



ÉCOLE
POLYTECHNIQUE
M O N T R É A L

Le
génie
sans frontières

PROGRAMME DE GÉNIE DES MATÉRIAUX

Note finale:

125

NOM (en majuscules):

C O R R I G É

PRÉNOM :

SIGNATURE :

MATRICULE :

SECTION :

COURS ING1035 - MATÉRIAUX

Contrôle N° 2

du 2 novembre 2001

de 8h45 à 10h20

FORMULAIRE DE RÉPONSES

- NOTES :
- ◆ Aucune documentation permise.
 - ◆ Calculatrices non programmables autorisées
 - ◆ Les nombres en marge de droite 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 ou la page opposée pour vos calculs**
 - ◆ Le questionnaire comprend **8** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
 - ◆ Le formulaire de réponses comprend **5** pages.
 - ◆ Vérifiez le nombre de pages de votre questionnaire et de votre formulaire de réponse.

1. EXERCICE n° 1

1.a) *Matériau le plus tenace*

Justification :

Quand on ne dispose que des propriétés mécaniques en traction des matériaux, on peut estimer qualitativement leur ténacité respective en calculant l'aire sous la courbe de traction qui représente l'énergie dépensée pour rompre en traction une unité de volume de matériau. Cette aire est donnée approximativement par la relation suivante : $W = \frac{1}{2}A(R_{e0,2} + R_m)$. En appliquant cette relation aux deux alliages considérés, on obtient :

$$W_A = 28 \text{ MJ/m}^3 \quad \text{et} \quad W_B = 162,5 \text{ MJ/m}^3$$

Le matériau B est donc apparemment plus tenace que le matériau A.

Matériau : **B** (2 pts)

1.b) *Contrainte nominale de rupture fragile pour une fissure de profondeur a = 7 mm*

Justification :

Quand la contrainte σ_{nom} appliquée est inférieure à la limite d'élasticité du matériau et si le facteur d'intensité de contrainte K , associé à la fissure, devient égal au facteur critique d'intensité de contrainte K_{IC} du matériau, il y a rupture brutale (fragile). Cette condition se traduit par l'égalité suivante :

$$K = \alpha \sigma_{nom} \sqrt{\pi a} = K_{IC} \quad (1)$$

Sachant que la facteur géométrique α est ici égal à 1 et que $a = 7 \text{ mm}$, on obtient ainsi la valeur de σ_{nom} :

$$\sigma_{nom} = \frac{K_{IC}}{\alpha \sqrt{\pi a}} = \frac{73}{\sqrt{\pi(0,007)}} = 492,3 \text{ MPa} \quad (2)$$

$\sigma = 492,3 \text{ MPa}$ (2 pts)

1.c) *Profondeur minimale a* pour ne jamais avoir rupture brutale (fragile).*

Justification :

D'après l'équation (1) ci-dessus, on peut en déduire la valeur de la profondeur de fissure : $a = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma_{nom}} \right)^2$.

On remarque que plus la contrainte nominale σ_{nom} appliquée croît, plus la profondeur critique minimale a de la fissure décroît. Toutefois, lorsque σ_{nom} atteint la limite d'élasticité $R_{e0,2}$ du matériau, l'ensemble de la pièce est alors soumis à une contrainte qui entraîne sa déformation plastique généralisée (si bien entendu le matériau est ductile, ce qui est ici le cas). Dans ce cas, la pièce se déformera plastiquement avant de se rompre et il n'y aura pas rupture brutale de type fragile.

Il existe donc une valeur a^* correspondant à cette déformation plastique généralisée sans rupture brutale. Cette valeur a^* est obtenue avec l'équation ci-dessus et pour une valeur de $\sigma_{nom} = R_{e0,2}$.

$$a^* = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{IC}}{R_{e0,2}} \right)^2 = \frac{1}{\pi} \left(\frac{73}{1550} \right)^2 = 0,0007 \text{ m} = 0,7 \text{ mm}$$

$a^* = 0,7 \text{ mm}$ (2 pts)

2. Exercice n° 2

2.a) **Nombre de réactions eutectiques dans le diagramme Sn – Au et caractéristiques d'une de ces réactions :**

Nombre : **2** (0,5 pt)

Réaction	Température (°C)	Phases en présence	Composition (%m Au)
1	217	Liquide	9
		α	0,6
		β	29,3
2	289	Liquide	79,4
		δ	62,3
		ζ	88,1

(2,5 pts)

2.b) **Verticale notée β :**

Cochez la (ou les) case(s) appropriée(s) :

Composant	Réaction eutectoïde	Réaction eutectique	Composé défini stœchiométrique	Composé défini non stœchiométrique
			X	

(1 pt)

2.c) **Formule chimique de la phase γ :**

Justification La composition massique de la phase γ est égale à $C_m = 45,5\%m$ Au. On peut donc écrire :

$$C_m = \frac{A_{Au} n_{Au}}{A_{Au} n_{Au} + A_{Sn} n_{Sn}} \text{ où } A \text{ représente la masse atomique et } n \text{ le nombre d'atomes d'un composant.}$$

