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, option A : Traitements Thermiques

Session 2006 • Code sujet : **TMSTI A** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude du processus de fabrication par fluotournage (10 questions) **Page 3**

2. Étude du processus de fabrication par martelage et soudage (5 questions) **Page 7**

3. Fabrication des couvercles en alliage d'aluminium (4 questions) **Page 10**

4. 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/2006/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2006 - 3-Sujet.pdf

1. Étude du processus de fabrication par fluotournage

Cette partie étudie la fabrication de bouteilles d'extincteurs par fluotournage à chaud de tubes en acier 35CrMo4, puis leur traitement thermique et leurs contrôles. Les annexes présentent la courbe TRC et les caractéristiques de l'acier afin d'étudier la mise en forme, les traitements et la résilience.

Étude de l'acier

Question 1.1. Donnez la composition chimique moyenne de l'acier utilisé en écrivant le nom des éléments en toutes lettres.

La composition moyenne indicative du 35CrMo4 est donnée ci-dessous. Le fer constitue le solde ; le phosphore et le soufre sont des impuretés résiduelles limitées.

Élément	Teneur moyenne approximative
Carbone	0,35 %
Silicium	0,25 %
Manganèse	0,75 %
Chrome	1,05 %
Molybdène	0,23 %
Fer	Reste

✓ RÉPONSE À RETENIR

35CrMo4 : environ 0,35 % de carbone, 0,25 % de silicium, 0,75 % de manganèse, 1,05 % de chrome et 0,23 % de molybdène, le reste étant du fer.

Question 2.2. Précisez l'utilité de chaque élément de l'acier vis-à-vis de ses caractéristiques mécaniques et de ses traitements thermiques.

Le carbone augmente la dureté et la résistance après trempe, mais diminue la ductilité. Le chrome et le manganèse augmentent la résistance et la trempabilité, donc facilitent le durcissement à cœur. Le molybdène renforce la trempabilité et limite la fragilisation au revenu. Le silicium sert principalement à désoxyder l'acier et contribue à sa résistance. Le fer forme la matrice. Ensemble, les éléments d'alliage permettent d'obtenir après trempe et revenu un compromis entre résistance mécanique, ductilité et résilience.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Carbone : dureté ; chrome, manganèse et molybdène : résistance et trempabilité ; silicium : désoxydation ; fer : matrice de l'acier.

Mise en forme par fluotournage à chaud

Question 2.1. Expliquez pourquoi la mise en forme par fluotournage à température ambiante serait plus difficile que le procédé à chaud décrit, qui chauffe la pièce à environ 1000 °C.

À température ambiante, l'acier présente une limite d'élasticité et une résistance à la déformation plus élevées. Le galet doit donc exercer des efforts plus importants. La déformation à froid provoque en outre un écrouissage : la résistance augmente et la ductilité diminue au cours du formage, ce qui accroît le risque de fissuration. Vers 1000 °C, l'acier est plus déformable et les efforts nécessaires au fluotournage sont réduits.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> À froid, les efforts de formage sont plus élevés et l'écrouissage réduit la ductilité, augmentant le risque de fissuration.

Question 2.2. Indiquez quel devrait être l'état métallurgique de l'acier brut de réception pour réaliser le fluotournage à température ambiante et justifiez votre réponse.

Il faut un acier dans un état recuit adoucissant, donc peu dur et suffisamment ductile pour supporter la déformation à froid sans fissurer. La fiche technique donne précisément un acier réceptionné à l'état recuit, à 220 HV30. Cet état constitue la référence attendue pour favoriser le fluotournage à température ambiante.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> État de réception recuit adoucissant, favorable à la ductilité ; la fiche indique 220 HV30.

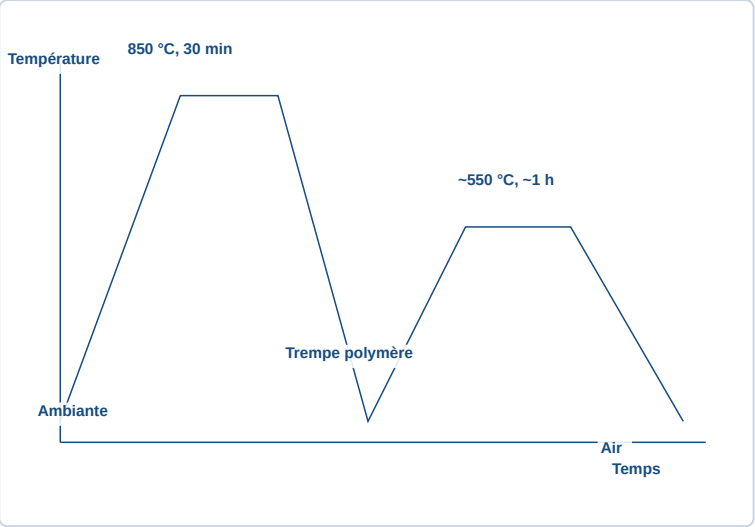
Traitements thermiques

Question 3.1. Dessinez le cycle thermique complet en précisant les températures, les durées approximatives et les milieux de refroidissement lors de la trempe et du revenu. Justifiez chaque valeur proposée.

