Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BTS TM

Sciences et techniques industrielles - Traitements des matériaux, option A : Traitements Thermiques

Session 2019 • Code sujet : **TM44A** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude du matériau moulé EN-GJL-250 (9 questions) **Page 3**

2. Étude du traitement thermique et de la nitruration en phase 40 (8 questions) **Page 7**

3. Étude des outils pour l’usinage des perçages (4 questions) **Page 11**

4. Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 14**

Sujet officiel (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2019/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2019 - 4-Sujet.pdf

1. Étude du matériau moulé EN-GJL-250

L'étude porte sur des plaques à clapets en fonte grise EN-GJL-250 destinées à des compresseurs, avec un graphite de type D et une matrice ferritique attendue. Les questions portent sur la désignation, la composition et la structure de la fonte, puis sur le traitement thermique et le contrôle micrographique nécessaires pour respecter le cahier des charges.

Question I.1. **Décoder complètement la désignation normalisée du matériau utilisé pour réaliser les plaques à clapets.**

EN indique la désignation normalisée européenne, **G** une fonte et **JL** une fonte à graphite lamellaire. Le nombre **250** correspond à la résistance minimale à la traction, en MPa. Il s'agit donc d'une fonte grise à graphite lamellaire définie par ses propriétés mécaniques.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Fonte à graphite lamellaire, de résistance minimale à la traction de 250 MPa.

Question I.2. **Indiquer si la plage de composition chimique de la fonte utilisée garantit d'avoir une fonte hypoeutectique. Justifier la réponse.**

On estime la tendance à l'eutecticité par le carbone équivalent : $CE = C + Si/3$. Aux limites de composition du sujet, $CE_{min} = 3{,}25 + 2{,}25/3 = 4{,}00$ et $CE_{max} = 3{,}65 + 3/3 = 4{,}65$. La composition eutectique est voisine de 4,3. La plage traverse donc cette valeur : elle autorise des compositions hypoeutectiques comme hypereutectiques.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Non. La plage de carbone équivalent, de 4,00 à 4,65, traverse la composition eutectique voisine de 4,3.

Question I.3. **Donner l'inconvénient d'avoir une fonte grise hypereutectique.**

Une fonte grise hypereutectique peut former du graphite primaire grossier lors de la solidification. Ces grosses lamelles fragilisent la matrice et amorcent plus facilement des fissures, ce qui réduit les propriétés mécaniques, notamment la résistance.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le graphite primaire grossier fragilise la fonte et diminue sa résistance mécanique.

Question I.4. **Parmi les éléments chimiques présents dans la composition de la fonte grise, préciser celui qui est prépondérant pour favoriser l'obtention d'une telle fonte.**

Le **silicium** est l'élément prépondérant favorisant l'obtention d'une fonte grise. Graphitisant, il favorise la formation de graphite plutôt que de cémentite.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le silicium, élément graphitisant.

Question I.5. Indiquer un paramètre autre que la composition chimique permettant de maîtriser la structure d'une fonte brute de coulée.

La **vitesse de refroidissement après coulée** permet de maîtriser la structure. Un refroidissement lent favorise la graphitisation, tandis qu'un refroidissement rapide favorise la formation de cémentite.

