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 2004 • Code sujet : **TMSTI AB** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude de la vis : choix de l'acier, traitements thermiques et zingage (16 questions) **Page 3**

2. Étude de la rondelle Belleville et de la trempe étagée bainitique (2 questions) **Page 9**

3. Ce qu'il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 10**

Sujet officiel (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2004/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2004 - 2-Sujet.pdf

1. Étude de la vis : choix de l’acier, traitements thermiques et zingage

Une entreprise doit fabriquer 5 000 vis CHC haute résistance destinées à la fabrication de chars d’assaut et respecter des critères mécaniques précis. L’étude porte sur le choix de l’acier, les traitements thermiques, l’essai de traction et le zingage électrolytique suivi d’une chromatation.

Question 1. Parmi les trois aciers proposés dans les annexes, choisir celui qui répond au cahier des charges mécanique et justifier le choix à partir des caractéristiques fournies.

Le **45SiCrMo7** satisfait seul les trois critères d’après ses courbes de revenu : vers 500 à 510 °C, on lit une résistance à la traction d’environ 1 450 à 1 500 MPa, une limite d’élasticité supérieure à 1 250 MPa et un allongement supérieur à 10 %. Le 25CrMo4 n’atteint pas la résistance requise à cette combinaison de propriétés. Le 35NiCrMo16 ne présente pas la limite d’élasticité exigée lorsque sa résistance est dans l’intervalle demandé.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acier retenu : **45SiCrMo7**.

Question 2. À partir de la désignation de l’acier choisi, donner sa composition chimique moyenne.

Dans la désignation, **45** indique environ 0,45 % de carbone. Pour le silicium, le facteur conventionnel 4 donne environ 7/4 = 1,75 %. Les symboles Cr et Mo indiquent aussi la présence de chrome et de molybdène, mais leurs teneurs ne se déduisent pas précisément de cette désignation seule : elles sont fixées par la nuance normalisée et sa spécification.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Composition déductible : environ **0,45 % C** et **1,75 % Si**, avec Cr et Mo.

Question 3. Expliquer pourquoi l’acier choisi sera livré à l’état globularisé.

La globularisation sphéroïdise les carbures et rend l’acier plus déformable à froid. Elle diminue sa dureté et les efforts de mise en forme. Cet état est donc adapté à la frappe à froid de la tête des vis et réduit les sollicitations ainsi que l’usure de l’outillage. Il facilite également l’usinage avant les traitements thermiques de durcissement.

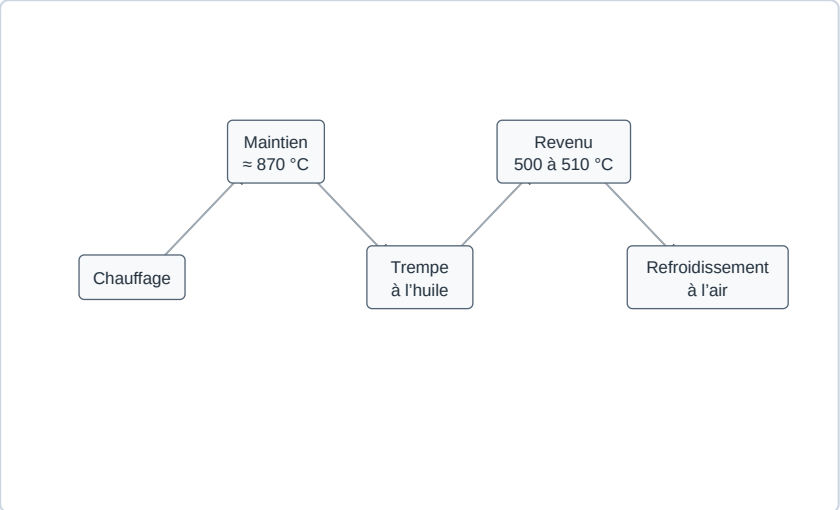
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L’état globularisé facilite la frappe à froid et l’usinage.

Traitements thermiques

Question 4.1. À l'aide de l'annexe correspondant à l'acier choisi, dessiner le ou les cycles complets de traitement thermique en refroidissement continu permettant de répondre au cahier des charges.

Le cycle retenu est une austénitisation au-dessus de Ac_3 = 840 °C, suivie d'une trempe à l'huile, d'un revenu vers 500 à 510 °C, puis d'un refroidissement à l'air. Les durées de maintien sont indicatives et doivent être comptées après mise à température de la charge. Le cycle complet est représenté ci-contre.

