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

Sciences et Techniques Industrielles

Session 2003 • Code sujet : **TMSTI AB** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Analyse des spécifications du demi-produit (2 questions) **Page 3**

2. Étude de la phase 20 : recuit de globulisation (5 questions) **Page 4**

3. Étude de la phase 30 : phosphatation (5 questions) **Page 6**

4. Étude de la phase 40 : visualisation du fibrage (2 questions) **Page 8**

5. Étude des phases 60 et 70 : cémentation, trempe, revenu et contrôle (4 questions) **Page 9**

6. Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 12**

Sujet officiel (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2003/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2003 - 2-Sujet.pdf

1. Analyse des spécifications du demi-produit

Le croisillon, pièce de sécurité d'un joint de cardan de direction, est fabriqué à partir de couronnes de fil en acier 16 MnCr 5. Le bon de livraison indique notamment une structure lamellaire, une résistance à la traction de 900 MPa et une phosphatation au zinc de 3 g/m².

Question 1.1. Donner la nature et la composition principale du matériau à traiter, en précisant en toutes lettres le nom des éléments chimiques.

Le 16MnCr5 est un acier faiblement allié destiné à la cémentation. Le nombre 16 correspond à environ 0,16 % de carbone. Ses principaux éléments d'alliage sont le manganèse et le chrome. La composition usuelle comprend environ 0,14 à 0,19 % de carbone, 1,0 à 1,3 % de manganèse et 0,8 à 1,1 % de chrome ; le reste est principalement du fer.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acier faiblement allié de cémentation : fer, carbone (environ 0,16 %), manganèse (1,0 à 1,3 %) et chrome (0,8 à 1,1 %).

Question 1.2. Indiquer le rôle de chaque élément d'alliage sur la trempe.

À la trempe, le **carbone** détermine surtout la dureté maximale de la martensite formée. Le **manganèse** et le **chrome** retardent les transformations diffusives et augmentent la trempabilité : ils facilitent ainsi le durcissement en profondeur et permettent une trempe moins sévère. Après cémentation, l'enrichissement superficiel en carbone rend la couche extérieure particulièrement dure.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Carbone : augmente la dureté de la martensite. Manganèse et chrome : augmentent la trempabilité.

2. Étude de la phase 20 : recuit de globulisation

Cette partie porte sur le recuit de globulisation des bruts du croisillon avant les opérations de fabrication. Le cahier des charges fixe la dureté, les caractéristiques mécaniques, la structure globulaire et l'absence de calamine attendues après recuit.

Question 2.1. Donner la signification de chaque lettre et de chaque nombre dans l'expression normalisée de la dureté demandée : 110 à 145 HBS 2,5/187,5.

HB indique une dureté mesurée par essai Brinell ; **S** précise que l'indenteur est une bille en acier. Le nombre **2,5** est son diamètre en millimètres. Le nombre **187,5** est la charge d'essai exprimée en kgf. La dureté exigée est comprise entre 110 et 145.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> 110 à 145 HBS : dureté Brinell avec bille d'acier de 2,5 mm et charge d'essai de 187,5 kgf.

Question 2.2. Justifier la nécessité d'obtenir une structure globulaire.

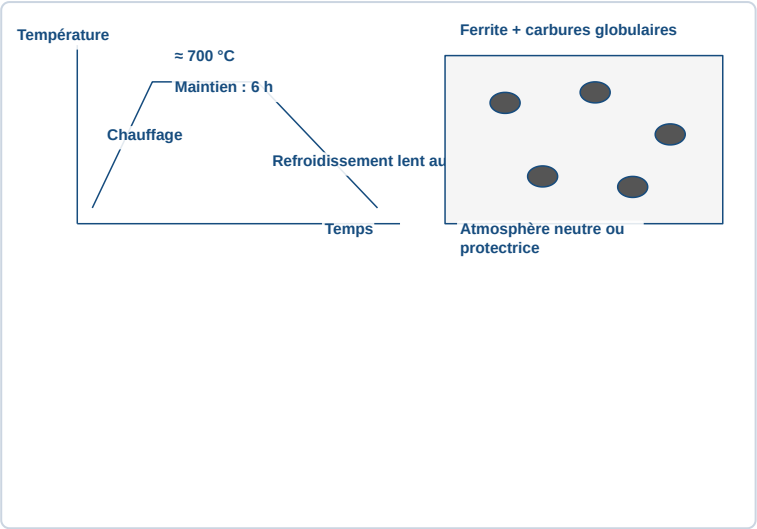
La structure globulaire répartit les carbures en particules arrondies dans une matrice ferritique, au lieu de les conserver sous forme de lamelles. Elle facilite le glissement et la déformation du métal. Le matériau devient ainsi plus ductile et mieux adapté à la frappe à froid du croisillon, avec un risque réduit de fissuration.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La structure globulaire augmente la ductilité et facilite la frappe à froid, tout en limitant le risque de fissuration.

