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 - Sous-épreuve spécifique à chaque option, Option A : Traitements Thermiques

Session 2014 • Code sujet : **TMSTI A - U4.4A** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude du corps et du carter en alliage EN AW-2002 (4 questions) **Page 3**

2. Étude des matrices en acier X38CrMoV5 (3 questions) **Page 5**

3. Étude de la crémaillère en acier X20Cr13 (5 questions) **Page 7**

4. Étude du pignon en acier 10NiCr6 et de sa cémentation (7 questions) **Page 11**

5. 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/2014/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2014 - 1-Sujet.pdf

1. Étude du corps et du carter en alliage EN AW-2002

L'actionneur pneumatique à mécanisme pignon-crémaillère comprend un corps et un carter fabriqués en petites séries par matriçage d'un alliage EN AW-2002. Le traitement prévu associe une trempe et un revenu pour durcir l'alliage.

Matriçage

Question I.1. **Décrire le principe du matriçage.**

Le matriçage consiste à comprimer un lopin métallique, généralement chauffé, entre deux matrices dont les empreintes correspondent à la forme recherchée. Sous l'action d'une presse ou d'un marteau, le métal se déforme plastiquement et remplit les empreintes. L'excédent peut former une bavure, éliminée ensuite par ébavurage. Le procédé permet d'obtenir une pièce de forme proche de la pièce finale, qui peut nécessiter des opérations d'usinage complémentaires.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Un lopin est comprimé entre deux matrices pour remplir leurs empreintes et prendre la forme voulue.

Question I.2. **Citer les avantages du matriçage par rapport à la coulée en sable.**

Critère	Matriçage par rapport à la coulée en sable
Propriétés mécaniques	Pièce généralement plus résistante, notamment en fatigue, grâce à l'écoulement et à l'orientation des fibres métallurgiques.
Défauts internes	Réduction des risques de porosités et de retassures propres à la fonderie.
Finition	Meilleure précision dimensionnelle et meilleur état de surface.

Le matriçage convient donc à la fabrication de pièces mécaniquement performantes et limite les reprises d'usinage, même si l'ébavurage peut rester nécessaire.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le matriçage donne des pièces plus résistantes et compactes, plus précises et mieux finies, avec moins de défauts de fonderie et de reprises d'usinage.

Traitement thermique de l'alliage

Question I.3. **À l'aide de l'annexe 1, justifier la température de 500 °C utilisée pour le premier cycle du traitement thermique.**

À la teneur en cuivre indiquée par la désignation de l'alliage, l'annexe 1 situe 500 °C dans le domaine monophasé α du diagramme Al-Cu. Le maintien à cette température permet de mettre le cuivre en solution solide et d'homogénéiser l'alliage avant la trempe. La température reste sous la zone de fusion eutectique, située vers 548 °C sur le diagramme : elle évite donc le risque de fusion débutante. Le palier prévu est de 4 h.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le palier de mise en solution est de 500 °C pendant 4 h : l'alliage entre dans le domaine α sans atteindre la fusion eutectique.

Question I.4. Préciser les transformations métallurgiques qui surviennent lors du revenu et qui donnent à cet alliage ses propriétés d'usage.

Après mise en solution puis trempe, les éléments d'addition restent piégés dans une solution solide sursaturée. Le revenu de 180 °C pendant 12 h provoque sa décomposition contrôlée et la formation de zones de Guinier-Preston, puis de précipités fins métastables. Ces obstacles freinent le déplacement des dislocations. Le durcissement obtenu vient donc de la précipitation, et non d'une transformation martensitique.

Cette évolution augmente la dureté et la résistance mécanique de l'alliage pour son usage.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le revenu à 180 °C pendant 12 h durcit l'alliage par précipitation fine et accroît sa résistance mécanique.

