

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX

SCIENCES PHYSIQUES APPLIQUÉES

Sous-épreuve commune aux deux options

- U 4.1 -

SESSION 2024

Durée : 2 heures

Coefficient : 2

Matériel autorisé :

- L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
- L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet comporte 9 pages, numérotées de 1/9 à 9/9.

BTS TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX Sciences Physiques Appliquées	Session 2024
Sous-épreuve commune aux deux options – U4.1	Code : 24TM41AB Page 1 sur 9

Le sujet s'intéresse à une entreprise qui fabrique des pignons en acier fritté.

Il comporte 3 exercices indépendants.



Source : <http://www.ames-sintering.com>

Exercice n°1 : Fabrication de pignons en acier fritté – 3,5 points

Les composants en acier fritté ont pris une place grandissante dans les applications automobiles.

Avec une influence directe sur les propriétés mécaniques, la densité est une caractéristique essentielle de ces matériaux.

« Plus communément appelé « frittage », la technologie de la métallurgie des poudres a vu le jour au XIX^e siècle aux États-Unis.

Les principaux avantages sont :

- une grande précision ;
- une adaptabilité aux cadences en grande série ;
- peu de perte de matière ;
- peu ou pas d'opération de reprise ;
- un état physique « poreux » qui favorise l'accroche des huiles lubrifiantes.

A contrario :

- le design des pièces impose le respect de règles touchant la nécessité de dépouilles et l'impossibilité de trous « directs » dans le sens radial ;
- les évolutions de formes nécessitent des modifications d'outillage (matrice / poinçon) qui engendrent des coûts importants ;
- une dispersion des propriétés mécaniques due à l'hétérogénéité du taux de porosité est observée. »

D'après l'article « Estimation de la densité des aciers frittés » - Fabrice Chassard PSA et Alexandra Gargiulo IUT Mulhouse

Le frittage entraîne l'apparition de porosités dans le matériau : les pignons produits par l'entreprise seront donc naturellement poreux.

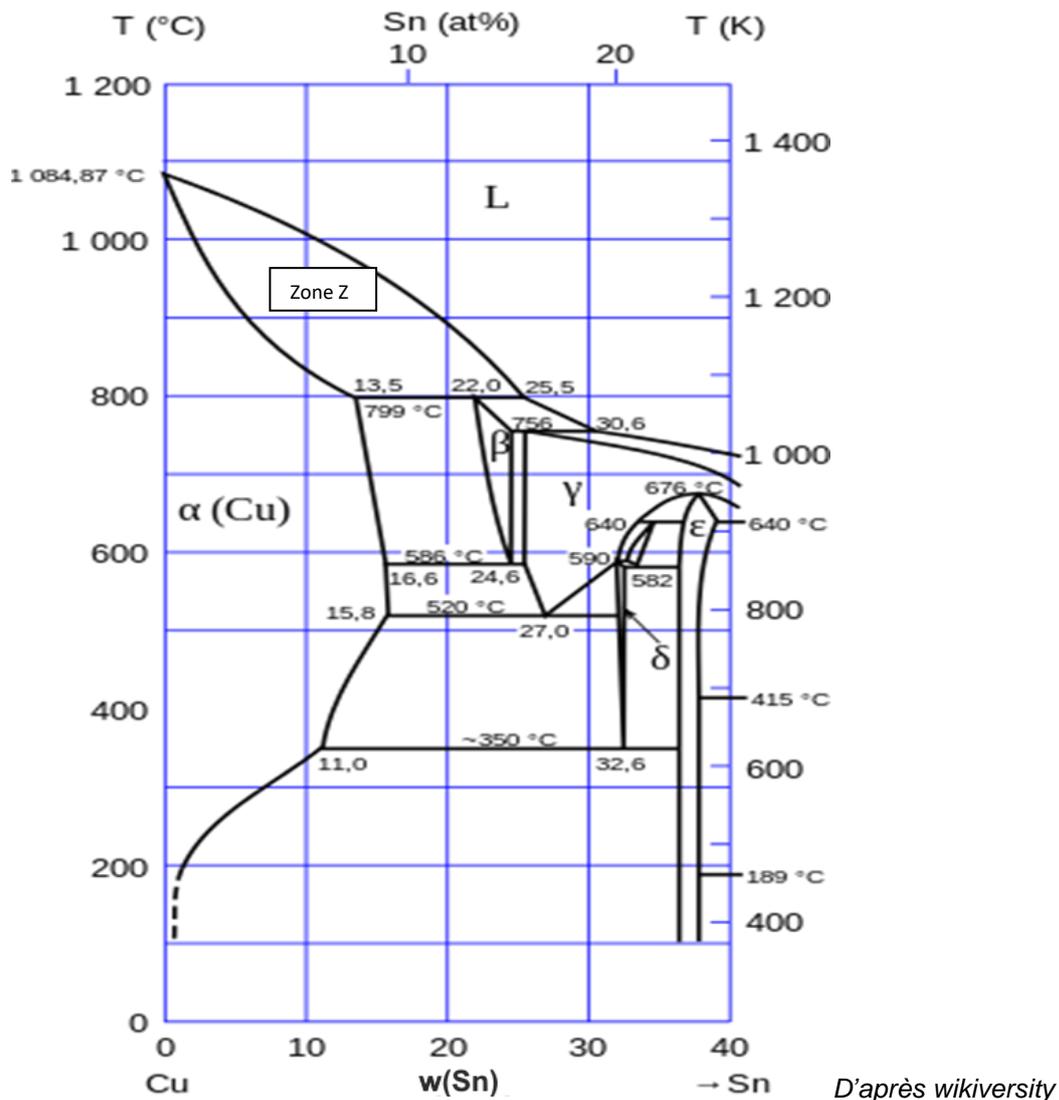
1. En vous aidant des informations fournies sur cette technologie, indiquer un avantage lié à cette porosité.