Question 2.3. Tracer le cycle thermique de recuit permettant d'obtenir la structure demandée. Préciser et justifier la température, le temps et l'atmosphère, puis schématiser la structure obtenue.

Chauffer l'acier vers **700 °C**, sous Ac1, puis maintenir plusieurs heures pour sphéroïdiser les carbures ; un maintien indicatif de **6 h** convient comme cycle-type. Refroidir lentement au four. Employer une atmosphère neutre ou protectrice pour éviter l'oxydation et respecter l'exigence d'absence de calamine. La structure obtenue associe des carbures globulaires à une matrice ferritique.

Cycle-type du recuit de globulisation et structure obtenue



✓ RÉPONSE À RETENIR

Cycle-type : environ 700 °C, maintien 6 h, refroidissement lent au four sous atmosphère protectrice ; ferrite avec carbures globulaires.

Question 2.4. Définir et formuler Rm, Z % et A %.

Rm est la résistance maximale à la traction : rapport de la force maximale *Fmax* à la section initiale *S0*. **Z** est la striction, soit la diminution relative de section après rupture ; **A** est l'allongement relatif après rupture. Avec *Su* la section minimale après rupture et *Lu* la longueur finale :

✓ RÉPONSE À RETENIR

Rm = Fmax/S0 ; Z % = 100(S0 − Su)/S0 ; A % = 100(Lu − L0)/L0.

Question 2.5. À partir des valeurs du cahier des charges après recuit, déduire la propriété de ce matériau.

Après recuit, la faible dureté et la résistance à la traction de **430 MPa**, associées à une striction de **78 %** et à un allongement de **38 %**, indiquent une forte capacité de déformation plastique. Le matériau est donc ductile et apte à la frappe à froid.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le matériau recuit est ductile et possède une bonne aptitude à la déformation plastique à froid.

3. Étude de la phase 30 : phosphatation

Cette partie porte sur la phase 30 du processus de fabrication du croisillon et sur le traitement de phosphatation au zinc mentionné à la réception du fil. Il faut définir le traitement, caractériser sa couche, citer ses applications et décrire les opérations de sa gamme.

Question 3.1. **Définir le traitement de phosphatation.**

La phosphatation est un **traitement de conversion chimique**. Une solution phosphatante réagit avec la surface du métal et y forme une couche insoluble de phosphates cristallisés, adhérente au substrat. Pour le fil du sujet, le traitement est au zinc. La couche n'est donc pas un dépôt métallique ajouté à l'acier : elle résulte d'une réaction entre la surface et le bain.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Conversion chimique de la surface en une couche adhérente de phosphates de zinc.

Question 3.2. **Indiquer la caractéristique principale de la couche.**

La caractéristique principale est la **porosité de la couche cristalline**. Ces pores retiennent le lubrifiant, ce qui rend la phosphatation au zinc adaptée à la préparation des fils avant leur mise en forme à froid. L'adhérence de la couche permet au lubrifiant de rester au contact du métal pendant la déformation et contribue à limiter le frottement entre la pièce et l'outillage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Couche cristalline poreuse, apte à retenir un lubrifiant.