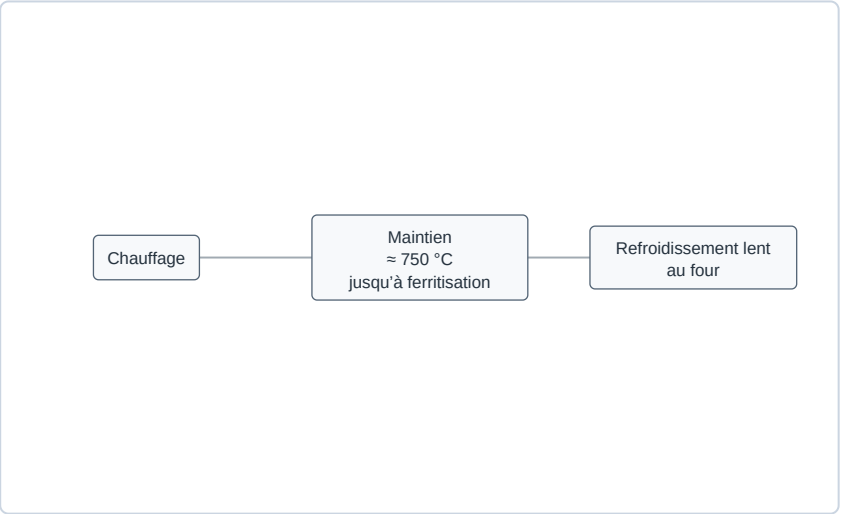
✓ RÉPONSE À RETENIR

La vitesse de refroidissement après coulée.

Question I.6. À la suite du moulage, la matrice observée en phase 20 est perlitique. Tracer, avant la phase 30, un cycle de traitement thermique permettant de retrouver la structure ferritique attendue et justifier tous les paramètres à l'aide de l'annexe appropriée.

Appliquer un recuit de ferritisation sous le point eutectoïde stable du diagramme fer-graphite. Chauffer à environ **750 °C**, entre les températures eutectoïdes indiquées par l'annexe, maintenir jusqu'à décomposition de la perlite, puis refroidir lentement au four. Le maintien transforme la cémentite en ferrite et graphite ; le refroidissement lent évite la reformation de perlite.

Cycle de recuit de ferritisation



Recuit sous le point eutectoïde stable fer-graphite.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Recuit de ferritisation : environ 750 °C, maintien prolongé, puis refroidissement lent au four.

Question I.7. **Décrire les phénomènes métallurgiques intervenant pendant le maintien en température du traitement thermique proposé précédemment.**

Pendant le maintien, la cémentite de la perlite se décompose. Le carbone libéré diffuse vers les lamelles de graphite déjà présentes et s'y dépose sous forme de graphite. La matrice métallique devient alors ferritique. Le maintien doit être assez long pour faire disparaître la perlite dans toute la pièce.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La cémentite se décompose ; le carbone diffuse vers le graphite et la matrice devient ferritique.

Question I.8. **Préciser si une atmosphère de protection est nécessaire pendant le traitement et justifier la réponse.**

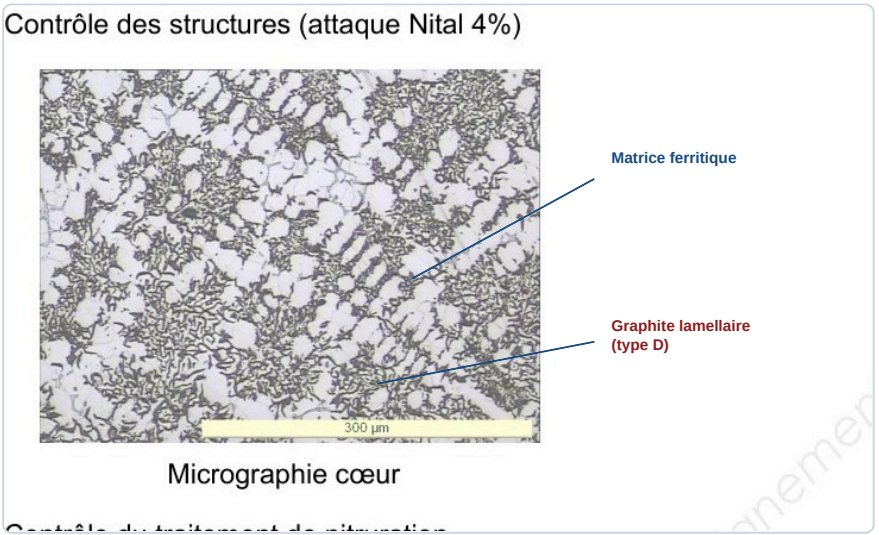
Une atmosphère de protection n'est pas indispensable pour ce recuit sous le point eutectoïde. Une oxydation superficielle peut se produire à l'air, mais la pièce sera ensuite usinée en phase 30 ; cette couche pourra donc être éliminée.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Non. L'oxydation superficielle éventuelle sera éliminée lors de l'usinage d'ébauche.

