

MATÉRIAUX DE L'INGÉNIEUR

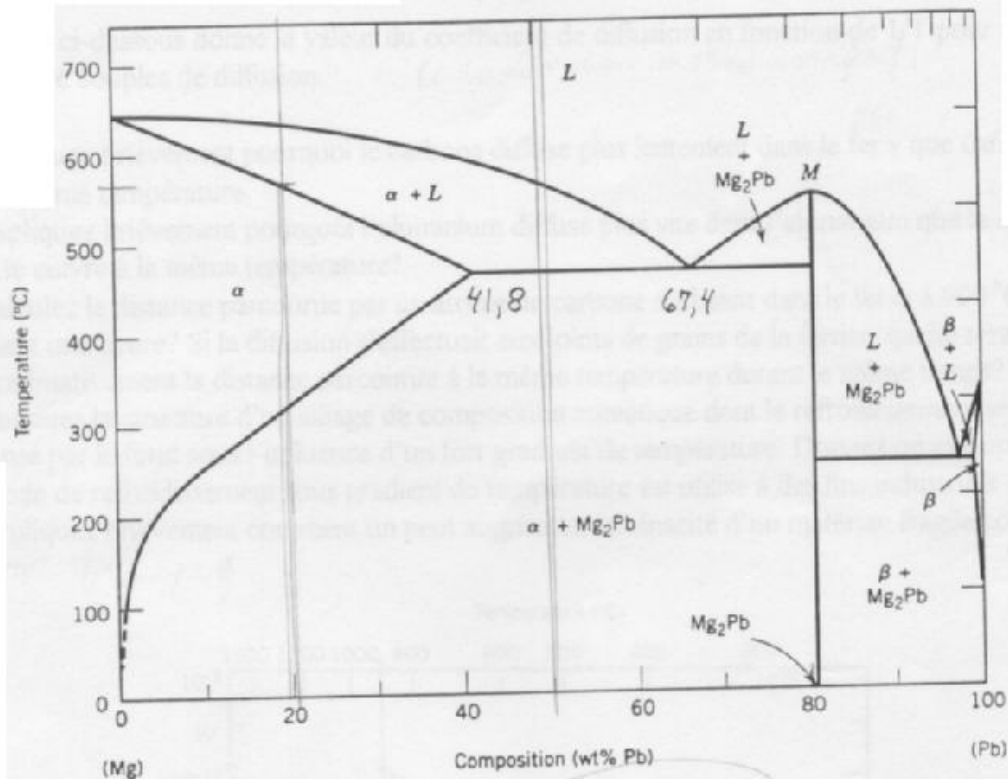
Cours: GML-10463

Professeur: Michel Fise

Date: Mardi le 10 novembre 1998

Durée: 8h30 à 10h25

- I - (25 points)



Un alliage **Mg - Pb** dont la composition est de 50 % en poids de Mg est refroidi à l'équilibre à partir de 700 °C.

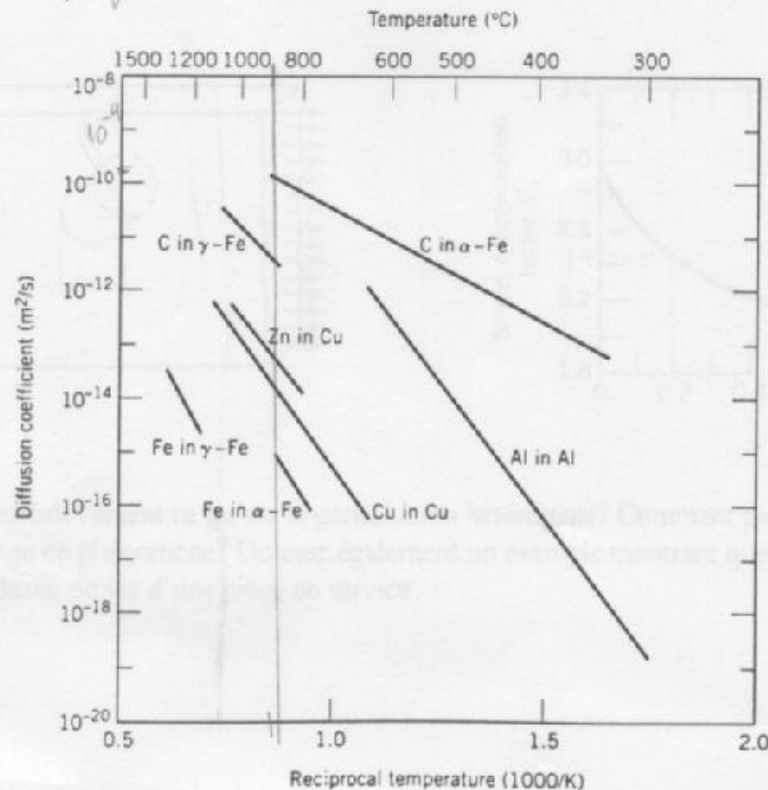
- À quelle température le premier germe de solide apparaît-il? Quelle est la composition de ce solide?
- À une température de 100°C, quelle fraction du poids total de l'alliage a l'aspect d'un eutectique?
- Quelles sont les compositions et les proportions des solides un peu en dessous de la température eutectique?