Question 3.3. **Citer deux domaines d'application de la phosphatation.**

La phosphatation s'emploie notamment comme couche fonctionnelle ou comme préparation à un traitement ultérieur. Deux domaines d'application pertinents sont :

Domaine	Rôle de la phosphatation
Formage à froid	Retenir le lubrifiant et réduire le frottement.
Préparation à la peinture	Améliorer l'adhérence de la peinture et la protection du système.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Formage à froid et préparation à la peinture.

Question 3.4. **Donner la gamme du traitement de phosphatation.**

Pour un fil destiné au formage à froid, la gamme type nettoie la surface, forme la couche de phosphate, puis apporte le lubrifiant nécessaire. Les rinçages évitent les contaminations entre bains.

1. Dégraissage et rinçage.
2. Décapage des oxydes si nécessaire, puis rinçage.
3. Activation de la surface.
4. Phosphatation au zinc, puis rinçage.
5. Neutralisation, lubrification et séchage.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Dégraissage, rinçage, décapage si nécessaire, rinçage, activation, phosphatation au zinc, rinçage, neutralisation, lubrification et séchage.

Question 3.5. **Indiquer le rôle de chaque opération de la gamme de phosphatation.**

Chaque étape prépare la suivante ou rend la couche adaptée à son usage. Pour le fil destiné au formage à froid, la lubrification finale est essentielle.

Opération	Rôle
Dégraissage	Éliminer les huiles et les graisses.
Rinçage	Évacuer les résidus du bain précédent.
Décapage	Enlever les oxydes présents.
Activation	Favoriser une couche fine et régulière.
Phosphatation	Former la couche de phosphates de zinc.
Neutralisation	Éliminer ou neutraliser les résidus réactifs.
Lubrification et séchage	Déposer le lubrifiant retenu par la couche, puis sécher le fil.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Nettoyer la surface, former et stabiliser la couche, puis lubrifier et sécher.

4. Étude de la phase 40 : visualisation du fibrage

En supposant que la pièce n'a pas subi de recuit de globulisation, le laboratoire cherche à vérifier le fibrage du croisillon après la frappe à froid. Il faut décrire une méthode macrographique puis représenter le fibrage à partir de la coupe A-A de l'annexe 2.

Question 4.1. **Décrire une méthode macrographique permettant de visualiser le fibrage de la pièce.**

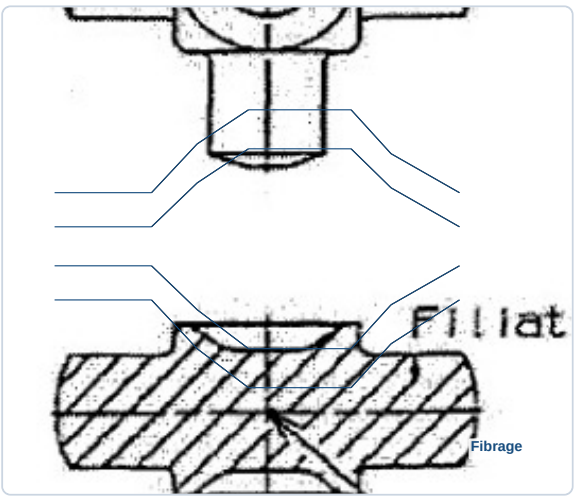
Prélever le croisillon dans le plan de coupe étudié, puis araser et polir soigneusement la surface. Réaliser une attaque macrographique avec un réactif adapté à l'acier, rincer, neutraliser et sécher l'échantillon. Observer ensuite la coupe à l'œil nu ou à faible grossissement : le contraste révèle les lignes de fibrage et leur orientation. La coupe doit traverser la zone déformée par la frappe à froid afin de rendre visible l'écoulement du métal.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Coupe surfacée et polie, attaque macrographique de l'acier, puis observation des lignes de fibrage.

Question 4.2. **À partir de la coupe A-A de l'annexe 2, schématiser le fibrage du croisillon.**

Sur la coupe A-A de l'annexe 2, le métal forgé forme une partie centrale épaissie et des bras plus minces. Le fibrage doit rester continu et suivre l'écoulement du métal : les lignes longent les contours de la pièce et se courbent autour de l'épaississement central. Le schéma annoté représente ces lignes dans la section, sans les faire traverser ni interrompre au niveau du bossage.

