ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Le génie sans frontières

GÉNIE DES MATÉRIAUX

Note finale: /25

NOM (en majuscules): CORRIGÉ

PRÉNOM :

SIGNATURE :

MATRICULE :

SECTION :

COURS ING1035 - MATÉRIAUX

Contrôle N° 2

du 7 novembre 2003

de 8h45 à 10h20

FORMULAIRE DE RÉPONSES

NOTES :

- Aucune documentation permise.
- Calculatrice non programmable autorisée.
- 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 et, si nécessaire, la page opposée pour vos calculs intermédiaires.
- Le questionnaire comprend **6** pages, incluant les annexes (si mentionnés) et le formulaire général.
- Le formulaire de réponses comprend **4** pages.
- **Vérifiez le nombre de pages de votre questionnaire et de votre formulaire de réponse**.

1. EXERCICE n° 1

1.a) Température de fusion du cobalt.

θ_{fCo} = **1495** °C

(1 pt)

1.b) *Coordonnées d'un point eutectique E présent sur ce diagramme.* (voir diagramme en annexe)

(2 pts)

Réaction eutectique : **1) L ↔ C36 + $TiCo_3$**		**2) L ↔ (βTi) + Ti_2Co**	
1) C_{E1} = 79 %m Co	**2) C_{E2} = 27 %m Co**	**1) θ_{E1} = 1170 °C**	**2) θ_{E2} = 1020 °C**

1.c) Réaction caractérisant le point Y *du diagramme*

(2 pts)

Nom de la réaction :	**EUTECTOÏDE**
Réaction :	**(βTi) ↔ (αTi) + Ti_2Co**

1.d) Nombre N *de composés définis non stœchiométriques présents sur le diagramme.*

Ce sont les composés γ et **$TiCo_3$**

N = 2

(1 pt)

1.e) Composition C_0 *d'un alliage Ti – Co .*

Justification :

Le constituant « Ti + Ti_2Co » provient de la réaction eutectoïde (point Y). Puisque l'alliage contient 50% de Ti_2Co primaire, c'est donc un alliage **hypereutectoïde**. La composition C_0 de l'alliage doit donc être comprise entre la composition du point eutectoïde (C_A = 7 %m Co) et celle du composé définie Ti_2Co (C_B = 37,5 %m Co). À 686 °C, cet alliage contient donc 50 % de (βTi) et 50% de Ti_2Co.

En appliquant alors la règle des bras de leviers à l'alliage, on obtient : $f_{Ti_2C0} = \dfrac{C_0 - C_A}{C_B - C_A}$

On en déduit ainsi C_0 : $C_0 = C_A + f_{Ti_2Co}(C_B - C_A)$.

Avec les valeurs numériques données, on obtient la valeur de C_0 :

C0 = 0,07 + 0,5(0,375 – 0,07) = 0,2225 = 22,25 %m Co

C_0 = 22,25 %m Co

(2 pts)

1.f) Traitement thermique applicable à un alliage Ti – 7%m Co .

Dans la case-réponse, répondez par **TM** *ou* **DS** *et justifiez votre réponse :*

L'alliage considéré (7 %m Co) a la composition du point eutectoïde Y. Pour des températures supérieures comprises entre 685 et ≅ 1300°C, cet alliage est monophasé et est constitué uniquement de (βTi), de structure cubique centrée (CC) . Puisque qu'à basses températures (< 685 °C), le titane subit une transformation allotropique et doit alors être de structure hexagonale compact (HC), il est possible d'envisager un traitement thermique impliquant une transformation martensitique de l'alliage, de façon analogue à la méthode appliquée à un acier eutectoïde au carbone.

Rappel : au cours d'un traitement de durcissement structural, il n'y a pas de transformation allotropique de la matrice au cours de la trempe.

Traitement : TM

(1 pt)

2. EXERCICE n° 2

2.a) Température minimale d'austénitisation θ_A.

C'est la température notée **A_3** sur le diagramme TTT

θ_A = **770 - 780** °C	(1 pt)

2.b) Caractéristiques de la transformation isotherme à 650 °C.

Complétez le tableau ci-dessous en précisant bien quels sont les constituants présents dans l'acier au cours de l'étape considérée :

Étape	Début (en s)	Fin (en s)	Constituants présents
1	**0**	**4 à 5**	**Austénite instable**
2	**4 à 5**	**50**	**Austénite instable + Ferrite primaire**
3	**50**	**800**	**Austénite instable + Ferrite primaire + Perlite**
4	**800**	**∞**	**Ferrite primaire + Perlite**
-----	-----	-----	------
-----	-----	-----	-----

(4 pts)

2.c) Dureté de l'acier après transformation isotherme à 650 °C.