Question I.9. **À l'aide de la micrographie de la fonte après traitement figurant en annexe 1, indiquer et nommer les constituants, puis conclure sur le respect du cahier des charges.**

Sur la micrographie attaquée au Nital, les plages claires sont la **ferrite**, constituant de la matrice ; les lamelles sombres sont le **graphite**. Leur répartition fine et interdendritique est de type D. La matrice ferritique et le graphite de type D respectent les exigences indiquées au cahier des charges.

Micrographie du cœur annotée



✓ RÉPONSE À RETENIR

Graphite lamellaire de type D dans une matrice ferritique : structure conforme au cahier des charges.

2. Étude du traitement thermique et de la nitruration en phase 40

Cette partie traite du traitement thermique réalisé après l'usinage d'ébauche, de son contrôle par essai de dureté et de la nitruration gazeuse des plaques à clapets. Elle aborde aussi le contrôle de conformité par filiation de dureté, la nitruration ionique de bagues rapportées et la présentation du four associé.

Traitement thermique après les usinages d'ébauche

Question II.1.1. Indiquer le nom et le rôle du traitement thermique à réaliser après l'opération d'ébauche.

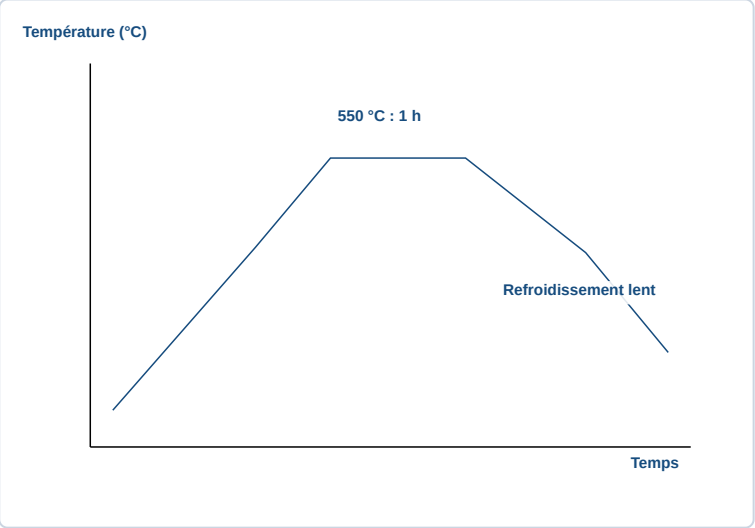
Après l'ébauche, réaliser un **détensionnement**. L'usinage libère et redistribue les contraintes résiduelles de la pièce moulée. Un chauffage modéré suivi d'un refroidissement lent les réduit sans modifier fortement la structure de la fonte. La plaque risque ainsi moins de se déformer pendant les opérations de finition, qui nécessitent de conserver sa géométrie.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Détensionnement : limiter les déformations lors des usinages de finition.

Question II.1.2. Dessiner le cycle thermique du traitement à réaliser et justifier tous ses paramètres.

Un cycle de détensionnement peut être réalisé à 550 °C, température modérée qui réduit les contraintes sans austénitiser la fonte. Pour cette plaque mince, maintenir environ 1 h après homogénéisation en température. Chauffer progressivement pour limiter les gradients thermiques, puis refroidir lentement au four jusqu'à environ 200 °C avant une sortie à l'air calme. Le refroidissement lent évite de réintroduire des contraintes.

Cycle de détensionnement proposé



> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Montée progressive à 550 °C, maintien 1 h, refroidissement lent au four jusqu'à environ 200 °C, puis air calme.

Contrôle après traitement thermique

Question II.1.3. **Proposer un essai de dureté adapté en indiquant son nom, la géométrie du pénétrateur et la charge appliquée.**

Un essai **Brinell** convient à la fonte grise. Employer un pénétrateur sphérique en carbure de tungstène de diamètre 2,5 mm et une force de 187,5 kgf. Cette charge correspond au rapport usuel 30 pour une bille de 2,5 mm, adapté à la mesure de dureté de la fonte. Effectuer l'empreinte sur une surface plane et préparée, suffisamment éloignée des bords et des autres empreintes.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Brinell : bille en carbure de tungstène de 2,5 mm, charge 187,5 kgf, désignation HBW 2,5/187,5.