Coupe A-A : lignes de fibrage



> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Fibrage continu, parallèle aux contours de la coupe et incurvé autour de l'épaississement central.

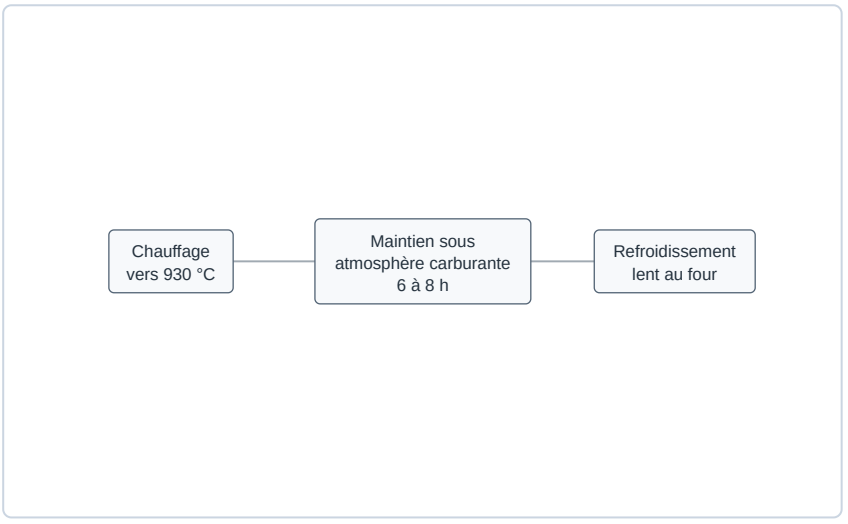
5. Étude des phases 60 et 70 : cémentation, trempe, revenu et contrôle

Cette partie étudie les traitements thermiques liés à la cémentation du croisillon et leur contrôle. Le sujet fournit une vitesse de cémentation, une filiation de microduretés et les exigences de dureté et de profondeur à confronter aux résultats.

Question 5.1. Tracer le cycle de traitement de cémentation des pièces et préciser la température, le temps et le mode de refroidissement.

La profondeur demandée est comprise entre 0,6 et 0,8 mm. Avec une vitesse de cémentation de 0,1 mm par heure, le maintien sous atmosphère carburante dure de 6 à 8 heures. Chauffer vers 930 °C, maintenir à cette température, puis refroidir lentement au four jusqu'à température ambiante avant la remise en température pour la trempe. Le cycle ci-dessous indique les étapes essentielles.

Cycle de cémentation



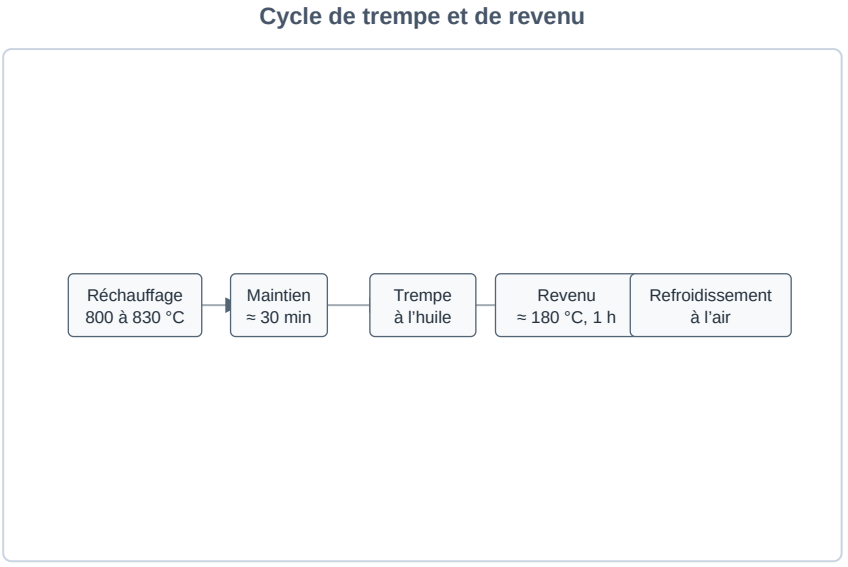
Durée calculée à partir de la profondeur exigée et de la vitesse fournie.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Cémentation vers 930 °C pendant 6 à 8 h sous atmosphère carburante, puis refroidissement lent au four.