Dureté = **12** HRC	(1 pt)

2.d) Constituants et dureté de l'acier après la trempe étagée.

Justification :

Après 3 à 4 secondes de maintien isotherme à 400 °C, l'austénite instable commence à se décomposer en bainite inférieure. Au bout de 30 secondes, 50 % de l'austénite s'est transformée en bainite inférieure.
Au cours de la trempe à l'eau à 25 °C, les 50 % d'austénite instable encore présente se transforment en martensite.
La dureté finale est indéterminée car il n'est pas possible de trouver la valeur exacte de cette dureté en appliquant la règle des mélanges aux duretés des constituants (bainite + martensite). En effet, les 50 % de bainite formée à 400 °C ont une dureté inférieure à 37 HRC, dureté qu'aurait l'acier si la transformation bainitique avait été complète. Cette bainite contient moins de précipités durcissants que celle que l'on obtiendrait au cours d'une transformation bainitique complète. D'autre part, la martensite formée est moins sursaturée en carbone que celle d'une martensite qui serait obtenue par la transformation de la totalité de l'austénite au cours d'une trempe directe. La dureté de cette martensite est donc inférieure à 63 HRC.

Constituants : **bainite inférieure + martensite**	(2 pts)
Dureté = **indéterminée** HRC	

Sous - total =

3. EXERCICE n° 3

3.a) Contrainte maximale s'exerçant sur la pièce en service :

Justification :

$$\sigma_{max} = F_{max}/S_0 = F_{max}/(eW)$$

σ_{max} = 350 MPa (1 pt)

3.b) Rapport R caractérisant le chargement cyclique :

Justification :

$$R = \sigma_{min}/\sigma_{max} = F_{min}/F_{max} = 52{,}5/525 = 0{,}1$$

R = 0,1 (1 pt)

3.c) Facteur critique d'intensité de contrainte K_{IC} de l'acier

Justification :

À l'instant de la rupture brutale de la pièce, le facteur d'intensité de contrainte K associé à la fissure est égal au facteur critique d'intensité de contrainte caractérisant la ténacité de l'acier : $K = K_{IC} = \alpha_f \sigma_{max}\sqrt{\pi a_f}$

Avec les valeurs numériques donnée, on obtient K_{IC} = 190,87 MPa.m^{½}:

K_{IC} = 191 MPa.m^{½} (1 pt)

3.d) Profondeur minimale a_i de la rayure

Justification : Puisque la fissure commence à se propager dès le 1er cycle de chargement, la valeur du ΔK qui lui est associé est donc au moins égale à celle du seuil de propagation ΔK_S de l'acier. On obtient ainsi : $\Delta K_S = \alpha_i \Delta\sigma\sqrt{\pi a_i} = \alpha_i(\sigma_{max} - \sigma_{min})\sqrt{\pi a_i}$.

On en déduit ainsi la valeur de a_i : $a_i = \dfrac{1}{\pi}\left(\dfrac{\Delta K_S}{\alpha_i(\sigma_{max} - \sigma_{min})}\right)^2$

a_i = 64 μm (2 pts)

3.e) Nombre N_f de cycles de sollicitation subis par la pièce jusqu'à sa rupture

Justification :

Relation de Paris-Erdogan : $da/dN = C\Delta K^n = C\left(\alpha\Delta\sigma\sqrt{\pi a}\right)^n = C\left(\alpha\Delta\sigma\sqrt{\pi}\right)^n a^{n/2} = Ba^{n/2}$ (1)

avec : $B = C\left(\alpha\Delta\sigma\sqrt{\pi}\right)^n$ et $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} = \sigma_{max} - \sigma_{max}/10 = 0{,}9\sigma_{max}$ (2)

En séparant les variables **a** et **N** de l'équation (1), on obtient une équation que l'on peut intégrer :

$$\mathrm{dN} = \frac{1}{\mathrm{B}}\frac{\mathrm{da}}{\mathrm{a}^{n/2}} \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad [N]_{a_i}^{a_f} = \frac{1}{B}\int_{a_i}^{a_f} a^{-n/2}\,da \qquad (3)$$

Comme l'exposant **n** est égal à 4, l'équation (3) s'écrit :

$$[N]_{a_i}^{a_f} = \frac{1}{B}\int_{a_i}^{a_f} a^{-n/2}\,da = \frac{1}{B}\int_{a_i}^{a_f}\frac{da}{a^2} = \frac{1}{B}\left[\frac{-1}{a}\right]_{a_i}^{a_f} = \frac{1}{B}\left[\frac{1}{a_i} - \frac{1}{a_f}\right] \qquad (4)$$

Avec les valeurs suivantes (**C** = 5*10^{-12} ; **α** = 1,45 ; **$\Delta\sigma_{max}$** = 315 MPa) → **B** = 2,1478.