Traitement de nitruration

Question II.2.1. **Indiquer les propriétés que l'on souhaite améliorer par le traitement de nitruration.**

La nitruration enrichit la surface en azote et forme une couche durcie. Elle vise surtout à accroître la dureté superficielle et la résistance à l'usure des zones de contact. Elle améliore également la tenue au grippage et à la fatigue. Le cœur de la plaque conserve ses propriétés, tandis que la couche traitée protège les surfaces sollicitées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Accroître la dureté superficielle et la résistance à l'usure, au grippage et à la fatigue.

Question II.2.2. **Proposer un cycle thermique complet pour réaliser le traitement défini par le cahier des charges, en précisant le temps, la température, le mode de refroidissement et les gaz utilisés.**

Après dégraissage, chauffer la plaque sous atmosphère protectrice jusqu'à environ 520 °C. Maintenir environ 40 h sous ammoniac NH_3 : sa dissociation fournit l'azote actif qui diffuse dans la surface. Cette température reste inférieure au domaine d'austénitisation et cette durée permet de viser la profondeur exigée. En fin de traitement, refroidir lentement sous atmosphère protectrice, puis contrôler la dureté superficielle et la profondeur par filiation.

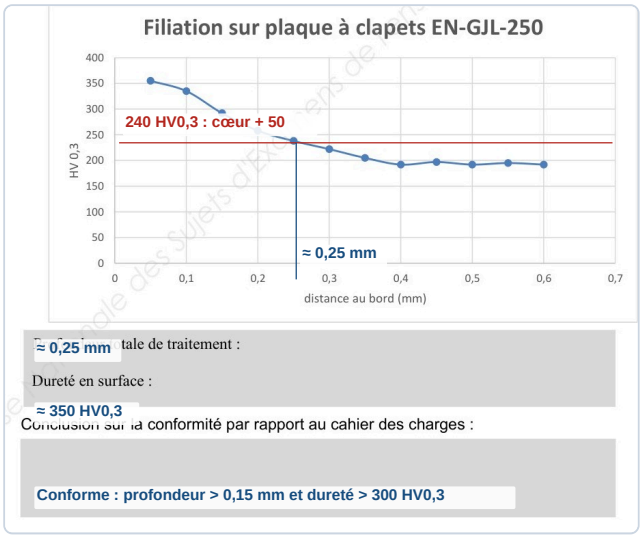
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Nitruration gazeuse : environ 520 °C pendant 40 h sous NH_3, puis refroidissement lent sous atmosphère protectrice.

Contrôle du traitement de nitruration

Question II.2.3. Finaliser le procès-verbal de contrôle de production de l'annexe 1 en complétant les deux champs grisés. Justifier les réponses par les tracés et les donner sous leur forme normalisée.

La courbe indique une dureté superficielle voisine de 350 HV0,3 et un cœur stabilisé autour de 190 HV0,3. Pour la profondeur totale conventionnelle, repérer le croisement avec la dureté du cœur augmentée de 50 HV : 190 + 50 = 240 HV0,3. La courbe atteint ce seuil vers 0,25 mm. La profondeur dépasse donc 0,15 mm et la dureté de surface dépasse 300 HV0,3 : les deux critères sont respectés.

Filiation et champs du procès-verbal complétés



✓ RÉPONSE À RETENIR

Profondeur totale : environ 0,25 mm. Dureté en surface : environ 350 HV0,3. Conforme.

Nitruration ionique

Question II.2.4. Pour la solution consistant à rapporter des bagues en acier nitrurées dans un four de nitruration ionique, indiquer l'intérêt des bagues rapportées et proposer une nuance d'acier de nitruration.

Les bagues rapportées concentrent la résistance à l'usure sur les surfaces de contact et peuvent être remplacées sans refaire toute la plaque. Cette solution évite de traiter par nitruration ionique la pièce entière en fonte. Une nuance adaptée est le **31CrMoV9** : le chrome, le molybdène et le vanadium favorisent la formation d'une couche nitrurée dure, tout en conservant un cœur résistant.

