Génie Mécanique et Productique - IUT B - Université Claude Bernard Lyon 1

Science des matériaux

Examen du 11 avril 2008 à 9h - Correction

Répondre sur la feuille EXCLUSIVEMENT.

NOM : **Groupe :**

1. Pourquoi l'affinage de grain provoque-t-il un durcissement (**2 pts**) ?

   Car il augmente la surface des joints de grains, donc la quantité d'obstacles au glissement des dislocations, ce qui gène la déformation plastique.

2. Comment calculer l'endommagement par fatigue (**2 pts**) ?

   En divisant le nombre de cycles réalisés par le nombre de cycles provoquant la rupture par fatigue.

3. Quelle est la différence entre un système et un alliage (**1 pt**) ?

   Un système, à deux composants par exemple, comprend tous les alliages que l'on peut faire avec ces deux composants.

4. La limite élastique en cisaillement τ_e du cuivre est de 15 MPa. On le durcit par ajout de zinc puis par écrouissage. De quelle valeur τ_S l'ajout de $X = 18\%$ de zinc au cuivre va-t-il augmenter sa limite élastique ? On rappelle que $\tau_S = \alpha G \delta X^{1/2}$, avec les notations du cours, et on donne le rayon atomique du cuivre $r_{\mathrm{Cu}} = 0{,}128$ nm, celui du zinc $r_{\mathrm{Zn}} = 0{,}138$ nm et le module de Coulomb du cuivre $G = 21$ GPa **(1,5 pts)**.

   $$\tau_S = G \times \left|\frac{r_{\mathrm{Cu}} - r_{\mathrm{Zn}}}{r_{\mathrm{Cu}}}\right| \times \sqrt{X} \quad \text{donc} \quad \tau_S = 696 \text{ MPa.}$$

   Après écrouissage, la limite élastique en cisaillement de l'alliage devient $\tau_e = 924$ MPa. Calculer la densité de dislocations dans le cristal écroui ρ en sachant que la longueur du vecteur de Burgers b est de 2,9 nm. On rappelle que $\tau_E = \alpha G b \rho^{1/2}$, avec les notations du cours, et on suppose que τ_E est négligeable avant l'écrouissage. La densité de dislocations dans l'alliage avant écrouissage était-elle inférieure ou supérieure à la valeur trouvée **(1,5 pts)** ?

   $\rho = \left(\frac{\tau_e - \tau_s - \tau_e^{\mathrm{init}}}{\alpha G b}\right)^2 = 1{,}2 \times 10^{13}$ m m^{-3}.

   La densité de dislocations avant écrouissage est inférieure à la valeur trouvée.

5. Un alliage léger pour un élément de structure destiné à l'aéronautique a été testé en laboratoire sous une contrainte appliquée variant de manière sinusoïdale au cours du temps, de part et d'autre d'une contrainte moyenne nulle. L'alliage s'est rompu pour une amplitude de contrainte crête à crête $\Delta\sigma_1 = 280$ MPa après $N_{f1} = 10^5$ cycles et, pour $\Delta\sigma_2 = 200$ MPa, l'éprouvette s'est rompue après $N_{f2} = 10^7$ cycles. Si on suppose que le comportement en fatigue de cet alliage peut être représenté par l'expression $\Delta\sigma (N_f)^a = C$ où a et C sont des constantes propres au matériau, trouver le nombre de cycles à la rupture N_{f3} pour une pièce soumise à une amplitude de contrainte crête à crête $\Delta\sigma_3 = 150$ MPa **(2 pts)**.

   $$a = \frac{\log(\Delta\sigma_1/\Delta\sigma_2)}{\log(N_{f2}/N_{f1})} = 0{,}073 \quad \text{et} \quad C = \Delta\sigma_1 N_{f1}^a = 649 \text{ MPa}$$
   $$\text{donc} \quad N_{f3} = (C/\Delta\sigma_3)^{1/a} = 5{,}1 \times 10^8 \text{ cycles.}$$

   Un avion dans lequel ces pièces sont utilisées a été soumis à un nombre estimé de 4×10^8 cycles, à une amplitude crête à crête de 150 MPa. On souhaite prolonger la durée de vie de l'appareil de 4×10^8 cycles supplémentaires, au prix d'une réduction de ses performances. Déterminer la nouvelle amplitude de contraintes crête à crête nécessaire pour obtenir cette prolongation **(1,5 pts)**.

   endommagement : $e_1 = N_3/N_{f3} = 4/5{,}1 = 78\%$ donc il reste $e_2 = 22\% = N_4/N_{f4}$ et $N_{f4} = N_4/e_2$.
   $C = \Delta\sigma_4 N_{f4}^a$ donc $\Delta\sigma_4 = C/(N_4/e_2)^a = 136$ MPa.

6. Une poutre de bois de section carrée de côté b présente des entailles d'une profondeur ℓ. Le bois a une ténacité K_c. Calculer la charge en traction maximum F que la poutre peut supporter.

   A.N.: $b = 40$ cm, $\ell = 2$ mm, $Y = 1{,}0$, $K_c = 0{,}5$ MN m$^{-3/2}$ **(2 pts)**.

   Il faut $K \geq K_c$ avec $K = Y\sigma\sqrt{\pi\ell}$ et $\sigma = F/b^2$ donc $F = K_c b^2/(Y\sqrt{\pi\ell}) = 1$ MN.

7. On considère le système Mg-Pb, dont le diagramme d'équilibre est représenté ci-dessous.

   (a) Compléter le diagramme en indiquant les phases en présence dans les trois domaines vides, ainsi que le(s) point(s) eutectique(s) (**1 pt**).

   (b) Quelles phases sont: a) des solutions solides; b) des composés définis (**1 pt**)?
   a) α, β; b) Mg_2Pb.

   (c) On mélange 4,5 g de Pb et 10,5 g de Mg. Déterminer la fraction massique de Pb dans l'alliage (**1 pt**).
   $c_{\mathrm{Pb}} = m_{\mathrm{Pb}}/(m_{\mathrm{Pb}} + m_{\mathrm{Mg}}) = 0{,}3 = 30\,\%$.

   (d) Cet alliage est porté à 100 °C. Déterminer:

      i. les phases en présence (**1 pt**): α et Mg_2Pb.

      ii. la composition des phases (**1 pt**):
      α: 1 % de Pb et 99 % de Mg;
      Mg_2Pb: 81 % de Pb et 19 % de Mg.

      iii. les proportions des phases (**1 pt**):
      $C_\alpha = b/(a + b) = (81 - 30)/(81 - 1) = 64\,\% \Rightarrow C_{\mathrm{Mg_2Pb}} = 36\,\%$.