2. Étude des matrices en acier X38CrMoV5

Les matrices destinées à fabriquer le corps et le carter sont en acier X38CrMoV5, mesurent 350 × 350 × 300 mm et ont une masse de 290 kg. Elles sont traitées pour atteindre une dureté de 54 à 56 HRC, selon le cycle thermique présenté en annexe 2.

Famille d’aciers à outils

Question II.1. Indiquer à quelle famille d’aciers à outils appartient cet acier, en précisant sa classe et sa propriété d’usage.

X38CrMoV5 appartient aux aciers à outils alliés pour le travail à chaud, dans la classe des aciers au chrome-molybdène-vanadium. Cette nuance est adaptée aux matrices de forge ou d’estampage. Elle doit conserver sa dureté et sa résistance à l’usure à chaud, tout en supportant les chocs thermiques et les sollicitations mécaniques répétées.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acier à outils allié pour travail à chaud, adapté aux matrices et résistant à l’usure et aux chocs thermiques.

Désignation et composition

Question II.2. À partir de la désignation de l’acier, préciser en toutes lettres sa composition chimique, ainsi que le caractère et l’influence de chacun des éléments d’addition.

Élément	Teneur indiquée	Caractère et influence
Carbone	Environ 0,38 %	Durcit l’acier et augmente sa trempabilité.
Chrome	Environ 5 %	Élément alphagène et carburigène : augmente la trempabilité, la résistance à l’usure et à l’oxydation.
Molybdène	Présent, teneur non chiffrée	Alphagène et carburigène : améliore la résistance au revenu et à chaud.
Vanadium	Présent, teneur non chiffrée	Alphagène et carburigène : affine le grain et contribue au durcissement secondaire.

Le préfixe X indique un acier fortement allié. Le nombre 38 donne la teneur approximative en carbone, et le chiffre 5 indique environ 5 % de chrome. Les teneurs en molybdène et vanadium ne sont pas précisées dans cette désignation. Le fer constitue la base de l’acier.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Environ 0,38 % C et 5 % Cr, avec Mo et V : acier fortement allié, à haute trempabilité, résistant au revenu et à l’usure.

Cycle thermique

Question II.3. À l'aide de l'annexe 2, justifier chaque température du cycle thermique. Insister particulièrement sur les phénomènes métallurgiques qui interviennent au cours des deux revenus.

1. **500 °C puis 850 °C :** préchauffages progressifs de la matrice massive, limitant les gradients thermiques, les déformations et les fissures.
2. **1050 °C :** austénitisation et mise en solution partielle des carbures avant la trempe à l'huile.
3. **Premier revenu à 550 °C :** détend la martensite et provoque la précipitation de carbures fins d'alliage. Le durcissement secondaire permet d'atteindre la dureté recherchée. Le refroidissement à l'huile favorise la transformation d'une partie de l'austénite résiduelle en martensite.
4. **Second revenu à 500 °C :** adoucit cette martensite nouvellement formée et réduit les contraintes internes. Le refroidissement final se fait également à l'huile.

Les durées de maintien ne sont pas indiquées sur le cycle.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Préchauffages à 500 et 850 °C, austénitisation à 1050 °C, trempe à l'huile, puis doubles revenus à 550 et 500 °C avec refroidissement à l'huile.