- d) Dessinez une plage représentative de la structure d'un alliage contenant 80 % en poids de magnésium après un refroidissement très lent à partir de 500°C? (L'alliage a séjourné pendant plusieurs heures à cette dernière température). Préciser également la composition et la proportion des phases dans cette structure à la température de la pièce.
- e) Dessinez une plage représentative de la structure d'une petite pièce d'un alliage contenant 10% en poids de Pb après trempe à l'eau à partir de 500°C? (L'alliage a séjourné pendant plusieurs heures à cette dernière température).

- II - (25 points)

La figure ci-dessous donne la valeur du coefficient de diffusion en fonction de $1/T$ pour un bon nombre de couples de diffusion. *ce sont au moins complé*

- a) Expliquez brièvement pourquoi le carbone diffuse plus lentement dans le fer γ que dans le fer α à la même température. *(FC)*
- b) Expliquez brièvement pourquoi l'aluminium diffuse plus vite dans l'aluminium que le cuivre dans le cuivre à la même température? *(CC)*
- c) Calculez la distance parcourue par un atome de carbone diffusant dans le fer α à 900 °C pendant une heure? Si la diffusion s'effectuait aux joints de grains de la ferrite, quelle serait approximativement la distance parcourue à la même température durant le même temps? *(FC)*
- d) Dessinez la structure d'un alliage de composition eutectique dont le refroidissement se serait effectué par le fond sous l'influence d'un fort gradient de température. Donnez un exemple où ce mode de refroidissement sous gradient de température est utilisé à des fins industriels.
- e) Expliquez brièvement comment on peut augmenter la ténacité d'un matériau fragile comme le verre? *Trempe*



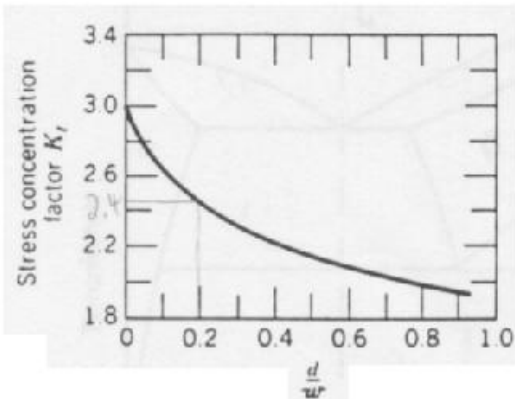
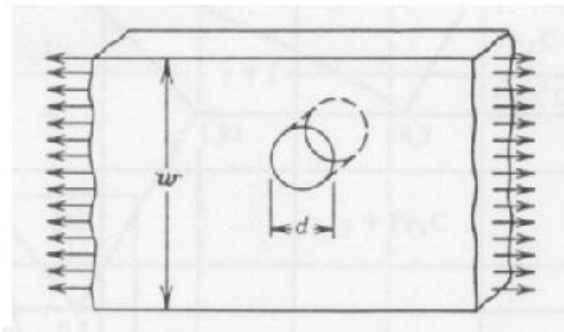
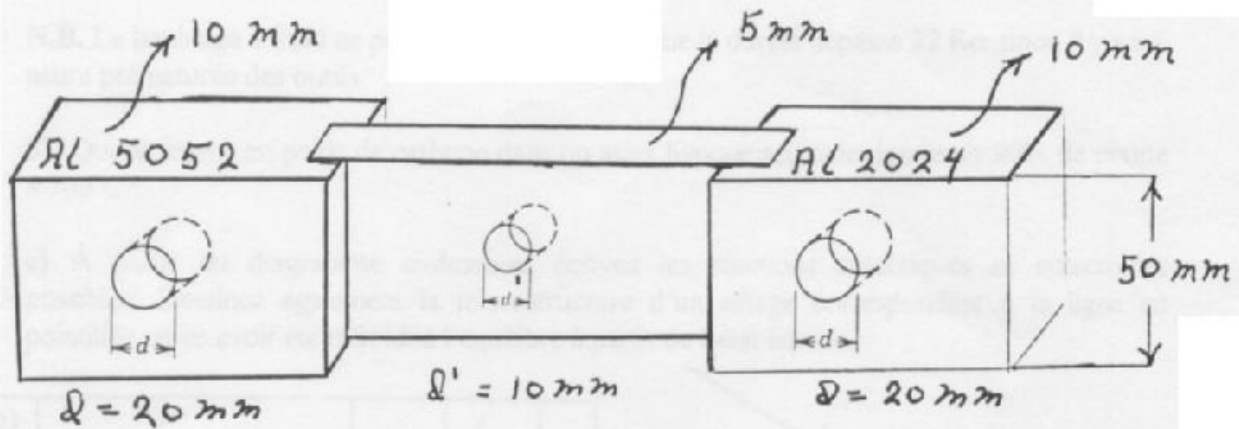
- III - (15 - 5 - 5 points)