Cycle de traitement thermique du 45SiCrMo7



Cycle qualitatif : les durées de maintien sont à adapter à la charge.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Austénitisation vers 870 °C, trempe à l'huile, revenu vers 500 à 510 °C, refroidissement à l'air.

Question 4.2. Justifier les températures choisies pour les traitements thermiques.

L'annexe 4 indique Ac_3 = 840 °C. L'austénitisation se fait donc au-dessus de cette température ; environ 870 °C fournit une marge suffisante. Après trempe, le revenu est choisi par lecture des courbes mécaniques. Vers 500 à 510 °C, la résistance à la traction reste dans l'intervalle demandé, tandis que la limite d'élasticité et l'allongement satisfont également le cahier des charges.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Austénitisation : environ **870 °C** ; revenu : environ **500 à 510 °C**.

Question 4.3. Justifier les temps retenus pour les traitements thermiques.

Les courbes de l'annexe 4 donnent les propriétés selon la température de revenu, pas selon la durée. Le maintien d'austénitisation doit permettre l'homogénéisation de la charge et l'austénitisation complète. Pour ces petites vis, on peut retenir à titre indicatif environ 30 min après la mise à température, puis environ 1 h au revenu. En

production, ces durées se valident selon la charge, le four et les consignes d'atelier.

✓ RÉPONSE À RETENIR

À titre indicatif : environ 30 min d'austénitisation et 1 h de revenu, après mise à température.

Question 4.4. Justifier les modes de refroidissement choisis pour les traitements thermiques.

Après austénitisation, la trempe à l'huile refroidit assez rapidement pour durcir l'acier. Par rapport à l'eau, elle limite les risques de fissuration et de déformation. Après le revenu, le refroidissement à l'air ramène les vis à température ambiante sans provoquer une nouvelle trempe. Ces modes correspondent aux conditions de refroidissement utilisées pour les courbes de l'annexe 4.

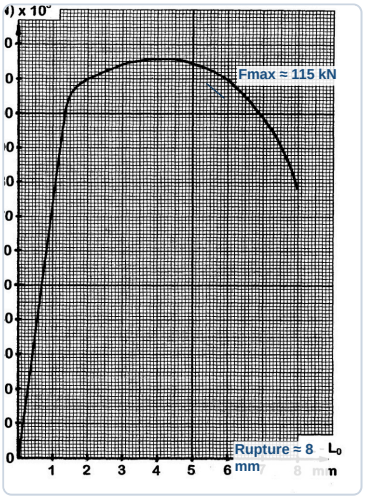
✓ RÉPONSE À RETENIR

Trempe à l'huile après austénitisation, puis refroidissement à l'air après revenu.

Question 5. À partir de la courbe de traction de l'éprouvette ayant subi les mêmes traitements que les vis, de son diamètre et de sa longueur de référence proportionnelle, effectuer les calculs permettant de comparer les caractéristiques mécaniques au cahier des charges, puis conclure sur l'efficacité des traitements. Joindre la courbe de traction à la copie.

Avec d = 10 mm, $S_0 = \pi d^2/4 = 78{,}54$ mm² et $L_0 = 5{,}65\sqrt{S_0} = 50{,}07$ mm. La courbe donne $F_{max} \approx 115$ kN, donc $R_m \approx 1\,464$ MPa. La lecture de la construction à 0,2 % donne $R_{p0,2} \approx 1\,300$ à $1\,350$ MPa. La rupture vers 8 mm donne $A \approx 16$ %. Les trois critères sont donc respectés.

Courbe de traction annotée



✓ RÉPONSE À RETENIR

$R_m \approx$ **1 464 MPa** ; $R_{p0,2} \approx$ **1 300 à 1 350 MPa** ; $A \approx$ **16 %**. Critères respectés.

Zingage et chromatation

Question 6. Lister les opérations successives de la gamme de traitement de surface des vis, en tenant compte de la sensibilité de l'acier à la fragilisation par l'hydrogène.

La gamme doit limiter l'introduction d'hydrogène et prévoir son élimination immédiatement après le dépôt électrolytique, avant la chromatation :

1. Dégraissage, rinçage, puis décapage inhibé et rinçage.
2. Zingage électrolytique acide, puis rinçage.
3. Étuvage de dégazage à 200 °C pendant 15 h.
4. Chromatation, rinçage final et séchage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Dégraissage, décapage inhibé, zingage, dégazage, chromatation, rinçage et séchage.

Question 7. Calculer en micromètres par minute la vitesse de déposition du bain de zinc, à partir de la densité de courant, du rendement cathodique et des paramètres du zinc. Justifier les calculs.