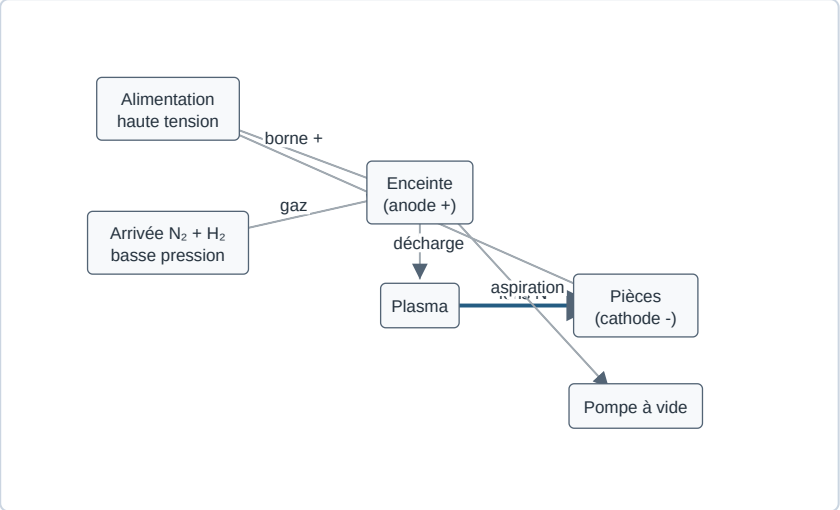
✓ RÉPONSE À RETENIR

Bagues résistantes à l'usure et remplaçables séparément. Nuance proposée : 31CrMoV9.

Question II.2.5. Rédiger un mémo destiné au client présentant le principe de la nitruration ionique et un schéma simplifié du four utilisé, avec l'ensemble des éléments légendés.

Mémo client : nitruration ionique. Les pièces sont placées dans une enceinte mise sous vide et reliées à la cathode négative. Une alimentation haute tension provoque une décharge dans un mélange d'azote et d'hydrogène à basse pression. Le plasma contient des ions azotés positifs qui bombardent et activent la surface des pièces. L'azote diffuse ensuite dans l'acier et forme la couche nitrurée. Le four comprend l'enceinte anodique, les pièces cathodiques, l'arrivée de gaz, l'alimentation et la pompe à vide.

Four simplifié de nitruration ionique



Les pièces constituent la cathode négative ; l'enceinte est l'anode.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Une décharge plasma ionise le gaz ; les ions azotés activent les pièces cathodiques et l'azote diffuse dans l'acier.

3. Étude des outils pour l’usinage des perçages

Les outils d’usinage des perçages sont réalisés en acier rapide HS 6-5-2, avec une dureté minimale exigée de 63 HRC et un revêtement TiN. Cette partie demande de décoder la nuance, de proposer le cycle de traitement thermique à partir de l’annexe, d’expliquer le procédé de dépôt du revêtement et d’étudier l’ajout d’un élément d’alliage dans la nuance HS 6-5-2-5.

Question III.1. Décoder complètement la désignation normalisée du matériau utilisé pour réaliser les outils. Écrire en toutes lettres les symboles chimiques des éléments d’addition.