a) Une plaquette d'alumine (céramique) est encastree entre deux plaquettes d'aluminium comme le montre la figure ci-dessous. Les propriétés mécaniques de ces trois matériaux sont les suivantes :

	Al_2O_3	Al (5052)	Al (2024)
$R_{e,0.2}$ (MPa)	-	90	210
R_m (MPa)	250	200	240
A (%)	0	30	12

i) Sous quelle force appliquée, la plaquette d'alumine va-t-elle se briser? Alors, que se passera-t-il au voisinage des trous dans les deux nuances d'aluminium?

ii) Quel alliage d'aluminium est le plus tenace? Justifiez votre réponse par des calculs.



b) Expliquez brièvement ce qu'est la germination hétérogène? Comment peut-on exploiter à notre avantage ce phénomène? Donnez également un exemple montrant que ce processus peut modifier la durée de vie d'une pièce en service.

c) Le polonium est le seul élément présentant une structure cubique simple à la température de la pièce. Identifiez à l'aide d'un schéma un plan et une direction facile de glissement pour cet élément. À partir de vos connaissances, peut-on dire que ce métal sera aussi ductile que le cuivre? Commentez brièvement.

- IV - (16 - 4 - 5 points)

a) On veut fabriquer des tiges de 0,7 cm de diamètre en inox 305 qui doivent répondre aux critères suivants :

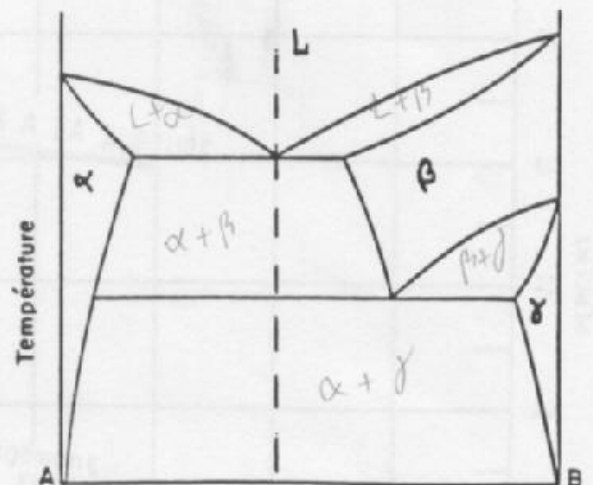
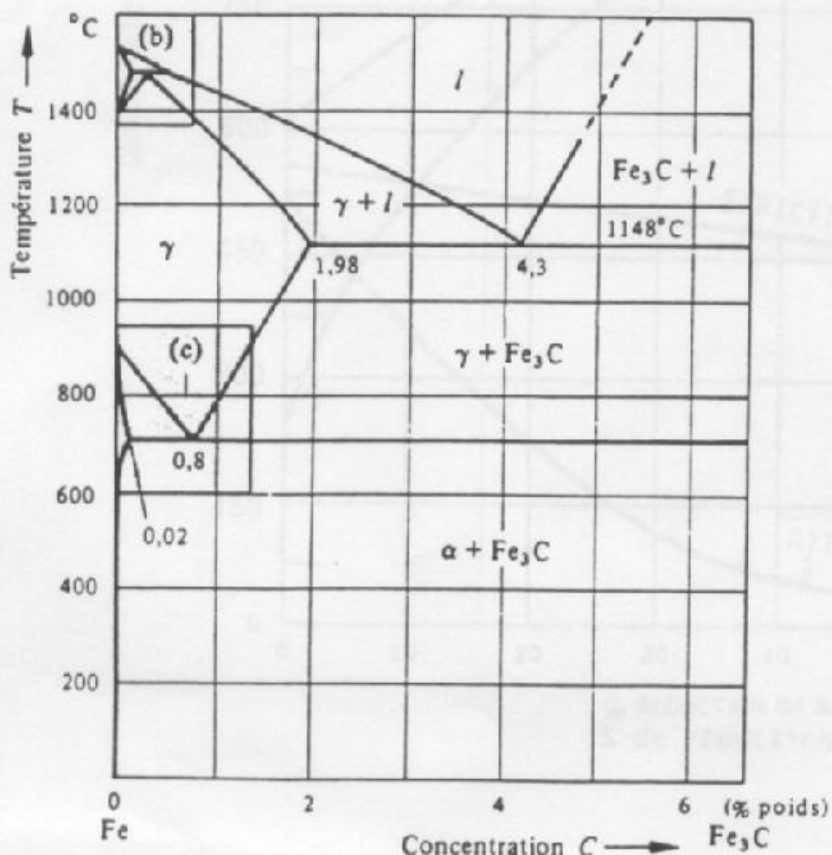
- afin de pouvoir être mis en forme par pliage, l'allongement à la rupture en % doit être supérieur à 20%;
- pour résister à un certain degré d'usure par abrasion, la dureté doit être supérieure à 24 Rc;
- la résistance (ultimate strength) doit être supérieure à 775 MPa.