3. Étude de la crémaillère en acier X20Cr13

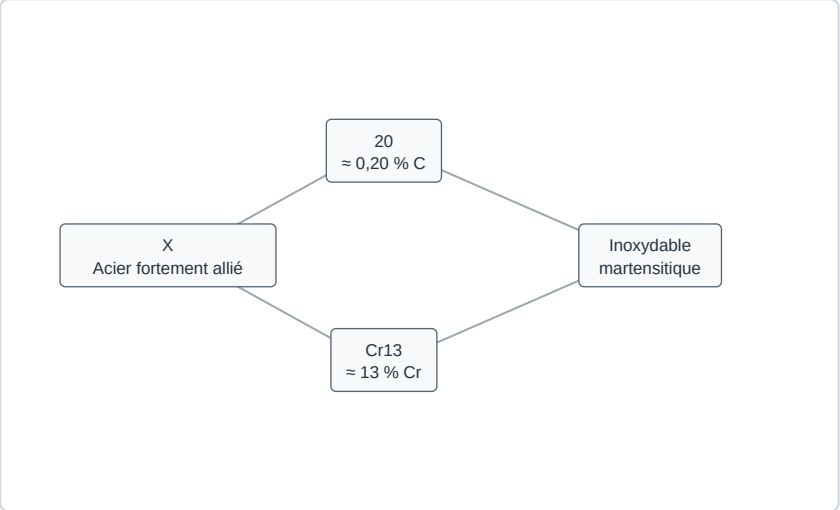
La crémaillère en acier X20Cr13 doit présenter une résistance à la traction comprise entre 950 et 1050 MPa et une résilience KU d'au moins 20 J. Sa gamme prévoit un estampage à chaud, un recuit d'adoucissement, des opérations d'usinage, puis une trempe et un revenu.

Nuance d'acier

Question III.1. **Indiquer à quelle famille appartient l'acier X20Cr13 et justifier la réponse.**

Le préfixe **X** désigne un acier fortement allié. Dans **X20Cr13**, le nombre 20 indique environ 0,20 % de carbone et Cr13 indique environ 13 % de chrome. Cette teneur en chrome classe l'acier parmi les inoxydables. Sa teneur en carbone permet le durcissement par trempe et conduit à une structure martensitique.

Lecture de la désignation X20Cr13



La désignation indique l'alliage et sa composition nominale.

✓ RÉPONSE À RETENIR

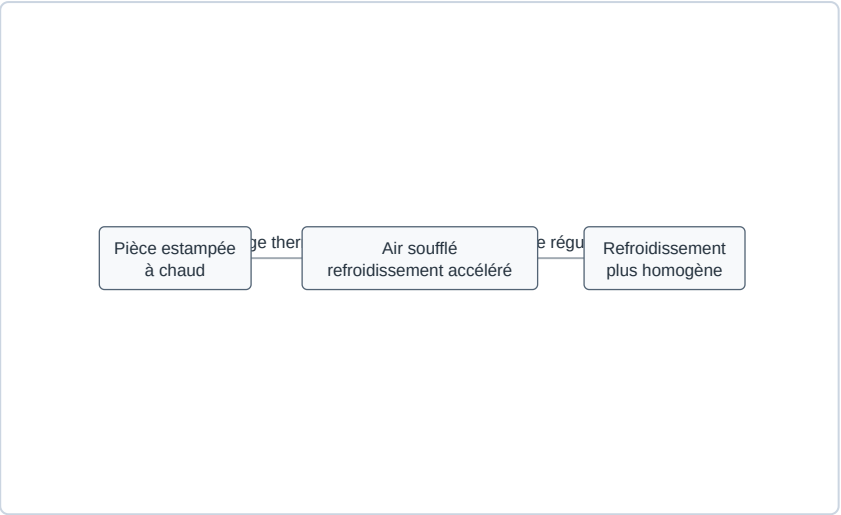
X20Cr13 : acier fortement allié, inoxydable martensitique, contenant environ 0,20 % C et 13 % Cr.

Phase 40 : estampage à chaud

Question III.2. **Justifier le refroidissement à l'air soufflé après l'estampage à chaud.**

Le soufflage accélère et homogénéise le refroidissement de la pièce après l'estampage. Il limite son maintien à haute température et les écarts thermiques, qui peuvent favoriser une structure grossière ou hétérogène. L'air soufflé reste moins brutal qu'une trempe dans un liquide. Comme l'acier peut durcir au refroidissement, le recuit d'adoucissement prévu en phase 50 ramène ensuite la pièce à un état plus facile à usiner.

Refroidissement après estampage à chaud



Le recuit d’adoucissement est réalisé ensuite, avant l’usinage d’ébauche.

