GÉNIE DES MATÉRIAUX

ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Le génie sans frontières

COURS ING1035 - MATÉRIAUX

CONTRÔLE N° 1

du 26 septembre 2003

de 8h45 à 10h20

Q U E S T I O N N A I R E

NOTES :

- Aucune documentation permise.
- Calculatrice non programmable autorisée.
- Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de points accordés à la question, le total est de **25** points.
- **Pour les questions nécessitant des calculs, aucun point ne sera accordé à la bonne réponse si le développement n'est pas écrit.**
- Utilisez les espaces prévus et, si nécessaire, la page opposée pour vos calculs intermédiaires.
- Le questionnaire comprend **4** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
- Le formulaire de réponses comprend **6** pages.
- **Vérifiez le nombre de pages du questionnaire et du formulaire de réponses**.

Exercice n° 1

Après avoir réalisé, à 20 ºC, un essai de traction sur une éprouvette d'aluminium dont la section droite $\mathbf{S_0}$ est égale à 80,00 mm^2 et dont la longueur initiale $\mathbf{L_0}$ est égale à 100,00 mm, on a obtenu les résultats partiels suivants :

$\mathbf{E}$ = 70 GPa $\mathbf{R_m}$ = 90 MPa

Déformation totale juste avant la rupture : $\mathbf{A_t}$ = 28 %

Coefficient de dilatation linéique : α = 23,6x10^{-6} ºC^{-1}

Au cours de l'essai de traction, la limite conventionnelle d'élasticité $\mathbf{R_{e0,2}}$ est atteinte lorsque la force appliquée à l'éprouvette est égale à $\mathbf{F_{e0,2}}$. Sous cette force, l'allongement absolu total de l'éprouvette est égal à 0,25 mm.

a) Calculez la limite conventionnelle d'élasticité $\mathbf{R_{e0,2}}$ (en MPa) de cet aluminium et la force $\mathbf{F_{e0,2}}$ (en kN) qu'il a fallu appliquer à l'éprouvette pour atteindre $\mathbf{R_{e0,2}}$. (3 pts)

b) À quelle température $\mathbf{T}$ (en ºC) doit-on porter l'aluminium non déformé pour qu'il subisse une dilatation linéique relative égale à la déformation élastique ε_e obtenue à sa limite conventionnelle d'élasticité ? (2 pts)

c) Calculez l'énergie élastique $\mathbf{W_{em}}$ (en (kJ/m^3) emmagasinée dans l'aluminium lorsque sa résistance à la traction $\mathbf{R_m}$ est atteinte? (1 pt)

d) Si l'on suppose que la rupture de cet aluminium se produit lorsque sa résistance à la traction $\mathbf{R_m}$ est atteinte (pas de striction), calculez l'allongement permanent de l'aluminium $\mathbf{A_f}$ (en %) après sa rupture. (1 pt)

e) Si, après avoir atteint une contrainte de 60 MPa au cours de l'essai de traction, on décharge l'éprouvette et que l'on reprenne l'essai de traction, quelle sera la nouvelle limite d'élasticité (en MPa) de l'aluminium ? Quel nom donne-t-on à ce phénomène ? (2 pts)

f) Citez au moins une autre méthode pour obtenir un effet semblable sur la limite d'élasticité de l'aluminium. (1 pt)

Exercice n° 2

L'aluminium cristallise selon le réseau de Bravais cubique à faces centrées (CFC) dont le paramètre **a** est égal à 0,4049 nm. Les plans de glissement cristallographique associés à ce réseau sont des plans appartenant à la famille {111}.

a) Combien de sites octaédriques appartiennent en propre à la maille CFC ? (1 pt)

b) Calculez la masse volumique théorique ρ (en g/cm^3) de l'aluminium. (2 pts)

c) Sur la figure présentée au formulaire de réponse, tracez, dans la maille considérée, le plan spécifique $(1\bar{1}1)$. (1 pt)

d) Quels sont les systèmes de glissement associés à ce plan particulier $(1\bar{1}1)$? Sont-ils des systèmes de glissement indépendants ? Justifiez votre réponse. (2 pts)

Données : $\mathbf{A_{Al}}$ = 26,982 g/mole $\mathbf{N_A}$ = 6,022x10^{23} mole^{-1}

Exercice n° 3

On réalise un essai de traction sur un monocristal d'aluminium de haute pureté (Al = 99,998 %m) et on étudie **uniquement** les possibilités de glissement cristallographique dans le plan spécifique $(1\,\bar{1}\,1)$. Deux directions possibles de traction sont considérées : la direction $\vec{A} = [001]$ et la direction $\vec{B} = [1\,\bar{1}\,1]$.