En réarrangeant la relation ci-dessus, on obtient ainsi le rapport $x = n_{Au}/n_{Sn}$ égal à :

$$x = n_{Au}/n_{Sn} = \frac{A_{Sn} C_m}{A_{Au} (1 - C_m)} = 0,502 \cong \frac{1}{2}$$

Il y donc 1 atome de Au pour 2 atomes de Sn

Formule : **AuSn₂** (2 pts)

2.d) **Constituant présents à 216,9 °C dans un alliage Sn + 20 %m Au :**

NB : le nombre de lignes libres du tableau ne correspond pas forcément au nombre de réponses à donner

Constituant	Composition (%m Au)	Proportion (%m)
β primaire (ou proeutectique)	29,3	$f_\beta = (1 - f_{eut}) = 54,2$
Eutectique (α + β)	9	$(f_{eut})_{216,9\text{ °C}} = (f_{liq})_{217,1\text{ °C}}$ $(f_{liq})_{217,1\text{ °C}} = (29,3-20)/29,3-9 = 45,8$
-----	-----	-----
-----	-----	-----

(3 pts)

2.e) **Solubilité maximale de Sn dans Au (exprimée en %m Sn) :**

[% max Sn]_{Au} = **4,6** %m. Sn (1 pt)

2.f) Alliages riches en Au se prêtant au durcissement structural :

Justification : Pour qu'un alliage puisse se prêter à un traitement de durcissement structural, il faut qu'au moins deux conditions soient satisfaites selon le diagramme d'équilibre :

1) l'élément d'alliage (ici Sn) doit être mis en solution solide d'équilibre à haute température dans la matrice (ici l'or).

2) la solution solide d'équilibre à haute température peut être trempée sans subir de changement de structure cristalline (changement de phase allotropique).

Ces deux conditions sont satisfaites pour des alliages d'or ayant au maximum 5,4 % d'étain.

Un alliage de composition égale à (96 %m Au + 4 %m Sn), mis en

Composition : **96** %m Au

 à (2 pts)

3. Exercice n° 3

3.a) Teneur en carbone de l'acier dont les courbes TTT sont données en annexe 2 :

Justification :

Les courbes TTT données en annexe 2 indiquent que l'acier considéré a ses températures de transformation **A₁** et **A₃** confondues. D'après le diagramme d'équilibre Fe – C fourni à l'annexe 2, un tel acier a la composition eutectoïde, soit 0,8 %m C.

%m C = **0,8**

 (1 pt)

3.b) Méthodes pour obtenir une dureté de 42 HRC :

Pour chacune des deux méthodes, donnez les étapes, leurs caractéristiques et les constituants en fin d'étape

NB : le nombre de lignes libres du tableau ne correspond pas forcément au nombre d'étapes.

Première méthode		
Étape	Caractéristiques : température (°C), temps (s)	Constituant à la fin de l'étape
Austénitisation	$\theta = A_3 + 50 \text{ °C} \approx 775 \text{ °C}$ Temps: dépend des dimensions de la pièce	Austénite stable
Trempe et maintien	$\theta = 360 \text{ °C}$ Temps $\geq 300 \text{ s}$	Bainite stable
Refroidissement à l'ambiante	Vitesse de refroidissement quelconque	Bainite ayant une dureté de 42 HRC
-----	-----	-----
-----	-----	-----

(2 pts)

Deuxième méthode		
Étape	Caractéristiques : température (°C), temps (s)	Constituant à la fin de l'étape
Austénitisation	$\theta = A_3 + 50 \text{ °C} \approx 775 \text{ °C}$ Temps: dépend des dimensions de la pièce	Austénite stable
Trempe à l'ambiante	$\theta = 20 \text{ °C}$ Temps : instantané	Martensite métastable de dureté 62 HRC
Revenu	$\theta \approx 520 - 530 \text{ °C}$ Durée = 1 h	Martensite revenue
Refroidissement à l'ambiante	Vitesse de refroidissement quelconque	Martensite revenue ayant une dureté de 42 HRC
-----	-----	-----

(2 pts)

3.c) Microstructure de l'acier à la fin du traitement thermique complet :

NB : le nombre de lignes libres du tableau ne correspond pas forcément au nombre de constituants:

Justification :

Le traitement thermique proposé a été tracé sur les courbes TTT (voir annexe du corrigé). Les étapes **A**, **B**, **C** et **D** de ce traitement sont aussi indiquées. Voici les constituants présents dans l'acier à la fin de ces différentes étapes :

- A) Austénite stable (100 %)
- B) Austénite instable (50 %) + **perlite stable (50 %)**
- C) La moitié de l'austénite instable encore présente se décompose en **bainite stable (50 % x 50 % = 25 %)** et il reste 25 % d'austénite instable. (2 pts)
- D) Les derniers 25 % d'austénite instable se transforment en **martensite (25 %)**

Constituant	Proportion (%)
Perlite	50
Bainite	25
Martensite	25
-----	-----

ANNEXE

Courbes TTT