Afin de réduire la porosité des pignons, l'entreprise envisage une nouvelle technique de densification à chaud fondée sur l'infiltration d'un alliage à point de fusion inférieur, le bronze (alliage de cuivre et d'étain).

Une rondelle de bronze sera posée sur chacun des 80 pignons constituant la charge. Lors du traitement thermique, le bronze fondra puis remplira les pores du pignon.

BTS TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX Sciences Physiques Appliquées	Session 2024
Sous-épreuve commune aux deux options – U4.1	Code : 24TM41AB Page 2 sur 9

Le diagramme d'équilibre Cuivre – Étain (Cu – Sn) est le suivant :



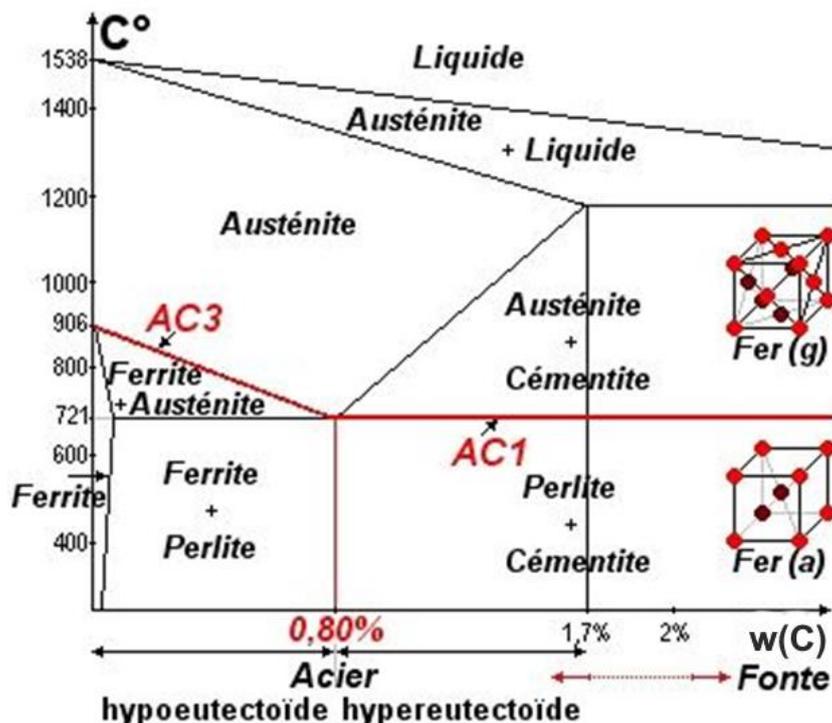
2. Préciser la nature des phases présentes dans la zone Z du diagramme Cu-Sn.

