

Examen Final

Exercice 1 : (6 points)

Un matériau métallique en service est soumis à une contrainte de traction de **200 MPa**, et possède un coefficient d'intensité de contrainte de l'ordre de $k_{Ic} = 1739.25 \text{ MPa} \sqrt{\text{mm}}$. Sachant que le paramètre géométrique **Y=1**.

1°/Calculer la longueur minimale d'une fissure de surface qui entrainera la rupture

2°/Quelle est l'ampleur de la contrainte maximale située à l'extrémité d'une fissure interne dont un **rayon** de courbure est de $\rho = 0.00025 \text{ mm}$?

Exercice 2 (8 pts)

Deux aciers **A** et **B** ont été caractérisés par un essai de choc de Charpy dont certaines propriétés mécaniques sont données dans le tableau suivant.

Acier	σ_e (N/mm ²)	σ_{\max} (N/mm ²)	W (j)	Y	a _c (mm)
A	570	716	97	1.9	4 mm pour $\sigma = \frac{2\sigma_e}{3}$
B	600	810	77	1.9	7 mm pour $\sigma = \frac{2\sigma_e}{3}$

W (j) : l'énergie de rupture, **Y** : facteur géométrique, **a** : la longueur critique des fissures.

- Quel acier a la ténacité la plus élevée ? Justifiez votre réponse.
- Si on suppose que la courbe de traction des deux aciers est linéaire dans les domaines élastique et plastique, quel acier possède l'allongement à la rupture (A%) le plus élevé ? Justifiez votre réponse
- Quelle est la valeur de la ténacité **K_C** de chacun de ces aciers **A** et **B** ?
- Calculez la longueur maximale des fissures qui ne provoqueront jamais la rupture brutale (apparemment fragile) des pièces faites en acier soit A, soit B.

Exercice 3 (6 pts)

- Citer les 3 modes de rupture et donner la différence entre la rupture **stable** et celle **instable**.
- Citer la différence entre les coefficients de concentration de contraintes **K_t** et le facteur d'intensité des contraintes **FIC**.
- Quelles sont les conditions de la théorie de la rupture fragile basée sur le critère de **Griffith** ?
- Quelle est la propriété qui représente l'opposition à la propagation brutale de la fissure ?
- Dans quelle situation la contrainte locale au voisinage de la fissure est égale 3 fois la contrainte globale appliquée ?

Corrigé type :

Solution 1 :

$$k_{Ic} = Y\sigma_{Nom}\sqrt{\pi a_c} \Rightarrow a_c = \frac{1}{\pi} \left[\frac{k_{Ic}}{Y\sigma_{Nom}} \right]^2 = \frac{1}{3.14} \left[\frac{1739.25}{200} \right]^2 = 24.08 \text{ mm} \quad \text{3Pts}$$

La contrainte maximale est calculée par la relation suivante :

$$k_t = \frac{\sigma_{Max}}{\sigma_{Nom}} = 1 + \frac{2a}{b} = 1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}} \Rightarrow \sigma_{Max} = \sigma_{Nom} \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}} \right) = 200 \times \left(1 + 2\sqrt{\frac{24.08}{2.5 \times 10^{-4}}} \right) = 124352.9 \text{ MPa} \quad \text{3Pts}$$

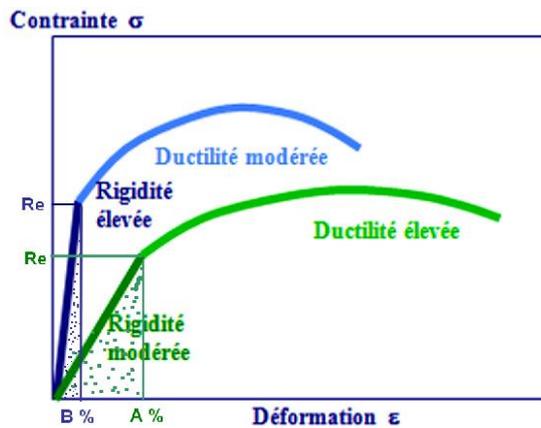
Solution 2 :

a) Ténacité la plus élevée selon l'essai de résilience Charpy.

L'acier qui requiert le plus d'énergie pour être rompu au cours d'un essai de résilience Charpy est celui qui est le plus tenace

Acier : A = 97 j/cm² c'est le matériau le plus tenace, donc, il est le plus ductile. **1point**

b) Plus grand allongement A%.