La loi de Faraday donne la vitesse d'épaisseur : $v = J\eta M/(nF\rho)$. Les conversions sont $J = 2$ A/dm² $= 200$ A/m², $M = 0{,}0654$ kg/mol et $\rho = 7\,100$ kg/m³. Avec $\eta = 0{,}95$, $n = 2$ et $F = 96\,500$ C/mol, on obtient $v \approx 9{,}07 \times 10^{-9}$ m/s. La conversion en micromètres par minute donne environ 0,544 µm/min.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Vitesse de déposition : **0,544 µm/min**.

Question 8. Calculer le temps d'électrolyse nécessaire pour déposer une épaisseur de zinc de 20 micromètres avant chromatation.

Le temps de dépôt est le rapport entre l'épaisseur demandée et la vitesse calculée. Pour 20 µm de zinc et une vitesse de 0,544 µm/min, $t = 20/0{,}544 \approx 36{,}8$ min. Cette durée correspond au dépôt avant chromatation, hors temps de rinçage et de transfert entre bains.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Temps d'électrolyse : environ **36,8 min**.

Question 9. **Donner la désignation normalisée du traitement de zingage décrit.**

La désignation indique le métal de base, le revêtement électrolytique et son épaisseur nominale. Le revêtement est du zinc sur acier, avec une épaisseur de 20 µm, suivi d'une chromatation. La désignation abrégée attendue est Fe/Zn 20/C ; la spécification complète de la chromatation peut préciser sa nature ou sa couleur.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **Fe/Zn 20/C**, zinc électrolytique de 20 µm avec chromatation.

Question 10. **Donner une méthode non destructive de contrôle de l'épaisseur de la couche de zinc.**

Une jauge magnétique à induction permet de mesurer sans détruire le revêtement de zinc sur le substrat ferromagnétique en acier. Il faut étalonner l'appareil avec des références adaptées, puis effectuer plusieurs mesures sur des zones représentatives de la vis. Le dépôt n'est ni retiré ni altéré.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Contrôle non destructif par mesure magnétique à induction.

Question 11. **Nommer le traitement thermique de 15 heures à 200 °C imposé aux vis après zingage et préciser son rôle.**

Il s'agit d'un **dégazage après zingage**, aussi appelé étuvage anti-fragilisation par l'hydrogène. Le maintien à 200 °C pendant 15 h favorise la diffusion hors de l'acier de l'hydrogène absorbé pendant les opérations de préparation et de zingage électrolytique. Il réduit ainsi le risque de rupture différée des vis fortement sollicitées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Dégazage à 200 °C pendant 15 h pour réduire la fragilisation par l'hydrogène.

Question 12. **Indiquer si le traitement thermique après zingage peut affecter les caractéristiques mécaniques de l'acier et justifier la réponse.**

Une influence reste possible si le traitement modifie l'état métallurgique, mais elle devrait être faible ici : 200 °C est nettement inférieur à la température de revenu retenue, proche de 500 à 510 °C. L'étuvage ne devrait donc pas modifier sensiblement les caractéristiques mécaniques. La température prescrite doit toutefois être contrôlée pour éviter tout échauffement excessif.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pas de modification mécanique notable attendue à 200 °C, bien en dessous du revenu.

Question 13. Justifier l’utilisation d’un zingage acide, de rendement cathodique 95 %, plutôt que d’un zingage alcalin, de rendement cathodique 70 %.

À densité de courant identique, le bain acide utilise une part plus élevée du courant pour déposer le zinc : 95 % contre 70 %. La part non affectée au dépôt est donc de 5 % contre 30 %, ce qui limite les réactions parasites associées notamment au dégagement d’hydrogène. Le bain acide dépose aussi le zinc plus rapidement, avantageux pour un acier sensible à la fragilisation par l’hydrogène.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le zingage acide est plus efficace et réduit le courant consacré aux réactions parasites, dont le dégagement d’hydrogène.

2. Étude de la rondelle Belleville et de la trempe étagée bainitique

L'entreprise sous-traite le traitement de rondelles ressorts coniques Belleville en acier 50CrV4 et doit obtenir une dureté de 42 à 44 HRC. L'étude compare la trempe étagée bainitique aux traitements classiques et demande de définir un cycle adapté à partir de la courbe TTT fournie.

Question 14.1. Décrire succinctement les avantages de la trempe étagée bainitique par rapport aux traitements de durcissement classiques en refroidissement continu.