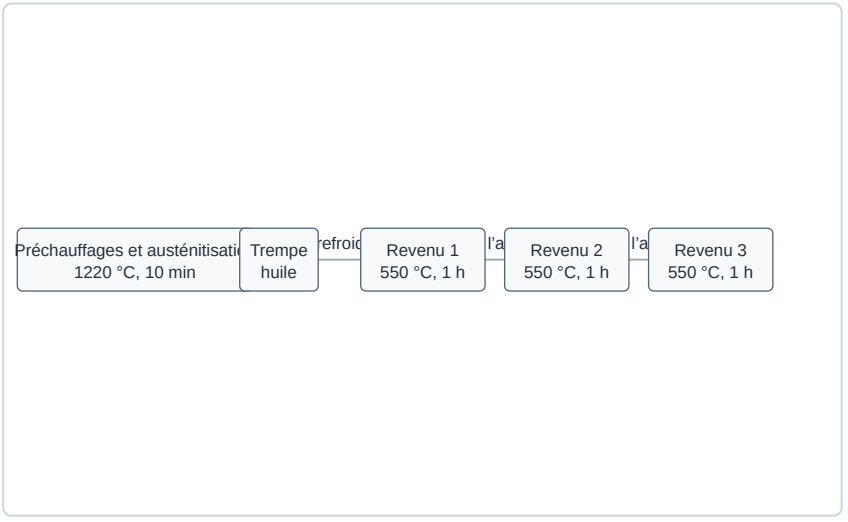
HS désigne un acier rapide. Dans **HS 6-5-2**, les nombres indiquent les teneurs nominales en pourcentage massique des éléments d’addition : 6 % de tungstène, 5 % de molybdène et 2 % de vanadium. La nuance contient aussi généralement environ 4 % de chrome et près de 0,9 % de carbone, nécessaires aux propriétés de l’acier rapide, mais ces teneurs ne sont pas exprimées par les chiffres de la désignation. Le fer constitue le reste de la composition.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acier rapide : 6 % tungstène, 5 % molybdène, 2 % vanadium, avec environ 4 % de chrome et 0,9 % de carbone.

Question III.2. À l’aide de l’annexe appropriée, proposer un cycle de traitements thermiques répondant au cahier des charges des outils. Renseigner et justifier les températures et les temps de palier en considérant un diamètre équivalent des outils égal à 10 mm.

Après des préchauffages progressifs, austénitiser à **1220 °C**, température donnée par l’annexe 4, et maintenir environ **10 min** pour un diamètre de 10 mm (règle pratique de 1 min/mm). Tremper à l’huile, comme indiqué sur l’annexe. Effectuer ensuite **trois revenus d’une heure à environ 550 °C**, proches du maximum de dureté de la courbe, avec refroidissement à température ambiante entre les revenus. Les revenus répétés réduisent l’austénite résiduelle et permettent de viser la dureté exigée d’au moins 63 HRC.

Cycle thermique de l’acier rapide HS 6-5-2



Les températures et le milieu de trempe suivent l’annexe 4; les revenus sont répétés pour obtenir la dureté visée.

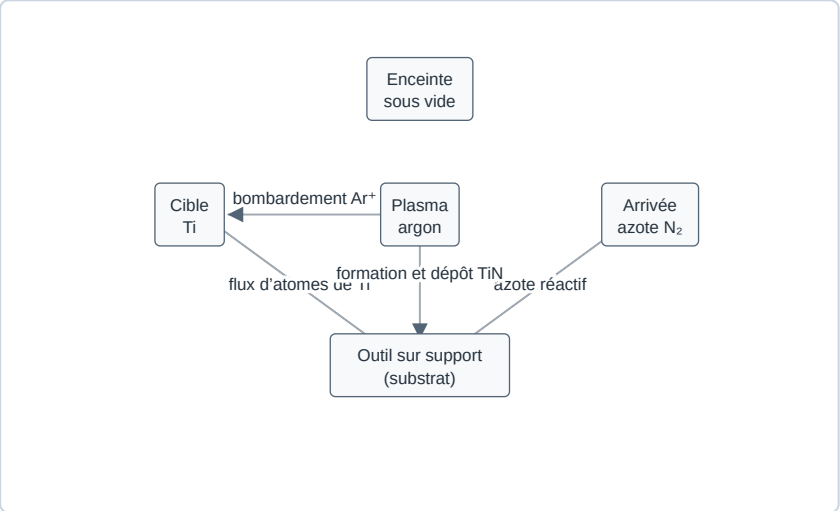
✓ RÉPONSE À RETENIR

Préchauffages, 1220 °C pendant environ 10 min, trempe à l'huile, puis 3 revenus à environ 550 °C pendant 1 h chacun, refroidis à l'ambiante entre les revenus.

Question III.3. Indiquer le nom du procédé utilisé pour réaliser le revêtement TiN, décrire son principe et l'illustrer par un schéma.