Les bornes d'intégration sont : **a_i** = 64 μm = 6,4*10^{-5} m et **a_f** = 32 mm = 3,2*10^{-2} m

On obtient: $N_f = \dfrac{1}{B}\left[\dfrac{1}{a_i} - \dfrac{1}{a_f}\right] = \dfrac{1}{2{,}1478}\left[\dfrac{1}{6{,}4*10^{-5}} - \dfrac{1}{3{,}2*10^{-2}}\right] = 7260$

N_f = 7260 (3 pts)

Sous-total = 8 pts
Total : 25 pts

ANNEXES

Exercice n° 1

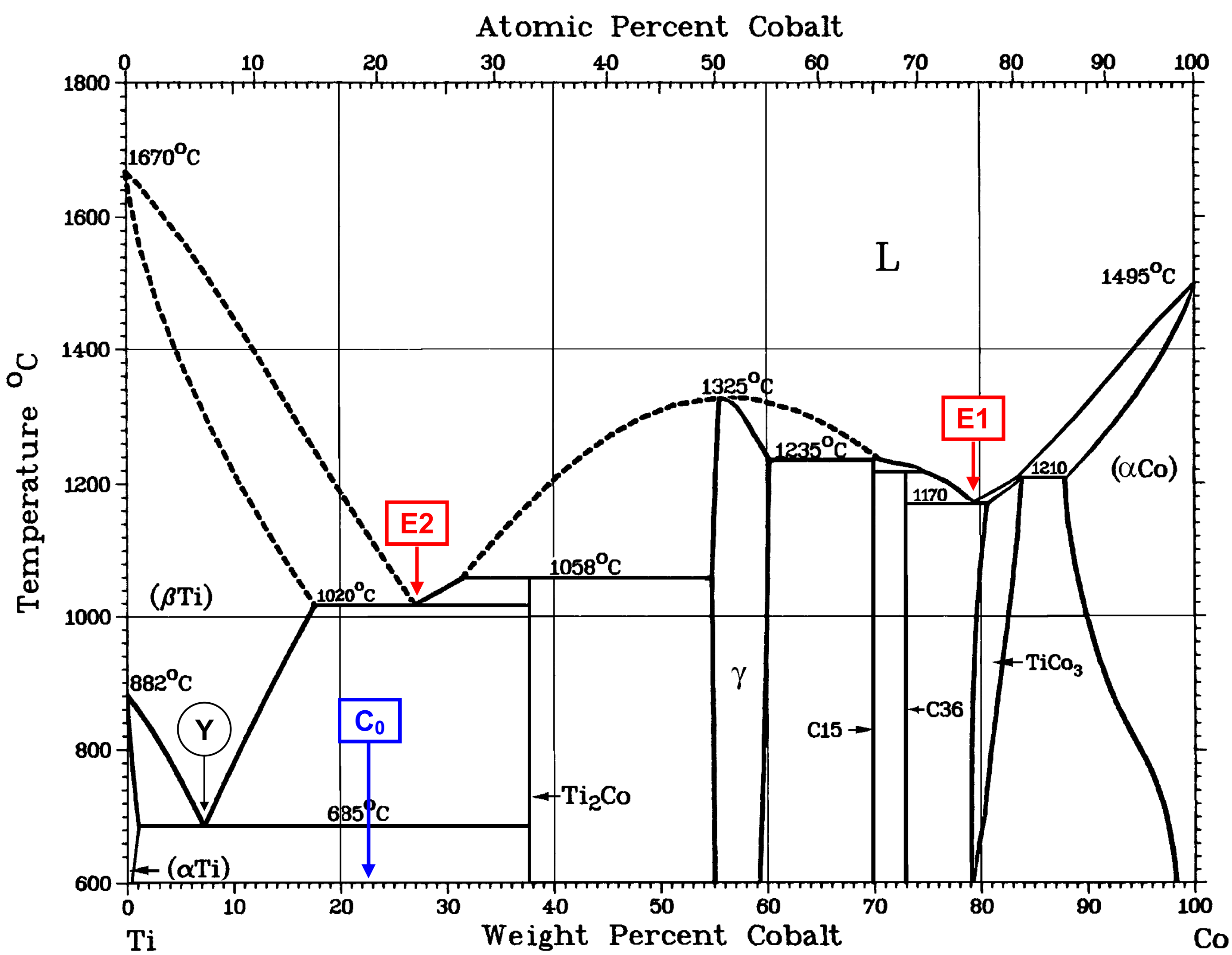

Diagramme de phases titane – cobalt (Ti – Co)