On utilise pour les rondelles un bronze particulier dont la composition en masse en étain est $w(\text{Sn}) = 10 \%$.

3. Identifier la température à laquelle se forme la première goutte de bronze liquide.
4. Identifier la température à laquelle on obtient le bronze intégralement sous forme liquide afin de remplir les pores de la pièce en acier fritté.

Les rondelles en bronze ont toujours une composition en masse en étain $w(\text{Sn}) = 10 \%$ et la composition en masse en carbone de l'acier servant à fabriquer les pignons est $w(\text{C}) = 0,30 \%$.

Le diagramme d'équilibre Fer – Cémentite (Fe – Fe₃C) est le suivant :



D'après coutellerie AP

- En exploitant les diagrammes, justifier que la température du four doit être comprise entre 1 000 °C et 1 400 °C.

Exercice n°2 : Contrôle du taux de porosité et refroidissement à eau du four – 8,5 points

Partie A : Contrôle du taux de porosité

Le contrôle du taux de porosité des pignons s'effectue par détermination précise de la densité fondée sur la mesure de la poussée d'Archimède.

Cette méthode, qui permet de réduire le temps d'expertise, est complémentaire de l'examen micrographique avec relevé du taux de porosité par analyse d'image.

La relation exacte entre densité et porosité est complexe mais le taux de porosité sera conforme si la densité de la pièce est comprise entre 6,1 et 6,6.

Essais :

L'entreprise utilise un dynamomètre mécanique à aiguille de haute précision.

Le pignon en acier fritté est d'abord suspendu au dynamomètre (**mesure n°1 : 3,20 N**) puis plongé entièrement dans de l'eau tout en restant suspendu au dynamomètre (**mesure n°2 : 2,70 N**).

Données :

Tout corps plongé dans l'eau liquide subit une force A appelée poussée d'Archimède :

$$A = \rho_{\text{eau}} \cdot V_i \cdot g \quad \text{avec } g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2};$$

V_i est le volume en m^3 de l'objet immergé dans l'eau ;

$\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, masse volumique de l'eau.

1. Calculer, à partir des résultats expérimentaux, la masse d'un pignon.
2. Montrer, à partir des deux mesures, que la valeur de la poussée d'Archimède est proche de $A = 0,50 \text{ N}$.
En déduire le volume V_i de pignon immergé dans l'eau.
3. Conclure quant à la conformité de la pièce.

Partie B : Dimensionnement du système de refroidissement à eau

Afin de fabriquer un acier fritté au carbone, il est nécessaire de pouvoir chauffer par induction la pièce.

Lors de cette phase, les bobines inductrices chauffent elles aussi et un technicien est chargé de dimensionner la pompe du système de refroidissement à eau, c'est-à-dire de déterminer la puissance utile de la pompe.

Le diamètre de la tuyauterie est imposé : $D = 25 \text{ mm}$.

Afin de refroidir les bobines, un débit de 39 litres d'eau par minute est nécessaire.

4. Nommer le phénomène responsable de l'échauffement des bobines.
5. Déterminer le débit en volume Q_v de l'eau en mètre cube par seconde et en mètre cube par heure puis montrer que le débit en masse Q_m vaut $0,65 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Un débitmètre se connecte directement au tuyau dans lequel a lieu l'écoulement.

La fiche technique de différents débitmètres à flotteur métallique pour un diamètre de tuyauterie de 25 mm (GMT2) est la suivante :

Diamètre / modèle	Code débit	Eau (20°C)	Air ATP (m^3/hr)	D P max (mbar)
25mm (GMT2)	1	0,1 – 1,0 m^3/h	3,0 - 30	15
	2	0,2 – 1,6 m^3/h	4,0 - 50	30
	3	0,2 – 2,5 m^3/h	10 - 75	35
	4	0,4 – 4,0 m^3/h	12 - 120	80
	5	0,6 – 6,0 m^3/h	20 - 200	160
	6	1,0 – 10,0 m^3/h	40 - 360	400

D'après fiche technique FLOW DS1220

6. Indiquer les débitmètres que le technicien pourrait choisir pour surveiller l'installation en justifiant votre réponse.