Sachant que le matériau est reçu sous forme de tiges de 1,2 cm de diamètre dont la dureté est de 32 Rc, établissez en détail la procédure à suivre.

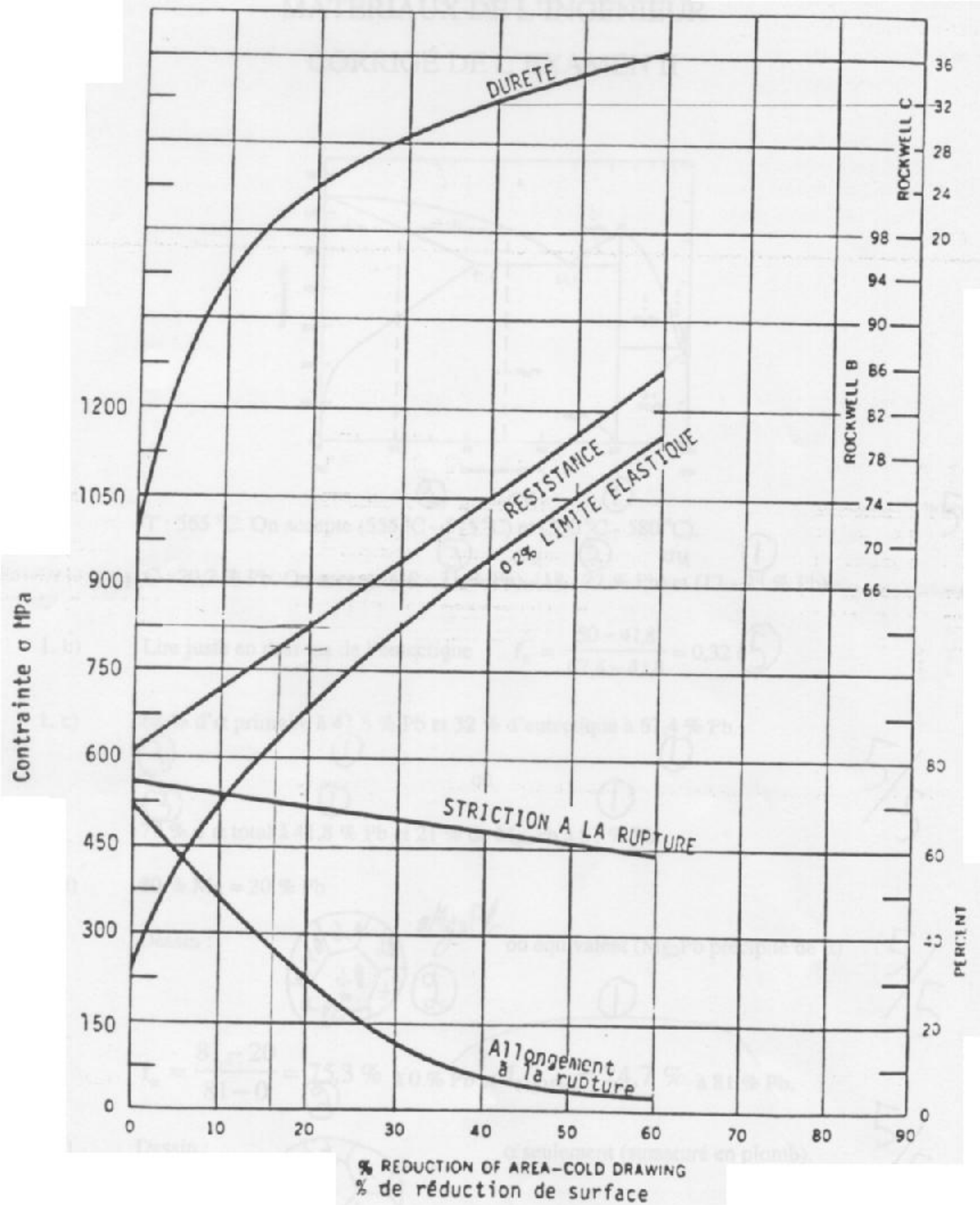
N.B. Le laminage à froid ne peut être poursuivi lorsque la dureté dépasse 32 Rc, sinon il y aura usure prématurée des outils.

