

Défaillances en service

Exercices

Rupture fragile

1. Calculer la longueur maximale admissible ℓ_c d'une fissure interne dans le cas d'une pièce en alliage d'aluminium, de ténacité K_{Ic} , soumise à une contrainte σ . Le facteur géométrique associé au cas considéré est Y .
A.N. : $K_{Ic} = 24 \text{ MPa m}^{1/2}$; $\sigma = 250 \text{ MPa}$; $Y = 1,35$.
2. Soit une pièce d'avion en alliage d'aluminium. On a déterminé que, si la longueur maximale d'une fissure interne est ℓ_{c1} , la rupture se produit pour une contrainte σ_1 . Calculez la contrainte qui provoquera la rupture de cette même pièce si la longueur critique de fissure interne est ℓ_{c2} .
A.N. : $\ell_{c1} = 2,5 \text{ mm}$; $\sigma_1 = 365 \text{ MPa}$; $\ell_{c2} = 4,0 \text{ mm}$.
3. Une pièce structurale, en forme de large plaque, doit être fabriquée à partir d'un acier de ténacité K_{Ic} et de limite d'élasticité R_e . La limite de résolution du détecteur de défauts est ℓ_0 . Si la contrainte admissible est égale à la moitié de la limite d'élasticité, déterminez en justifiant votre réponse si un défaut critique à l'intérieur de cette plaque est susceptible d'être détecté. Le facteur géométrique associé au cas considéré est Y .
A.N. : $K_{Ic} = 54 \text{ MPa m}^{1/2}$; $R_e = 1400 \text{ MPa}$; $\ell_0 = 4,0 \text{ mm}$; $Y = 1,0$.
4. On réalise des contrôles non destructifs sur trois échantillons cylindriques (nommés A, B et C) d'alliage d'aluminium 2014-T6 situés sur des ailes d'avion. Cet alliage a une limite d'élasticité $Re = 414 \text{ MPa}$ et une ténacité $K_{Ic} = 21 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Les pièces doivent résister à une force de traction F égale à 320 kN sans se déformer plastiquement. Le tableau ci-dessous résume les longueurs L et diamètres d ainsi que les défauts (et leur facteur géométrique Y) détectés lors du contrôle de ces trois échantillons :

Échantillon	dimensions (mm)	résultats du contrôle	Y
A	$L = 100, d = 40$	fissure aigüe en surface de profondeur $1,8 \text{ mm}$	1,2
B	$L = 50, d = 30$	pas de fissures $> 100 \mu\text{m}$	—
C	$L = 200, d = 40$	fissure interne de longueur 2 mm	1,2

Pour chaque échantillon, déterminer s'il y a un risque de rupture ductile et/ou fragile. Quel(s) échantillon(s) pourra(ont) être utilisé(s) ?

5. Lors de la pratique d'un sport, des microfissures se forment sur les os sollicités. Ces microfissures ne sont pas graves, et leur réparation lors des périodes de repos participent même à la consolidation globale de l'os (phénomène de surcompensation). Cependant, lors d'une pratique intensive de sport (par exemple une semaine complète de ski/snowboard), ces microfissures n'ont pas le temps de se combler, et ont donc tendance à s'agrandir. Admettons qu'au début du séjour, ces microfissures (externes) sont de taille moyenne $l = 100 \mu\text{m}$ sur le tibia et qu'à la fin du séjour, leur taille est multipliée par 6. Le principal matériau constituant les os est l'hydroxyapatite, dont les caractéristiques mécaniques sont les suivantes : $Re = 80 \text{ MPa}$; $Rm = 100 \text{ MPa}$; $K_{Ic} = 0,55 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. La réaction du sol sur chaque jambe du snowboarder lors de l'impact après un saut sur une pente à 100 %, peut se modéliser avec la formule suivante : $F = m\sqrt{gh}/(2\Delta t)$ avec m la masse du

snowboarder + équipement (ici : 80 kg), $g = 9,8 \text{ N/kg}$ l'accélération de la pesanteur, h la hauteur du saut et Δt le temps d'impact au sol (20 ms). Le tibia a un diamètre moyen évalué à $d = 25 \text{ mm}$. On prendra $Y = 1$.

- Au-delà de quelle hauteur de saut h_1 sort-on du domaine de déformation élastique de l'os du tibia ?
- Y aura-t-il rupture du tibia par propagation de fissure en début de séjour pour un saut d'une hauteur h_2 de 5 m ?
- Pour quelle hauteur de saut h_3 y aura-t-il rupture du tibia par propagation de fissure en fin de séjour ? Conclusion ?