Le TiN est déposé par **PVD réactif**, notamment par pulvérisation cathodique. Dans une enceinte sous vide, un plasma d'argon bombarde une cible de titane et en arrache des atomes. On introduit de l'azote, qui réagit avec le titane dans l'enceinte ou à la surface des outils. Le composé formé se dépose en couche mince sur les outils nettoyés, placés sur un support. Le schéma indique la cible, le plasma, l'arrivée d'azote, le substrat et le flux conduisant au revêtement.

Principe du dépôt PVD réactif de TiN



Les atomes de titane pulvérisés réagissent avec l'azote et forment le revêtement sur le substrat.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Procédé : PVD réactif par pulvérisation cathodique. Le titane arraché à la cible réagit avec l'azote et forme le dépôt TiN sur l'outil.

Question III.4. Pour le remplacement de la nuance actuellement utilisée par l'acier HS 6-5-2-5, indiquer la nature et la proportion de l'élément d'alliage ajouté à la composition de l'acier d'origine, puis préciser l'avantage apporté.

Dans la désignation **HS 6-5-2-5**, le dernier chiffre correspond à l'ajout de **5 % de cobalt** à l'acier rapide HS 6-5-2. Le cobalt améliore la dureté à chaud et la résistance à l'adoucissement lorsque l'outil s'échauffe pendant l'usinage. La nuance conserve donc mieux ses propriétés de coupe et la tenue de son tranchant à température élevée.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Ajout de 5 % de cobalt : meilleure dureté à chaud et meilleure tenue du tranchant à température élevée.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2019)

Bilan de l'épreuve : Épreuve de BTS Traitements des matériaux, option A Traitements thermiques, session 2019, code TM44A, durée 2 heures, coefficient 2. À partir de la fabrication de plaques à clapets en fonte EN-GJL-250 et d'outils HS 6-5-2, elle évalue l'analyse des structures, le choix et le contrôle des traitements thermiques, la nitruration gazeuse et ionique, ainsi que les traitements et revêtements des outils.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- EN-GJL-250 désigne une fonte à graphite lamellaire dont la valeur 250 correspond à la résistance minimale à la traction.
- Le diagramme Fe-C-Si permet d'étudier les transformations de la fonte en tenant compte de l'effet du silicium.
- La nitruration enrichit la surface en azote pour former une couche durcie, contrôlée par mesure de dureté et de profondeur.
- La courbe de revenu du HS 6-5-2 aide à choisir une température de revenu compatible avec la dureté minimale exigée de 63 HRC.

Points de vigilance & attentes du jury

- Justifier les températures et les paliers des cycles à partir des annexes ou des données du sujet.
- Distinguer les constituants de la matrice et le graphite lors de l'identification micrographique.
- Lire la filiation de dureté en tenant compte des axes et comparer les résultats aux critères du cahier des charges.
- Pour chaque essai de dureté, préciser le nom, le pénétrateur et la charge appliquée.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment exploiter la filiation de dureté pour contrôler la nitruration ?

Relevez la dureté de surface sur la courbe, puis déterminez la profondeur correspondant au critère de profondeur de traitement retenu. Comparez les valeurs obtenues aux exigences du sujet : dureté en surface supérieure à 300 HV0,3 et profondeur totale supérieure à 0,15 mm.

Q : Comment choisir le revenu des outils en acier HS 6-5-2 ?

Utilisez la courbe de l'annexe établie après austénitisation à 1220 °C et trempe à l'huile. Choisissez une température de revenu pour laquelle la dureté reste au moins égale à 63 HRC, puis justifiez le choix par lecture de la courbe.

Q : Comment organiser les deux heures d'épreuve ?

L'épreuve comporte trois parties notées respectivement sur 6,5, 8,5 et 5 points. Répartissez le temps selon ces pondérations et réservez une part suffisante aux cycles thermiques, aux schémas et au procès-verbal de l'annexe à rendre.

Q : Qu'attend le jury pour les cycles thermiques et les contrôles ?

Présentez des cycles lisibles avec les étapes et les paramètres demandés, puis justifiez vos choix. Pour les contrôles, exploitez les documents fournis, précisez les unités et les échelles, et concluez explicitement sur la conformité au cahier des charges.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2019/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2019 - 4-Sujet.pdf
Ressources BTS Traitements des Matériaux : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.