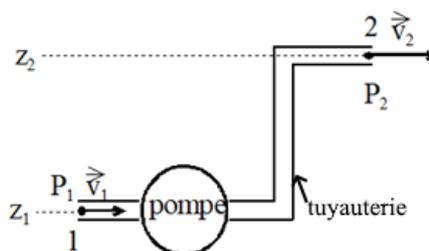
L'objectif est à présent de déterminer la puissance de la pompe en appliquant le théorème de Bernoulli.

Données :

Dans le cas de fluides incompressibles en régime permanent, la circulation du fluide sur une ligne de courant de 1 à 2 peut être modélisée par l'équation de Bernoulli :

$$W_{12} + J_{12} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + g \cdot (z_2 - z_1)$$

- ρ : masse volumique (en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) du fluide qui circule ;
- W_{12} : énergie massique en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($W_{12} > 0$) ;
- J_{12} : pertes de charge en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($J_{12} < 0$) ;
- V_1 et V_2 représentent les vitesses ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) du fluide respectivement aux points 1 et 2 ;
- z_1 et z_2 représentent les altitudes (en m) des points 1 et 2 ;
- P_1 et P_2 représentent les pressions aux points 1 et 2. Ces 2 pressions seront considérées égales $P_1 = P_2$.
- **Les pertes de charges ont pour expression :** $J_{12} = -\frac{\lambda \cdot V^2 \cdot L}{2 \cdot D}$



avec : λ (sans unité) : coefficient de pertes de charge qui dépend du type d'écoulement ;

V : vitesse en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

D : diamètre de la tuyauterie en m ;

L : longueur de la tuyauterie en m.

- **Nombre de Reynolds :** $R = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\text{vitesse} \times \text{diamètre}}{\text{viscosité}}$

avec : V = vitesse ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ;

ν = viscosité cinématique du fluide en $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

si $R < 2\,000$	$\lambda = \frac{64}{R}$	écoulement laminaire de Poiseuille
si $2\,000 < R < 10^5$	$\lambda = 0,316 \cdot R^{-0.25}$	écoulement turbulent lisse de Blasius
si $R > 10^5$	$\lambda = 3,5 \cdot 10^{-2}$	écoulement turbulent rugueux

Dans la suite de l'exercice :

- le technicien considère une longueur totale de tuyauterie $L = 10 \text{ m}$;
 - la tuyauterie présente une dénivellation de 2,0 m donc $z_2 - z_1 = 2,0 \text{ m}$;
 - la viscosité cinématique de l'eau est égale à $\nu = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$;
 - la vitesse d'écoulement est constante dans la tuyauterie et vaut $1,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
7. Déterminer le type d'écoulement prenant place dans cette tuyauterie et en déduire le coefficient de pertes de charge λ .
 8. Montrer que, dans ces conditions, les pertes de charges J_{12} ont une valeur proche de $J_{12} = - 8,17 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.
 9. Montrer que la valeur de l'énergie massique W_{12} que doit fournir la pompe est proche de : $28 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.
 10. Exprimer la puissance P de la pompe en fonction de l'énergie massique W_{12} et du débit en masse Q_m .
Déterminer la valeur de cette puissance.

Exercice n°3 : Nickelage des pignons – 8 points

Un dépôt de nickel est réalisé sur les pignons fabriqués. Le procédé choisi est un nickelage chimique.

Ce procédé consiste à immerger la pièce à traiter dans un bain contenant des sels de nickel et un réducteur. Les ions nickel vont se réduire en nickel métal et se déposer sur le substrat. L'agent réducteur est de l'hypophosphite produisant un alliage nickel/phosphore. La caractéristique la plus remarquable est celle de la régularité des épaisseurs.

Le dépôt est en effet capable de recouvrir de manière régulière des pièces de géométries complexes comportant des arrêtes, angles et alésages profonds. Le nickel chimique Ni/P présente également une dureté importante en particulier après un traitement thermique entraînant la précipitation Ni_3P .