Fatigue

- Voici des données relatives à la fatigue d'un laiton (σ_0 est l'amplitude de contrainte et N_f le nombre de cycles avant la rupture).

σ_0 (MPa)	310	223	191	168	153	143	134	127
N_f	2×10^5	10^6	3×10^6	10^7	3×10^7	10^8	3×10^8	10^9

- Tracer une courbe de Wöhler à l'aide de ces données (amplitude de contrainte en fonction du logarithme du nombre de cycles avant la rupture).
 - Déterminer la limite de fatigue à $N_f = 5 \times 10^5$ cycles.
 - Déterminer la durée de vie en fatigue pour $\sigma_0 = 200 \text{ MPa}$.
- Dans l'hypothèse où les données relatives à la fatigue d'un laiton figurant dans la question précédente sont tirées d'essais de torsion, et où un arbre fait de cet alliage doit servir à faire un couplage rattaché à un moteur électrique tournant à 1500 t/min, déterminer l'amplitude maximale possible de la contrainte de torsion si les durées de vie du couplage sont les suivantes : (a) 2 heures, (b) 1 jour, (c) 1 mois, et (d) 1 an.
 - Des essais de fatigue ont permis de déterminer pour un acier doux sous contrainte moyenne les valeurs consignées dans le tableau ci-dessous :

amplitude de contrainte σ_0 (MPa)	375	255
nombre de cycles avant la rupture N_f	10^4	10^6

- En utilisant la loi de Basquin, prévoir le nombre de cycle N_f pour lequel on peut prévoir la rupture lorsque $\sigma_0 = 300 \text{ MPa}$.
 - Une pièce fonctionne en fatigue pendant $N = 5 \times 10^3$ cycles sous une contrainte alternée d'amplitude $\sigma_0 = 375 \text{ MPa}$, puis fonctionne sous une contrainte alternée d'amplitude $\sigma_0 = 255 \text{ MPa}$. Au bout de combien de cycles peut-on prévoir la rupture ?
- Voici les courbes de Wöhler de l'acier S700MC réalisées en traction uniaxiale. Il s'agit d'un acier à microstructure à grains fins et à basse teneur en soufre, facteurs qui améliorent la résistance à la fatigue et la limite élastique de l'acier. Cet acier est utilisé par exemple pour construire des flèches télescopiques plus hautes pour les grues et les plates-formes élévatrices. On remarque que les valeurs trouvées lors de plusieurs essais de fatigue fluctuent autour d'une valeur moyenne fixée (courbe médiane).
 - Quelle est la limite d'endurance de l'acier ? Quelle est l'incertitude relative sur la limite d'endurance ?

- (b) Quelle est la plage de durée de vie en fatigue de cet acier pour une amplitude de contrainte de 660 MPa ? Même question pour une amplitude de contrainte de 610 MPa ?
- (c) Calculer l'endommagement de cet acier au bout de 9×10^4 cycles pour une amplitude de contrainte de 650 MPa. Au bout de combien de cycles cet alliage cassera-t-il si on le réutilise avec une amplitude de contrainte de 610 MPa ?

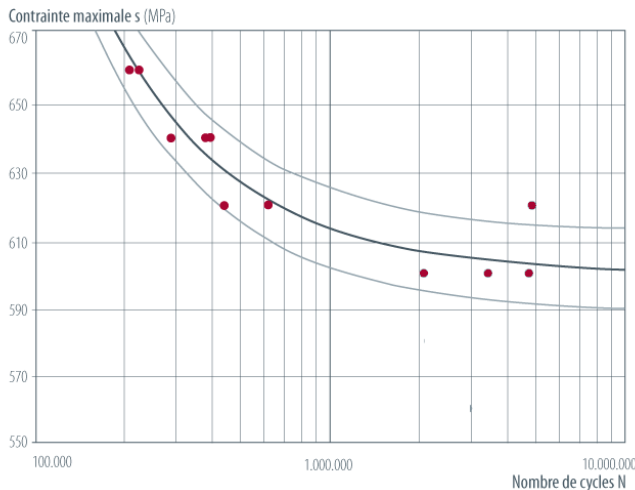


FIGURE 1 – Courbe de Wöhler de l'acier S700MC.