Question 5.2. Tracer le cycle complet de la trempe et du revenu. Préciser les températures, les temps et les modes de refroidissement.

Après le refroidissement suivant la cémentation, effectuer une trempe séparée pour durcir la couche sans fragiliser excessivement le cœur. Pour le 16MnCr5, un cycle usuel consiste à réchauffer vers 800 à 830 °C, maintenir environ 30 min après homogénéisation, puis tremper à l'huile. Effectuer ensuite un revenu vers 180 °C pendant environ 1 h et refroidir à l'air. Les durées de maintien sont à adapter à la section de la pièce.



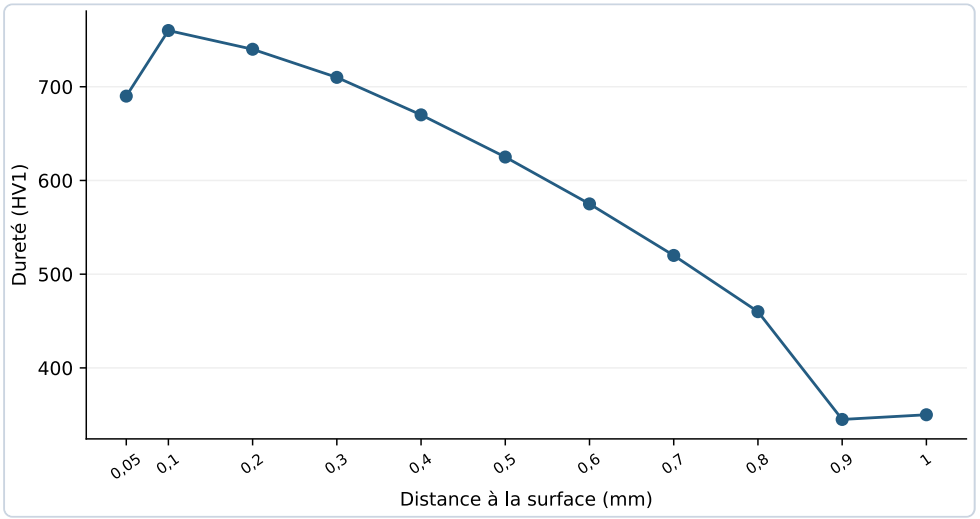
Cycle usuel pour l'acier 16MnCr5 cémenté ; les maintiens dépendent de la section.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Trempe : environ 800 à 830 °C, maintien indicatif de 30 min, refroidissement à l'huile. Revenu : environ 180 °C pendant 1 h, refroidissement à l'air.

Question 5.3.1. À partir des résultats de la filiation de dureté, déterminer la profondeur conventionnelle de cémentation.

La profondeur conventionnelle de cémentation est la distance entre la surface et le point où la dureté atteint 550 HV1. D'après la filiation, cette valeur se trouve entre 575 HV1 à 0,6 mm et 520 HV1 à 0,7 mm. Une interpolation linéaire donne : $d = 0,6 + \frac{575-550}{575-520} \times (0,7 - 0,6) \approx 0,645$ mm. La valeur est donc voisine de 0,65 mm.



✓ RÉPONSE À RETENIR

Profondeur conventionnelle : environ 0,65 mm.

Question 5.3.2. Dire si les résultats sont conformes aux exigences du cahier des charges et justifier la réponse.

Les mesures satisfont les exigences de dureté à 0,1 mm et de profondeur. À cœur, 350 HV1 correspond approximativement à 35 HRC. Près de la surface, 690 HV1 à 0,05 mm est compatible avec la plage HRA demandée, sous réserve de confirmation par mesure directe dans cette échelle. La conformité globale est donc probable, mais le contrôle HRA de surface reste à confirmer.