✓ RÉPONSE À RETENIR

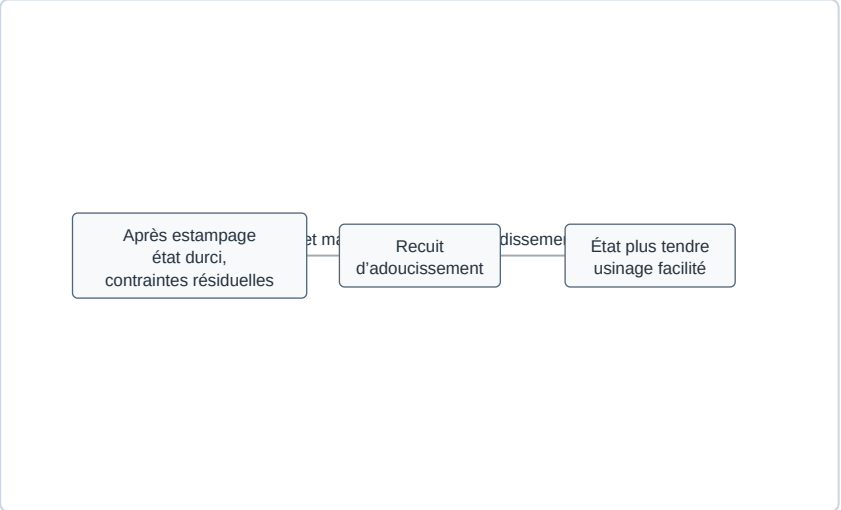
L’air soufflé accélère et homogénéise le refroidissement après estampage, avant le recuit d’adoucissement.

Phase 50 : recuit d’adoucissement

Question III.3. Indiquer le but du recuit d’adoucissement.

Le recuit d’adoucissement vise à diminuer la dureté et à améliorer l’usinabilité de la crémaillère après l’estampage. Il réduit aussi les contraintes résiduelles introduites par la mise en forme. La pièce devient ainsi plus facile à usiner en phase 60, avant le traitement final de trempe et revenu prévu en phase 70.

But du recuit d’adoucissement



Le traitement prépare la pièce à l’usinage d’ébauche.

✓ RÉPONSE À RETENIR

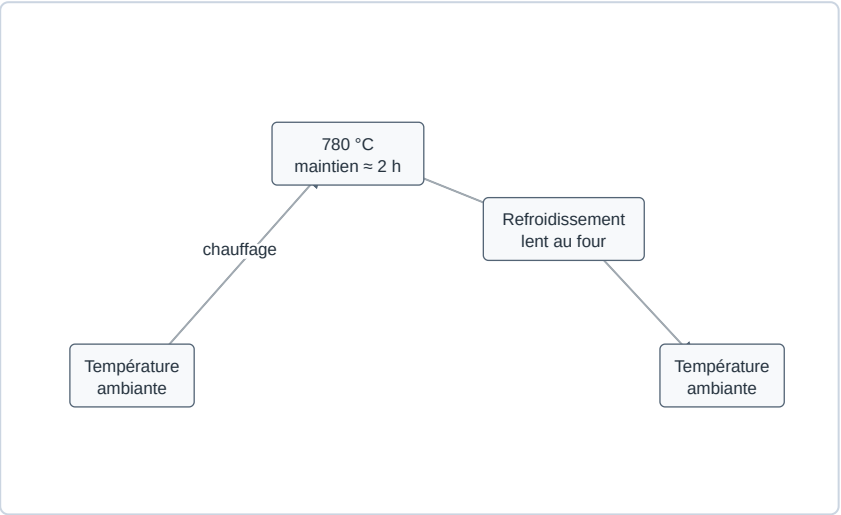
Adoucir la crémaillère, réduire ses contraintes résiduelles et faciliter l’usinage d’ébauche.

Phase 50 : cycle de recuit

Question III.4. Tracer le cycle thermique du recuit d'adoucissement en précisant les températures, les temps et le mode de refroidissement.

