{111\}$  et, dans ces plans, les directions de la famille  $\langle 110 \rangle$  sont les directions de glissement.

$\{111\}$   
 $\langle 110 \rangle$

#### b) Cission critique de glissement $\tau^*$ pour l'aluminium très pur

Pour calculer cette cission critique  $\tau^*$ , il suffit d'appliquer la loi de Schmid (éq. 4.7 du livre « Des matériaux ») :

$$\tau^* = \frac{F}{S_0} \cos \theta \cdot \cos \chi \quad (1)$$

où  $S_0$  est la section droite de l'éprouvette,  $F$  est la force pour laquelle les premiers signes de glissement cristallographique sont apparus,  $\theta$  est l'angle entre la direction de glissement et l'axe de traction, et  $\chi$  est l'angle entre la normale au plan de glissement et l'axe de traction :

$$\tau^* \text{ (Pa)} = \frac{110 \text{ N}}{(5 \times 10^{-6}) \text{ m}^2} \cos 63^\circ \cdot \cos 36^\circ = 8,08 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 0,8 \text{ MPa}$$

$\tau^* = 0,8 \text{ MPa}$

#### c) Limite proportionnelle d'élasticité $R_e$ d'un polycristal d'aluminium très pur

La déformation plastique apparaît pour la contrainte  $R_e$ , appelée limite proportionnelle d'élasticité du polycristal. Ceci correspond à l'apparition du glissement cristallographique dans les grains dont l'orientation, par rapport à l'axe de traction, est telle que la valeur du facteur de Schmid qui leur est associé est la plus faible, c'est-à-dire pour  $\theta = \chi = 45^\circ$  et  $\cos \theta \cdot \cos \chi = 0,5$ .

$$\tau^* = R_e \cos \theta \cdot \cos \chi = 0,5 R_e \quad (2)$$

Donc :  $R_e = 2 \tau^* \quad (3)$

$R_e = 1,6 \text{ MPa}$

#### d) Raisons de l'écart entre $R_e$ et $R_{e,02}$

Les trois raisons qui expliquent pourquoi la limite conventionnelle d'élasticité d'un aluminium polycristallin commercialement pur est plus élevée ( $R_{e,02} = 28 \text{ MPa}$  pour l'alliage 1100 à l'état O) que la limite proportionnelle d'élasticité  $R_e$  calculée ci-dessus sont les suivantes :

1. Comparé à l'aluminium de haute pureté, l'alliage commercial contient des impuretés (principalement Fe et Si). Ces atomes étrangers, en solution solide de substitution dans la matrice d'aluminium, entraînent un **durcissement par solution solide** de celle-ci, donc une cission critique  $\tau^*$ , requise pour mettre en mouvement les dislocations, plus élevée dans une matrice impure que dans une matrice de haute pureté.

2. L'équation (3) ci-dessus ne tient pas compte de l'influence des joints de grains sur la limite d'élasticité, quelle soit proportionnelle ou conventionnelle. Cette influence se manifeste par un **durcissement par affinement des grains** qui se traduit par la loi de Hall-Petch, appliquée par exemple à la limite proportionnelle d'élasticité :

$$R_e = A + kd^{-1/2} \quad (4)$$

Dans l'éq. 4, **d** est le diamètre moyen des grains du polycristal et la constante **A** représente la limite proportionnelle d'élasticité d'un polycristal ayant un diamètre de grain infini (**d** = ∞ , **d**<sup>-1/2</sup> = 0), donc celle d'un monocristal. La constante **A** est égale à **R<sub>e</sub>** déduite du monocristal, soit la valeur **A** = 2 **τ\*** donnée par l'éq. 3. Dans un polycristal ayant des grains de diamètre **d** fini, le terme **kd**<sup>-1/2</sup> de la loi de Hall-Petch est positif et s'ajoute à **A**.

3. Au tableau 11.3, la limite d'élasticité donnée pour l'alliage commercial polycristallin 1100 est la **limite conventionnelle d'élasticité R<sub>e,0.2</sub>**. Or, cette contrainte est celle qui a déjà produit 0,2% de déformation plastique permanente, alors que la **limite proportionnelle d'élasticité R<sub>e</sub>** est la contrainte à laquelle les premiers signes de déformation plastique permanente apparaissent. Donc **R<sub>e</sub> est toujours inférieure à R<sub>e0,2</sub>** (voir fig. 1.10a du livre « Des Matériaux »).