Si l'on estime semi-quantitativement la ténacité en utilisant l'aire sous la courbe de traction, on en déduit que l'acier A aura un allongement final à la rupture plus élevé que l'acier B, car il présente une limite conventionnelle d'élasticité et une résistance à la traction légèrement plus faible que celles de l'acier B. Par conséquent, sa ductilité, caractérisée par l'allongement final à la rupture A (%), sera plus élevée. **1point**

Acier : A

c) Ténacité K_{Ic}

Justification :

La rupture brutale se produit pour une valeur de la contrainte appliquée égale à (2/3) σ_e de l'acier considéré.

$$\text{Acier A : } k_{Ic} = Y\sigma_{nom}\sqrt{\pi a} = Y \frac{2\sigma_e}{3} \sqrt{\pi a_c} = 1.9 \times \frac{2 \times 570}{3} \sqrt{\pi \times (4 \times 10^{-3})} = 80.9 \text{ MPa}\sqrt{m} \quad \text{2points}$$

$$\text{Acier B : } k_{Ic} = Y\sigma_{nom}\sqrt{\pi a} = Y \frac{2\sigma_e}{3} \sqrt{\pi a_c} = 1.9 \times \frac{2 \times 600}{3} \sqrt{\pi \times (7 \times 10^{-3})} = 112.6 \text{ MPa}\sqrt{m} \quad \text{2points}$$

d) Longueur maximale de fissure (en mm) permettant d'éviter toute rupture brutale apparemment fragile

$$\text{Acier A : } k_{Ic} = Y\sigma_{nom}\sqrt{\pi a} = Y\sigma_e\sqrt{\pi a_c} = 1.9 \times 570 \text{ MPa} \sqrt{\pi a_c} \Rightarrow a_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{k_{Ic}}{Y\sigma_e} \right)^2 = 1.777 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.777 \text{ mm}$$

1points

Acier B : $k_{1c} = Y\sigma_{nom}\sqrt{\pi a} = Y\sigma_e\sqrt{\pi a_c} = 1.9 \times 600 \text{MPa} \sqrt{\pi a_c} \Rightarrow a_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{k_{1c}}{Y\sigma_e} \right)^2 = 3.10 \times 10^{-3} \text{m} = 3.10 \text{mm}$

1points

Solution 3:

- a- Citer les 3 modes de rupture et donner la différence entre la rupture stable et celle instable. **1point**

Mode I – appelé de manière évidente *mode d'ouverture* (Opening mode).

Mode II – appelé *mode de glissement plan* ou le cisaillement perpendiculaire au fond de fissure (Sliding mode).

Mode III – appelé mode de *glissement antiplan* ou mode de déchirure (Tearing mode).

✓ **Rupture Instable** : La direction de propagation est perpendiculaire à la direction de chargement car sont les contraintes normales de tenseur de Cauchy qui sont responsables (tenseur sphérique). **0.5 point**

✓ **Rupture Stable** : La direction de propagation est inclinée de 45° à la direction de chargement car sont les contraintes de cisaillement de tenseur de Cauchy qui sont responsables (tenseur deviatorique). **0.5 point**

- b- Citer la différence entre les coefficients de concentration de contraintes **Kt** et le facteur d'intensité des contraintes **FIC**.

✓ Le **FCC (Kt)** est lié à la discontinuité géométrique comme les trous, entailles, congés, (**Indépendant de la géométrie de la pièce**) = qui ne donne que les informations locales à la pointe même de la fissure. **0.5 point**

✓ Le **FIC** mesure la ténacité des matériaux **et** est lié à la propagation de fissure (**KI**). **Il dépend de la forme de la pièce** et du chargement appliquée. $K_I = K_{IC} = Y\sigma_{nom}\sqrt{\pi a} = Y\sigma_c\sqrt{\pi a}$ **0.5 point**

- c- Quelles sont les conditions de la théorie de la rupture fragile basée sur le critère de Griffith.

Il y a propagation de fissure de façon catastrophique si les deux conditions suivantes sont simultanément satisfaites :

a) Condition énergétique

Si $G < 2\gamma$: Pas de propagation

Si $G = 2\gamma$: Propagation stable **0.5 point**

Si $G > 2\gamma$: Propagation instable

b) Condition mécanique : $\sigma_A = \sigma_{Maxi} = \sigma_{loc} = k_t \cdot \sigma_a \geq R_m$ **0.5 point**

- d- La ténacité et elle se caractérise par le coefficient de l'intensité des contraintes **FIC**. **1 point**

- e- **Pour un trou circulaire** la contrainte locale est égale 3 fois la contrainte globale. **1 point**