Un cycle indicatif consiste à chauffer à **780 °C**, maintenir environ **2 h** après homogénéisation, puis refroidir lentement au four jusqu'à température ambiante. Cette température reste sous **Ac_1 = 850 °C** indiqué dans l'annexe 4 : le traitement est subcritique et évite une nouvelle austénitisation. Le temps de maintien est à ajuster selon la section de la pièce.

Cycle indicatif de recuit d'adoucissement



Cycle proposé ; durée à adapter à la section et à la mise à température à cœur.

✓ RÉPONSE À RETENIR

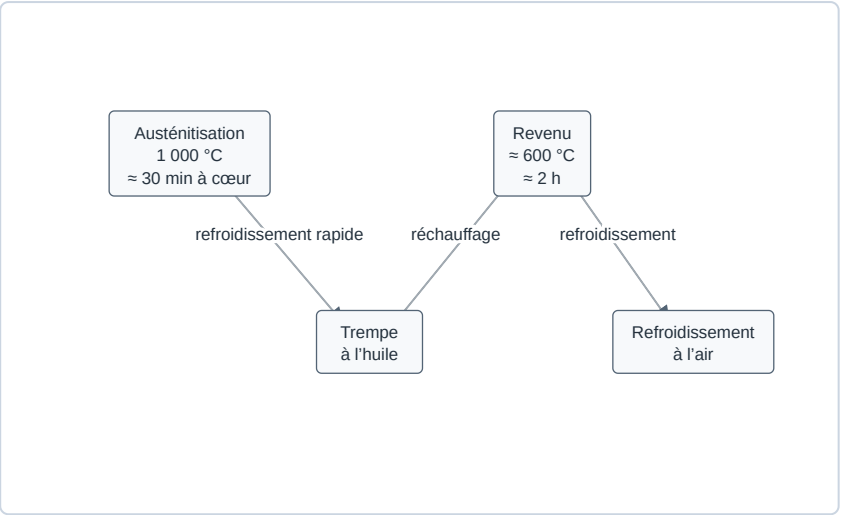
Cycle indicatif : 780 °C, maintien environ 2 h, puis refroidissement lent au four jusqu'à température ambiante.

Phase 70 : trempe et revenu

Question III.5. À l'aide de l'annexe 4, tracer et justifier le cycle thermique complet, en précisant les températures et les temps, afin de répondre au cahier des charges.

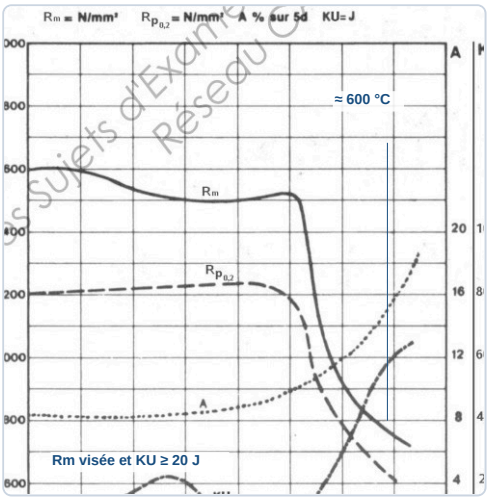
Chauffer à **1 000 °C**, au-dessus de **Ac_1 = 850 °C**, et maintenir environ **30 min à cœur**, puis tremper à l'huile. La courbe TRC montre qu'un refroidissement assez rapide est nécessaire pour éviter les transformations diffusantes et obtenir la structure trempée. Revenir vers **600 °C pendant environ 2 h**, puis refroidir à l'air : la courbe des caractéristiques indique alors une résistance dans la plage visée et une résilience KU d'au moins 20 J.

Cycle de trempe et revenu de la crémaillère



Températures lues ou proposées à partir de l'annexe 4 ; durées indicatives de maintien.