Critère	Résultat	Exigence	Conclusion
Dureté à 0,1 mm	760 HV1	700 à 780 HV1	Conforme
Profondeur conventionnelle	≈ 0,65 mm	0,6 à 0,8 mm	Conforme
Dureté à cœur	350 HV1 à 1 mm, soit environ 35 HRC	30 à 45 HRC	Conforme par équivalence indicative
Dureté de surface	690 HV1 à 0,05 mm	80,5 à 82,5 HRA	À confirmer par mesure HRA

Contrôle des exigences de cémentation

Critère	Mesuré	Exigé	Évaluation
À 0,1 mm	760 HV1	700 à 780 HV1	Conforme
Profondeur conventionnelle	≈ 0,65 mm	0,6 à 0,8 mm	Conforme
À cœur, à 1 mm	350 HV1, environ 35 HRC	30 à 45 HRC	Conforme par équivalence indicative
Près de la surface, à 0,05 mm	690 HV1	80,5 à 82,5 HRA	Mesure HRA à confirmer

Comparaison des mesures disponibles aux exigences du cahier des charges.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Conformité probable : dureté à 0,1 mm, profondeur et dureté à cœur conformes. Confirmation directe nécessaire pour la dureté de surface en HRA.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2003)

Bilan de l'épreuve : Cette sous-épreuve commune de Sciences et Techniques Industrielles du BTS Traitements des matériaux, session 2003, porte le code TMSTI AB et dure 2 heures, coefficient 2. Elle étudie la fabrication du croisillon d'un joint de cardan, depuis la réception de l'acier jusqu'à la cémentation et aux contrôles de dureté. Elle évalue l'analyse des spécifications, les traitements thermiques et la lecture d'un profil de microdureté.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- La désignation d'une dureté Brinell précise l'échelle, la charge d'essai et le diamètre du pénétrateur.
- Rm désigne la résistance à la traction ; A % et Z % caractérisent l'allongement et la réduction de section après rupture.
- La phosphatation forme une couche de conversion dont les propriétés et les usages dépendent du procédé et de la préparation de surface.
- La profondeur conventionnelle de cémentation se détermine à partir d'un profil de dureté et se compare à la plage fixée au cahier des charges.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer Rm, A % et Z %, et associer à chacun sa définition et sa formulation.
- Sur les cycles thermiques, faire apparaître clairement le chauffage, le maintien et le refroidissement.
- Pour la filiation de dureté, relever le critère et les profondeurs demandés avant de conclure sur la conformité.
- Utiliser la coupe A-A de l'annexe pour orienter le schéma du fibrage de la pièce.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment exploiter une désignation de dureté Brinell ?

Lire l'indication dans l'ordre : échelle de dureté, valeur ou intervalle demandé, diamètre du pénétrateur et effort d'essai. Vérifier les unités et reprendre chaque paramètre de l'expression avant de l'expliquer.

Q : Comment déterminer la profondeur conventionnelle de cémentation à partir d'un tableau ?

Repérer le critère conventionnel applicable au profil de dureté, puis identifier la profondeur correspondante. Si le seuil se trouve entre deux mesures, justifier l'interpolation ou la lecture retenue, puis comparer le résultat à la plage exigée.

Q : Comment organiser le travail pendant cette épreuve de deux heures ?

Le barème répartit 20 points entre cinq parties. Réservez du temps aux cycles thermiques et à l'exploitation du tableau de dureté, qui demandent une représentation ou une justification, puis vérifiez que chaque question numérotée a reçu une réponse.

Q : Que faut-il présenter pour justifier la conformité du traitement ?

Comparer les résultats disponibles aux exigences correspondantes, notamment la dureté à 0,1 mm et la profondeur de cémentation. Traiter séparément chaque critère documenté, citer les valeurs utilisées et conclure sans attribuer au tableau des mesures qu'il ne fournit pas.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2003/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2003 - 2-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.