Fluage

10. L'adamantium est un alliage métallique très résistant ($R_e = 1560$ MPa) inventé par le Dr Myron MacLain en 1969. Sa courbe de fluage à 80 % de sa température de fusion, pour une contrainte $\sigma = 0,8R_e$, est présentée figure 2.

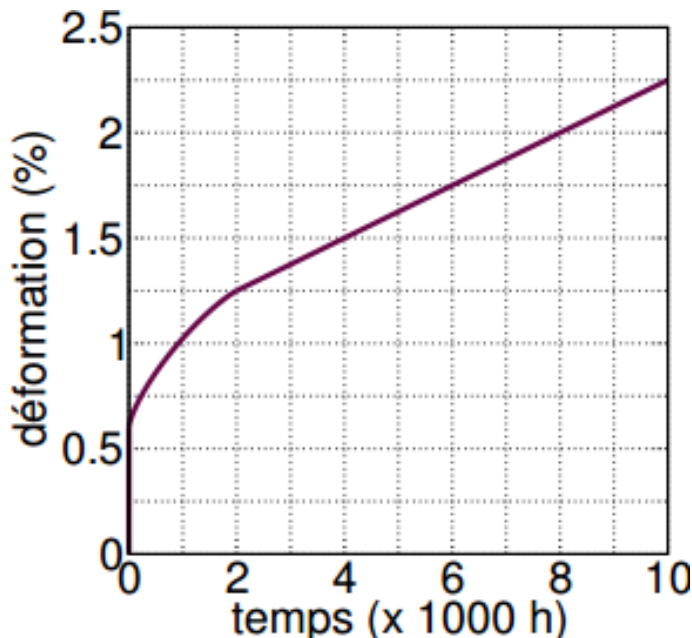


FIGURE 2 – Courbe de traction de l'adamantium à une contrainte $\sigma = 0,8R_e$.

- (a) Délimiter sur la courbe les différents régimes de fluage.
- (b) Déterminer le module de Young de cet alliage à 80 % de sa température de fusion ; commenter le résultat.
- (c) Déterminer la vitesse de fluage secondaire.

- (d) En déduire l'allongement d'une éprouvette de longueur initiale $l_0 = 220$ mm après 25000 h.
11. Une éprouvette faite d'un alliage de nickel (figure 3) et de longueur $l_0 = 750$ mm doit être soumise à une contrainte de traction $\sigma = 40$ MPa à 538°C . Déterminer son allongement Δl après $\Delta t = 5000$ heures, sachant que son module d'Young est $E = 214$ GPa et son allongement par fluage primaire $\Delta l_p = 1,36$ mm.

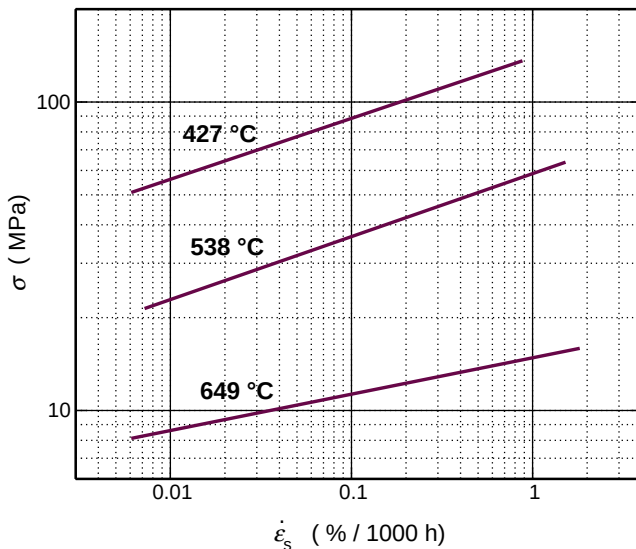


FIGURE 3 – Contrainte σ en fonction de la vitesse de fluage en régime stationnaire $\dot{\epsilon}_s$ dans le cas d'un alliage de nickel, à trois températures (échelles logarithmiques).

12. Une pièce cylindrique faite d'un alliage de nickel (figure 3) a un diamètre initial $d_0 = 10$ mm et une longueur initiale $l_0 = 500$ mm. Déterminer la charge de traction maximale $F_{\max}$ qui peut lui être appliquée pour que son allongement total Δl soit inférieur à 3,2 mm après $\Delta t = 10\,000$ heures à 427°C , sachant que la somme des allongements par fluages instantané et primaire est $\Delta l_{i+p} = 0,8$ mm.