

Série n°10 – 1^{er} mai 2025

Plasticité, dureté et ténacité

Exercice 1 :

Répondez par vrai ou faux aux questions suivantes :

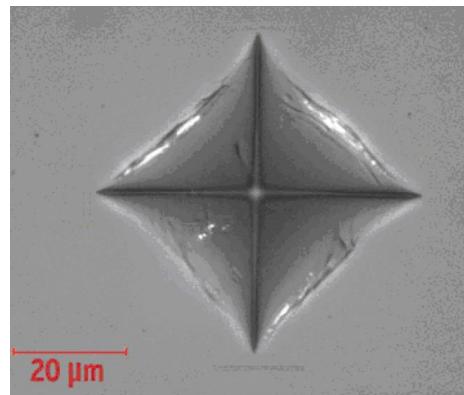
- | | Vrai | Faux |
|---|--------------------------|--------------------------|
| a. L'écrouissage des métaux est une augmentation de leur limite élastique due à la présence des dislocations créées lors de tests mécaniques précédents au-delà de la limite élastique. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Une empreinte de dureté Vickers est un test mécanique simple qui permet de déterminer le module élastique d'un matériau. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. La marque d'indentation laissée dans le matériau après avoir retiré l'indenteur a la même profondeur et la même surface que lorsqu'il était enfoncé dans le matériau. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. La ténacité d'un matériau mesure sa capacité à résister à la propagation d'une fissure lorsqu'il est soumis à une contrainte. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. L'énergie de surface est mesurée en J/m^2 , le module élastique en N/m^2 et la ténacité en $N/m^{3/2}$. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| f. La contrainte en pointe d'une fissure de profondeur l est doublée si la fissure a une profondeur double. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| g. L'intérêt des matériaux ductiles est que l'énergie pour faire avancer une fissure nécessite de plastifier une zone en pointe d'une fissure. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| h. L'augmentation de la limite élastique d'un matériau a comme effet de diminuer la taille de la zone plastifiée en pointe de fissure, et donc de diminuer la taille de fissure critique, i.e. le matériau tend à être plus résistant, mais aussi plus fragile. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| i. En abaissant la température, un matériau a tendance à devenir moins fragile. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| j. Une fissure dans un matériau en compression ne se propage pas spontanément même si elle a une dimension l_{crit} . | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Exercice 2 : Test de dureté

On fait un test de dureté Vickers avec un poids de 1kg sur un acier. On obtient l'empreinte ci-dessous.

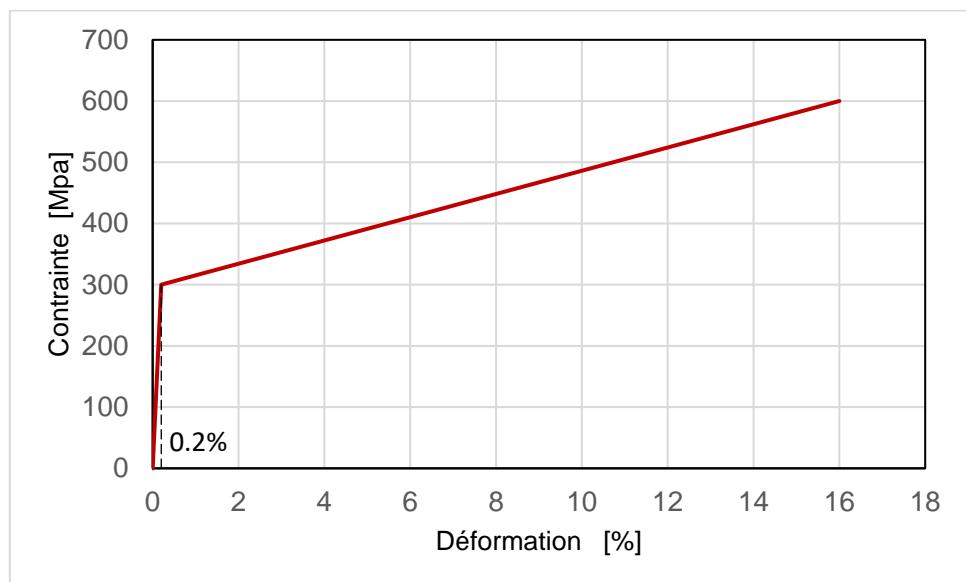
- a. Estimez la longueur moyenne des diagonales de cette empreinte.
- b. Calculez la dureté Vickers du matériau testé ?

- c. Quelle valeur de la limite élastique pouvez-vous estimer (en MPa) à partir de cette mesure ?



Exercice 3 : Comportement élastique-plastique simplifié de l'acier et ténacité

Le comportement élasto-plastique d'un acier à faible teneur en carbone est approximé par le comportement élastique-plastique ci-dessous :



- Quels sont le module élastique et la limite élastique ? Quelle est alors la valeur de la déformation élastique à cette limite ?
- Quel est le coefficient d'écrouissage ?
- Si l'on charge l'éprouvette en traction jusqu'à la limite élastique, quelle sera alors la courbe contrainte-déformation lors de la décharge ?
- A la limite élastique, quelle est la densité d'énergie de déformation accumulée dans le matériau ? Et l'énergie de déformation ? Est-elle restituée lors de la décharge ?
- On charge le matériau jusqu'à 450 MPa, puis on le décharge. Quelle est la nouvelle limite élastique du matériau ?
- On applique une contrainte jusqu'à la valeur maximum de 600 MPa. Quelle est la déformation totale ? Calculez la densité d'énergie totale de déformation à cet instant.

- g. Quelle sera alors la courbe contrainte-déformation lors de la décharge ? Quelle est la déformation résiduelle (plastique) à charge nulle ?
- h. Quelle est la densité d'énergie élastique restituée ?
- i. L'énergie étant conservée, où est passée la différence entre densité d'énergie totale de déformation et densité d'énergie élastique restituée ?
- j. Le volume de la pièce est-il alors changé ?
- k. Cet acier a une ténacité $K_{1c} = 60 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Or, son énergie d'interface $\gamma = 2 \text{ J/m}^2$. Quelle est l'énergie plastique G_c nécessaire à l'avancement d'une fissure ?
- l. Comparez cette énergie plastique $G_c (\text{J/m}^2)$ avec la densité d'énergie plastique avant rupture calculée au point (f) ? Cela fait apparaître une dimension. A quoi pouvez-vous associer cette dimension dans le matériau ?

Exercice 4 : Tube en verre

On reprend l'expression (Exercice 4 de la série n° 9) de la contrainte circonférentielle dans un tube cylindrique, cette fois en verre, de rayon R et d'épaisseur e , soumis à une pression intérieure p :

$$\sigma_{\theta\theta} = p \frac{R}{e}$$

Les caractéristiques du verre sont : $\sigma_{max} = 30 \text{ MPa}$; $K_{1c} = 0.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$; $E = 65 \text{ GPa}$.

Les caractéristiques du tube sont $R = 15 \text{ mm}$ et $e = 1 \text{ mm}$.

- a. En prenant un facteur de sécurité 2 pour que le tube ne casse pas, quelle pression maximum le tube en verre peut-il supporter s'il ne contient aucune fissure visible ?
- b. Une fissure longitudinale (parallèle à l'axe du cylindre) dans la paroi du tube est-elle plus ou moins dangereuse qu'une fissure de même longueur et profondeur, perpendiculaire à l'axe du cylindre ?
- c. Vous constatez que le tube contient une fissure longitudinale à la surface extérieure : sa profondeur est de 0.2 mm. A quelle pression interne le tube va-t-il très probablement exploser ?