<u>Conseil</u> : l'utilisation du produit scalaire ou du produit vectoriel de deux vecteurs peut s'avérer utile à la résolution de certaines des questions suivantes.

a) Pour quelle direction de traction se produira le glissement cristallographique dans le plan $(1\,\bar{1}\,1)$? Justifiez votre réponse. (1 pt)

b) Selon la direction de traction choisie, quels seront les systèmes de glissement activés ? (2 pts)

c) Quelle est la longueur du vecteur de Burgers $\mathbf{b}$, associé aux dislocations dans l'aluminium ? (1 pt)

On constate l'apparition du glissement cristallographique dans les systèmes activés pour une contrainte nominale de traction σ_{nom} égale à 1,96 MPa.

d) Que se passe-t-il physiquement dans le monocristal quand le glissement cristallographique irréversible apparaît ? (1 pt)

e) Quelle est la cission critique τ^* (en MPa) caractéristique du glissement cristallographique dans l'aluminium de haute pureté ? (1 pt)

f) Quelle devrait être la valeur de la limite proportionnelle d'élasticité $\mathbf{R_e}$ (en MPa) de l'aluminium polycristallin, déduite de l'essai de traction d'un monocristal d'aluminium de haute pureté ? (1 pt)

En fait, on constate que l'aluminium polycristallin commercialement pur (Al = 99,8 %m) présente une limite proportionnelle d'élasticité $\mathbf{R_e}$ égale 18 MPa.

g) Citez deux raisons qui expliquent la différence des valeurs de la limite proportionnelle d'élasticité $\mathbf{R_e}$ de l'aluminium polycristallin, soit déduite des essais de traction sur un monocristal soit directement mesurée sur un aluminium polycristallin. (2 pts)

Pour l'équipe de professeurs, le coordonnateur: Jean-Paul Baïlon

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu\left(\sigma_x + \sigma_z\right)\right]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu\left(\sigma_x + \sigma_y\right)\right]$$

$$G = \frac{E}{2\left(1+\nu\right)} \qquad \nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

$$R_{th} = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{a_0}}$$

$$1 = \frac{h\mathbf{x}}{n\mathbf{a}} + \frac{k\mathbf{y}}{n\mathbf{b}} + \frac{l\mathbf{z}}{n\mathbf{c}}$$

$$\mathbf{r} = u\mathbf{a} + v\mathbf{b} + w\mathbf{c}$$

$$\sigma_y = \sigma_{nom}\left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}\right)$$

$$\tau = \frac{F}{S_0}\cos\theta\cos\chi$$

$$\tau_{th} = \frac{G}{2\pi}\frac{b}{a}$$

$$R_{e\,0.2} = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

$$\ell_c = \frac{2E\gamma_S}{\pi\sigma^2}$$

$$K_C = \alpha\sigma\sqrt{\pi a}$$

$$f_S C_S + f_L C_L = C_0$$

$$D = D_0\exp\left(-\frac{Q_0}{kT}\right)$$

$$\varepsilon_{vel} = \frac{\sigma_t}{K_2}\left[1 - \exp\left(-\frac{K_2\,t}{\eta_2}\right)\right]$$

$$\frac{da}{dN} = C\Delta K^n$$

$$m = \frac{Ai_{corr}\,t}{nF}$$

$$\Delta = \frac{(m_a)_{ox}\,\rho_M}{(m_a)_M\,\rho_{ox}}$$

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

$$\sigma = n_e\,e\,\mu_e$$

$$\sigma = \left(n_e e\mu_e + n_t e\mu_t\right)$$

$$\sigma = \sigma_0\exp\left(\frac{-E_g}{2kT}\right)$$

$$E = E_0\left(0{,}9\,P^2 - 1{,}9\,P + 1\right)$$

$$R_m = \left(R_m\right)_0 e^{-nP}$$

$$\Delta\theta^* = R_1 = \frac{R_m\,.f(\nu)}{E\alpha}$$

$$R_3 = \frac{E}{R_m^2.f(\nu)}$$

$$R_4 = \frac{E\gamma_S}{R_m^2.f(\nu)} = \gamma_S R_3$$

$$\left(R_m\right)_c = V_f\left(R_m\right)_f + \left(1 - V_f\right)\sigma_m$$

$$\left(R_m\right)_C = V_f\,\sigma_f + \left(1 - V_f\right)\left(R_m\right)_m$$

$$E_C = V_f\,E_f + V_m\,E_m$$

$$E_C \cong \frac{3}{8}V_f\,E_f + V_m\,E_m$$

$$\left(R_m\right)_C = kV_f\left(R_m\right)_f + V_m\,\sigma_m$$