Extrait de : <https://www.a3ts.org/actualite/commissions-techniques/fiches-techniques-traitement-surface/nickel-chimique-nip-version-5/>

1. Identifier deux intérêts de la réalisation d'un traitement de nickelage chimique sur les pignons.

Lors de la réduction des ions nickel $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$ en atomes de nickel Ni , les ions hypophosphite $\text{H}_2\text{PO}_2^-(\text{aq})$ s'oxydent en ions orthophosphite $\text{H}_2\text{PO}_3^-(\text{aq})$.

2. Écrire les demi-équations électroniques de chaque couple puis en déduire l'équation de la réaction d'oxydo-réduction modélisant la transformation ayant lieu dans le bain de nickelage chimique.

Par ailleurs, les ions hypophosphite sont instables dans l'eau. La réaction de nickelage s'accompagne d'un dégagement de dihydrogène. La réaction se produisant met en jeu les couples $H^+(aq)/H_2(aq)$ et $H_2PO_3^-(aq)/H_2PO_2^-(aq)$.

3. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation qui accompagne la réaction de nickelage.
4. Indiquer si la valeur du potentiel $E(H_2PO_3^-(aq)/H_2PO_2^-(aq))$ est supérieur ou inférieur à celle de $E(H^+(aq)/H_2(aq))$. Justifier.

Selon la valeur du pH , les ions hypophosphite réagissent pour conduire à la formation de phosphore P.

5. Déterminer le nombre d'oxydation du phosphore dans l'ion hypophosphite, puis dans le phosphore P.
6. En déduire si la réaction électrochimique modélisant la transformation de l'hypophosphite en phosphore est une oxydation ou une réduction. Justifier.

L'entreprise dispose d'une cuve contenant un volume $V = 1\,000\text{ L}$.

Le bain est une solution de sulfate de nickel (II) ($Ni^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$) et d'hypophosphite de sodium ($Na^+(aq) + H_2PO_2^-(aq)$).

Pour que le fonctionnement du bain soit optimum, un technicien doit préparer une solution de sulfate de nickel hexahydraté de concentration en masse optimale de $25\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Extrait de la Fiche De Sécurité (FDS) du flacon commercial de sulfate de nickel :

1.1 Identificateur de produit

Identification de la substance : Nickel(II) sulfate hexahydraté 97 %, p.a., ACS

Numéro CE : 600-152-3

Numéro CAS : 10101-97-0

2.2 Éléments d'étiquetage

Étiquetage selon le règlement (CE) 1272/2008 (CLP)

Mention d'avertissement : Danger

Pictogrammes :

3.1 Substances

Formule moléculaire : $NiSO_4 \cdot 6 H_2O$

Masse molaire : $262,9\text{ g/mol}$



D'après <https://www.carlroth.com/medias/SDB-T111-FR-FR.pdf>

BTS TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX Sciences Physiques Appliquées	Session 2024
Sous-épreuve commune aux deux options – U4.1	Code : 24TM41AB Page 8 sur 9

7. Indiquer la signification des pictogrammes inscrits dans cette FDS.
8. Déterminer la masse de sulfate de nickel hexahydraté commercial à peser pour préparer 1 000 L d'une solution de concentration en masse d'une valeur de $25 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.
9. Calculer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions nickel, notée $[\text{Ni}^{2+}]$, dans le bain.

Un « turnover » correspond à une utilisation telle que tous les ions $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$ ont réagi.

10. Montrer que la valeur de la masse de nickel déposée pour un turnover est de 5,6 kg.

La masse molaire atomique du nickel est $M(\text{Ni}) = 58,7 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Le bain décrit peut fonctionner correctement jusqu'à sept turnovers, une même quantité de sulfate de nickel (II) hexahydraté étant ajoutée à chaque turnover.

11. Sachant que l'épaisseur de dépôt souhaitée est $e = 16 \text{ }\mu\text{m}$ et que sa masse volumique est estimée à $\rho = 7,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, déterminer le nombre de pignons de surface $S = 400 \text{ cm}^2$ qui peuvent être correctement nickelés lors des sept turnovers.