b) Quelle teneur en poids de carbone dans un acier hypo-eutectoïde donnerait 90% de perlite à 700°C?

c) À partir du diagramme ci-dessous, écrivez les réactions eutectiques et eutectoides possibles. Dessinez également la microstructure d'un alliage correspondant à la ligne au pointillée après avoir été refroidi à l'équilibre à partir de l'état liquide.



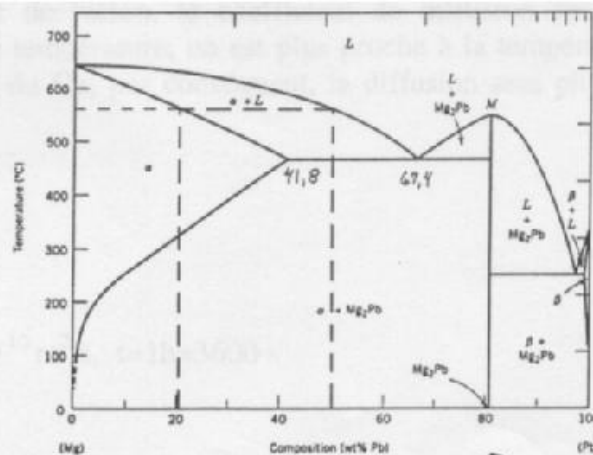
Type 305



MATÉRIAUX DE L'INGÉNIEUR

CORRIGÉ DE L'EXAMEN II

1. a)



T : 565 °C. On accepte (555 °C - 575 °C) et (550 °C - 580 °C).

C : 20,2 % Pb. On accepte (19 - 21 % Pb), (18 - 22 % Pb) et (17 - 23 % Pb).

1. b) Lire juste en dessous de l'eutectique

$$f_E = \frac{50 - 41,8}{67,4 - 41,8} = 0,32$$

1. c) 68 % d'α primaire à 41,8 % Pb et 32 % d'eutectique à 67,4 % Pb.

③

①

ou

③

①

①

79 % d'α total à 41,8 % Pb et 21 % de Mg₂Pb à 81 % Pb.

1. d) 80 % Mg = 20 % Pb

Dessin :



Mg₂Pb

ou équivalent (Mg₂Pb précipite de α)

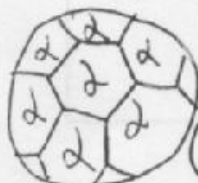
②

①

$$f_\alpha = \frac{81 - 20}{81 - 0} = 75,3\% \text{ à } 0\% \text{ Pb et } f_{\text{Mg}_2\text{Pb}} = 24,7\% \text{ à } 81\% \text{ Pb.}$$

②

1. e) Dessin :



α seulement (sursaturé en plomb).