Repérage du revenu sur la courbe de l'annexe 4



✓ RÉPONSE À RETENIR

1 000 °C, maintien à cœur ≈ 30 min, trempe à l'huile ; revenu vers 600 °C pendant ≈ 2 h, puis refroidissement à l'air.

4. Étude du pignon en acier 10NiCr6 et de sa cémentation

Le pignon en acier 10NiCr6 est destiné à recevoir une cémentation gazeuse sur toute sa surface. Le cahier des charges fixe une dureté superficielle de 62 à 64 HRC et une profondeur conventionnelle de cémentation de 0,6 à 0,7 mm, à intégrer à sa gamme d'usinage.

Choix de l'acier

Question IV.1. Expliquer les critères généraux de choix d'un acier de cémentation.

Un acier de cémentation doit donner une couche superficielle dure et résistante à l'usure, tout en conservant un cœur tenace et résistant aux chocs. On choisit donc un acier faiblement carburé, comme le 10NiCr6, afin que le cœur garde une faible teneur en carbone après traitement. La surface, enrichie en carbone puis trempée, devient très dure. Les éléments d'alliage apportent une trempabilité adaptée à la pièce.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acier faiblement carburé, à cœur tenace et à couche superficielle fortement durcie par cémentation et trempe.

Choix du traitement

Question IV.2. Justifier le choix de l'entreprise d'effectuer une cémentation suivie d'une trempe directe.

La cémentation enrichit la surface en carbone, tandis que le cœur conserve sa faible teneur initiale et donc sa ténacité. La trempe directe, réalisée dès la température de cémentation, transforme la couche enrichie en martensite dure. Elle évite une nouvelle montée en température, raccourcit le cycle et limite les opérations. Le choix convient au 10NiCr6, sous réserve de maîtriser le risque de grossissement du grain et les déformations.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La trempe directe durcit la couche cémentée tout en préservant la ténacité du cœur et en évitant une nouvelle austénitisation.

Gamme de fabrication

Question IV.3. Situer le cycle thermique complet dans la gamme d'usinage du pignon et justifier votre réponse.

1. Après l'usinage d'ébauche de phase 30, effectuer la cémentation gazeuse, puis la trempe directe et un revenu à basse température.
2. Réaliser ensuite la finition et la rectification de phase 40.
3. Terminer par le contrôle final de phase 50, notamment de la dureté superficielle et de la profondeur cémentée.

Le traitement précède la finition, car la trempe peut déformer la pièce. La rectification corrige ces déformations et permet d'atteindre les dimensions finales ; l'ébauche doit donc laisser une surépaisseur adaptée.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Cycle thermique après la phase 30 et avant la finition-rectification de phase 40.

Préparation au traitement

Question IV.4. Indiquer les opérations à prévoir avant le traitement de cémentation.

La préparation vise une surface propre et un résultat dimensionnel maîtrisé :

- Ébavurer, puis nettoyer et dégraisser soigneusement le pignon pour éviter toute contamination du traitement.
- Prévoir à l'ébauche une surépaisseur suffisante pour la rectification après traitement.
- Positionner correctement les pièces dans le four afin d'assurer une cémentation régulière.

Le traitement portant sur toute la pièce, aucun masquage sélectif n'est nécessaire.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Ébavurage, nettoyage-dégraissage, surépaisseur de rectification et positionnement stable dans le four.

Atmosphère de cémentation

Question IV.5. Indiquer le moyen technique permettant d'obtenir l'atmosphère de cémentation.

La cémentation gazeuse s'effectue dans un four étanche alimenté par une atmosphère carburante. On utilise généralement un gaz porteur endothermique, enrichi en hydrocarbures tels que le méthane ou le propane. Le potentiel carbone de l'atmosphère est réglé et contrôlé pour assurer l'enrichissement de la surface. Une circulation homogène du gaz favorise un traitement régulier sur toute la pièce.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Four étanche à atmosphère endothermique enrichie en hydrocarbures, avec régulation du potentiel carbone.