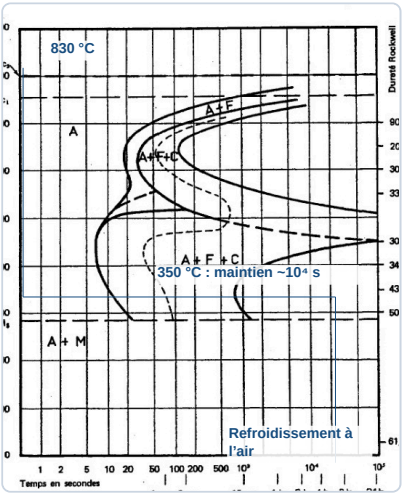
Le maintien isotherme forme directement la bainite, avec un refroidissement moins sévère qu'une trempe classique. Il limite ainsi les contraintes, les déformations et les risques de fissuration. La structure obtenue est plus homogène et offre un bon compromis entre dureté, résistance et ténacité, sans revenu séparé habituellement nécessaire après une trempe martensitique.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Moins de déformations et de fissures, structure plus homogène et bon compromis entre dureté et ténacité.

Question 14.2. À l'aide de la courbe TTT du 50CrV4, décrire et justifier le cycle thermique permettant d'obtenir les caractéristiques demandées : température d'austénitisation, température et durée du maintien isotherme, et mode de refroidissement. Joindre l'annexe à la copie.

Austénitiser vers 830 °C, au-dessus de Ac_3 (environ 800 °C). Refroidir rapidement jusqu'à environ 350 °C, sans traverser la zone de transformation ferrito-perlitique, puis maintenir à cette température jusqu'à la fin de la transformation bainitique, lue vers 10^4 s sur le diagramme. La dureté visée, 42 à 44 HRC, correspond à cette température de maintien. Terminer par un refroidissement à l'air.

Cycle de trempe étagée bainitique



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> 830 °C, puis maintien vers 350 °C pendant environ 10^4 s, suivi d'un refroidissement à l'air.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2004)

Bilan de l'épreuve : Cette sous-épreuve de Sciences et Techniques Industrielles du BTS Traitements des matériaux, session 2004, porte le code TMSTI AB. D'une durée de 2 heures et de coefficient 2, elle étudie des vis haute résistance et des rondelles Belleville. Elle évalue le choix des aciers, l'analyse des traitements thermiques, les calculs de traction et d'électrodéposition, ainsi que l'exploitation d'une courbe TTT.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- La désignation d'un acier faiblement allié renseigne sur sa teneur moyenne en carbone et ses principaux éléments d'alliage.
- La loi de Faraday relie la masse déposée à la charge électrique, au rendement cathodique, à l'électrovalence et à la constante de Faraday.
- La vitesse de dépôt dépend de la densité de courant, du rendement cathodique, de la masse volumique et de la masse équivalente du métal.
- Sur une courbe TTT, le palier isotherme et sa durée déterminent la transformation métallurgique et les propriétés obtenues.

Points de vigilance & attentes du jury

- Vérifier que les trois critères mécaniques du cahier des charges sont satisfaits simultanément.
- Pour la traction, calculer la section initiale et distinguer force, contrainte et allongement relatif.
- Dans les calculs d'électrodéposition, convertir les unités et tenir compte du rendement cathodique.
- Sur la courbe TTT, justifier chaque étape du cycle et joindre les annexes demandées à la copie.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment déterminer les caractéristiques mécaniques à partir de la courbe de traction ?

Lire la force et l'allongement sur la courbe, calculer la section initiale avec le diamètre de l'éprouvette, puis convertir la force en contrainte. Déduire l'allongement relatif à partir de la longueur de référence et comparer chaque résultat au critère correspondant.

Q : Comment calculer la vitesse de dépôt électrolytique avec les données du sujet ?

Utiliser la loi de Faraday en tenant compte de l'électrovalence et du rendement cathodique. Convertir la masse déposée en volume avec la masse volumique, puis rapporter l'épaisseur déposée à la durée pour obtenir une vitesse en micromètres par minute.

Q : Comment organiser son temps pendant cette épreuve de deux heures ?

L'épreuve comporte une partie sur les vis et une autre sur la rondelle. Repérer les annexes nécessaires, traiter les calculs avec leurs unités et réserver du temps pour vérifier les résultats ainsi que joindre les courbes demandées.

Q : Quels critères faut-il respecter pour exploiter la courbe TTT ?

Lire les températures et les durées sur les axes appropriés, en tenant compte de l'échelle logarithmique du temps. Présenter un cycle indiquant clairement l'austénitisation, le refroidissement vers le palier, le maintien isotherme et le refroidissement final.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2004/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2004 - 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.