⑤

Question #2

- a) Le fer γ , avec une structure cfc, est plus compact que le fer α , avec une structure cc. [5]
- b) La température de fusion de l'Al est plus basse que celle du Cu. Plus la température est proche du point de fusion, le coefficient de diffusion sera plus élevé. Donc, à n'importe quelle température, on est plus proche à la température de fusion de l'Al, comparé à celle du Cu, par conséquent, la diffusion sera plus rapide dans l'Al que dans Cu. [5]

c)

i) $x = K\sqrt{Dt}$

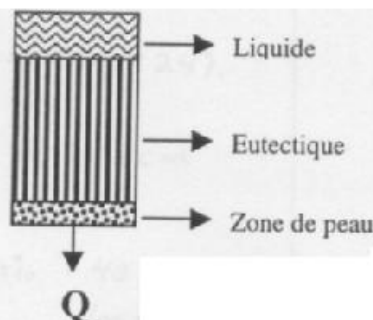
$K \approx 1, D = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}, t = 1\text{h} = 3600 \text{ s}$

$X = 0.6 \text{ mm}$

[3]

- ii) La diffusion aux joints de grains est 10 à 100 fois plus rapide que dans les grains. [2]

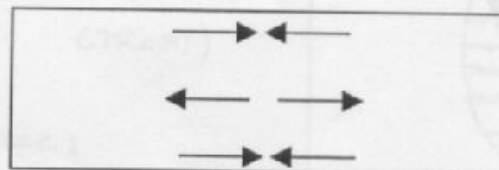
d)



[3]

Application :
Fabrication des ailettes de moteur d'avion. [2]

- e) Verre trempé : La surface est refroidie plus rapidement que le cœur est refroidi lentement. Cela crée une contrainte de compression à la surface qui empêche la création et la propagation des fissures. [5]



Question 4) a) On veut: Diamètre final = 9,7 cm
(25 points) (16)

$$A1. > 20\%$$

$$\text{Dureté} > 24 \text{ Rc}$$

$$\text{Résistance} > 775 \text{ MPa}$$

$$\text{On a: } D_{\text{initial}} = 1,2 \text{ cm}$$

$$\text{Dureté} = 32 \text{ Rc}$$

$$CW_{\text{max}} = 40\% \quad (1)$$

(car dureté max = 32 Rc)

$$\text{Contraintes finales: } A1. > 20\% \Rightarrow CW < 27\% \quad (1)$$

$$\text{Dureté} > 24 \text{ Rc} \Rightarrow CW > 20\% \quad (1)$$

$$\text{Résistance} > 775 \text{ MPa} \Rightarrow CW > 16\% \quad (1)$$

$$\text{Donc: entre } 20\% CW > CW_{\text{final}} > 27\% CW$$

$$\text{On prend } 24\% CW_{\text{final}} \quad (2)$$

CW \Rightarrow réduction d'aire

$$\frac{\frac{\pi d_i^2}{4} - \frac{\pi d_f^2}{4}}{\frac{\pi d_i^2}{4}} \times 100\% = \% CW$$

$$\text{ou } \frac{d_i^2 - d_f^2}{d_i^2} \times 100\% = \% CW \quad (1)$$

CALCULS (6) %

Dernière passe

$$\left(1 - \frac{0,7^2}{d_i^2}\right) \times 100\% = 24\%$$

$$\text{on trouve } d_i = 0,8 \text{ cm}$$

avant-dernière passe

$$1 - \frac{0,8^2}{d_i^2} \times 100\% = 40\% \quad (\text{on pourrait prendre } 39\%)$$

$$\text{on trouve } d_i = 1,033 \text{ cm}$$

avant-avant-dernière passe

$$1 - \frac{1,033^2}{d_i^2} \times 100\% = 40\%$$

$$\text{on trouve } d_i = 1,33 \text{ cm} \quad (\text{TRAP!})$$

Donc, avant-avant-dernière passe:

$$1 - \frac{1,033^2}{1,22^2} \times 100\% = ? \quad \% CW = 25,9\%$$

Sebastien Suard

a) (suite)

Il faut faire un recuit au début pour ne pas dépasser 32 Rc de dureté. (1)

Donc, réponse:

1- Recuit

2- CW 25,9%

3- Recuit

4- CW 40% (2)

5- Recuit

6- CW 24%

b)

$$\frac{x - 0,02}{0,8 - 0,02} \times 100\% = 90\%$$

$$x = 0,722\% C$$

c)

Eutectique: $L \rightarrow \alpha + \beta$ (1)

Eutectoïde: $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$ (1)

Microstructure: eutectoïde dans un eutectique



agrandissement



γ de l'eutectoïde
 α de l'eutectoïde

α de l'eutectique

Pour plus de précision, on aurait pu ajouter les fins précipités formés sous la température eutectoïde.