Paramètres de cémentation

Question IV.6. Proposer une température et une durée de cémentation en justifiant le choix.

La cémentation se déroule dans le domaine austénitique. La durée dépend de la profondeur visée : l'enrichissement et la diffusion du carbone progressent avec le temps et la température. Une température voisine de 930 °C offre une diffusion efficace ; une durée d'environ 7 h constitue une proposition pour atteindre la profondeur demandée, à confirmer par contrôle sur pièce témoin.

Paramètre	Proposition	Objectif
Température	Environ 930 °C	Domaine austénitique
Durée	Environ 7 h	Profondeur conventionnelle de 0,6 à 0,7 mm

✓ RÉPONSE À RETENIR

Cémentation proposée : environ 930 °C pendant 7 h, pour viser 0,6 à 0,7 mm de profondeur conventionnelle.

Revenu après traitement

Question IV.7. Compte tenu de la dureté superficielle attendue, proposer une température et une durée de revenu.

Après la trempe directe, un revenu à basse température réduit les contraintes et la fragilité de la martensite sans abaisser excessivement sa dureté. On peut retenir environ 180 °C pendant 2 h, puis vérifier la dureté obtenue sur la couche cémentée. Ce choix vise à conserver la dureté superficielle demandée de 62 à 64 HRC.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Revenu proposé : environ 180 °C pendant 2 h.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2014)

Bilan de l'épreuve : Cette sous-épreuve de BTS Traitements des matériaux, option A Traitements thermiques, appartient à la session 2014, sous le code TMSTI A - U4.4A. D'une durée de deux heures et de coefficient 2, elle étudie les traitements du corps, du carter, des matrices, de la crémaillère et du pignon d'un actionneur pneumatique. Elle évalue l'analyse des nuances et le choix des cycles thermiques adaptés aux propriétés exigées.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le diagramme d'équilibre Al-Cu sert à situer la température de mise en solution de l'alliage avant trempe.
- La désignation d'un acier renseigne sur sa composition et aide à relier ses éléments d'addition à ses propriétés d'usage.
- Une courbe TRC permet d'analyser les transformations de l'acier pendant le refroidissement et d'orienter le choix de la trempe.
- La profondeur de cémentation dépend notamment de la température et de la durée du traitement de diffusion du carbone.

Points de vigilance & attentes du jury

- Fonder les justifications des températures sur les annexes et les diagrammes fournis.
- Pour chaque cycle tracé, indiquer clairement les températures, les durées des paliers et les modes de refroidissement demandés.
- Relier chaque traitement aux exigences du cahier des charges : résistance, résilience, dureté et profondeur de cémentation.
- Situer le traitement thermique au bon endroit dans la gamme d'usinage et justifier son emplacement.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment justifier une température de traitement à partir d'un diagramme d'équilibre ?

Repérez la composition de l'alliage sur le diagramme, puis situez la température choisie dans le domaine de phases correspondant. Expliquez en quoi cette position permet la transformation ou la mise en solution recherchée.

Q : À quoi sert la courbe TRC pour choisir le cycle de la crémaillère ?

La courbe TRC décrit les transformations possibles pendant le refroidissement selon le temps et la température. Elle aide à justifier le choix des conditions de trempe en fonction de la structure et des propriétés mécaniques attendues.

Q : Comment répartir le temps pendant cette épreuve de deux heures ?

Le barème attribue des points à chaque question et totalise 20 points. Utilisez cette répartition pour gérer le temps entre les quatre parties, puis gardez quelques minutes pour vérifier les justifications et les cycles tracés.

Q : Que doit comporter le tracé d'un cycle thermique pour être lisible ?

Faites apparaître les étapes de chauffage et de refroidissement, les températures et la durée des paliers, ainsi que le mode de refroidissement demandé. Le cycle doit rester cohérent avec la nuance et le cahier des charges.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2014/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2014 - 1-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.