L'annexe 1 indique une austénitisation à 850 °C pendant 30 min ; cette température dépasse Ac3 = 800 °C. La trempe en polymère doit traverser assez vite le domaine de transformation pour former la martensite. L'annexe 2 conduit à retenir un revenu voisin de 550 °C : il réduit la fragilité tout en visant les caractéristiques demandées, notamment Rm supérieur à 1200 MPa. Une durée d'environ 1 h est une valeur pratique indicative, à adapter à la section et au four. Refroidir ensuite à l'air.

1. Austénitiser à 850 °C pendant 30 min.
2. Tremper en polymère jusqu'à température ambiante.
3. Revenir vers 550 °C pendant environ 1 h, puis refroidir à l'air.

Cycle thermique du 35CrMo4



✓ RÉPONSE À RETENIR

Austénitisation : 850 °C pendant 30 min ; trempe en polymère ; revenu vers 550 °C pendant environ 1 h ; refroidissement final à l'air.

Trempe en polymère

Question 3.2. Présentez les avantages d'une trempe en polymère par rapport aux autres milieux de trempe proposés, l'eau et l'huile.

La sévérité d'une trempe au polymère se règle notamment par la concentration et la température du bain. Elle permet un compromis entre l'eau, très sévère, et l'huile, généralement moins rapide.

- Par rapport à l'eau, elle réduit les gradients thermiques, les contraintes, les déformations et le risque de fissuration.
- Par rapport à l'huile, elle peut assurer un refroidissement plus rapide tout en limitant les risques d'incendie.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le polymère permet de régler la vitesse de refroidissement et offre un compromis entre l'eau, trop sévère, et l'huile, moins rapide.

Revenu

Question 3.3. Précisez l'utilité du revenu et détaillez l'évolution structurale de l'acier au cours de ce traitement.

Le revenu diminue la fragilité et les contraintes internes de la martensite de trempe, afin d'accroître la ductilité et la résilience tout en conservant une résistance suffisante. Pendant le maintien, la martensite sursaturée en carbone évolue : le carbone diffuse et précipite sous forme de carbures, tandis que la matrice s'appauvrit en

carbone et se réorganise. On obtient une martensite revenue. La dureté et la résistance diminuent généralement, alors que la ténacité et l'allongement progressent.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le revenu décompose la martensite trempée en martensite revenue, réduit sa fragilité et améliore ductilité et résilience.

Contrôle

Question 4.1. **Le cahier des charges prévoit une résilience KCV supérieure à 60 J/cm². Indiquez ce que signifie KCV.**

KCV désigne la résilience mesurée avec une éprouvette Charpy entaillée en V. C'est l'énergie absorbée lors de la rupture, rapportée à la section résistante sous l'entaille ; elle s'exprime en J/cm².

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> KCV : énergie absorbée à la rupture lors d'un essai Charpy avec entaille en V, rapportée à la section sous l'entaille.

Question 4.2. **Indiquez ce que signifie TK35.**

TK35 est la température de transition associée à une résilience Charpy de 35 J/cm². Elle se détermine à partir de la variation de l'énergie absorbée en fonction de la température d'essai.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> TK35 : température à laquelle la résilience Charpy atteint 35 J/cm².

Question 4.3. **Choisissez l'essai mécanique qui permet de mesurer les valeurs demandées et expliquez brièvement son principe.**

L'essai adapté est l'essai de résilience Charpy. On rompt une éprouvette normalisée entaillée en V avec un pendule, puis on détermine l'énergie absorbée à partir de la différence entre l'énergie du pendule avant et après le choc. La résilience est obtenue en rapportant cette énergie à la section sous l'entaille. Des essais à plusieurs températures permettent de déterminer TK35.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Essai Charpy sur éprouvette entaillée en V : mesurer l'énergie absorbée au choc et la résilience, à différentes températures.

2. Étude du processus de fabrication par martelage et soudage

Cette partie porte sur la fabrication d'une bouteille en acier 35CrMo4 par forgeage à chaud au martelage et soudage MIG du fond, sans traitement thermique de durcissement. Une filiation de microdureté en annexe révèle un pic au voisinage de la soudure, dont il faut analyser l'origine, les risques et le remède thermique.

Soudage fil MIG

Question 1. Décrivez brièvement le principe général du soudage utilisé pour assurer la fermeture du fond de la bouteille.

En soudage MIG, un arc électrique se forme entre la pièce et un fil-électrode fusible, amené en continu. La chaleur de l'arc fait fondre les bords à assembler et le fil, qui constitue le métal d'apport. Un gaz inerte protège le bain de fusion de l'air et limite son oxydation. En refroidissant, le métal fondu se solidifie et forme un cordon continu qui assure la fermeture du fond.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> Arc électrique, fil fusible continu et protection par gaz inerte : le métal fondu forme le cordon de soudure.

Zone affectée thermiquement

Question 2. Présentez la zone affectée thermiquement (ZAT) dans le contexte du soudage.

La zone affectée thermiquement (ZAT) est la partie du métal de base située près du cordon de soudure. Elle n'a pas fondu, mais a subi l'échauffement puis le refroidissement liés au soudage. La température maximale et la vitesse de refroidissement varient selon la distance au cordon : elles peuvent donc modifier localement la structure métallurgique, la dureté et la ténacité.

- Le métal de la ZAT reste à l'état solide.
- Ses propriétés peuvent différer de celles du métal de base non affecté.

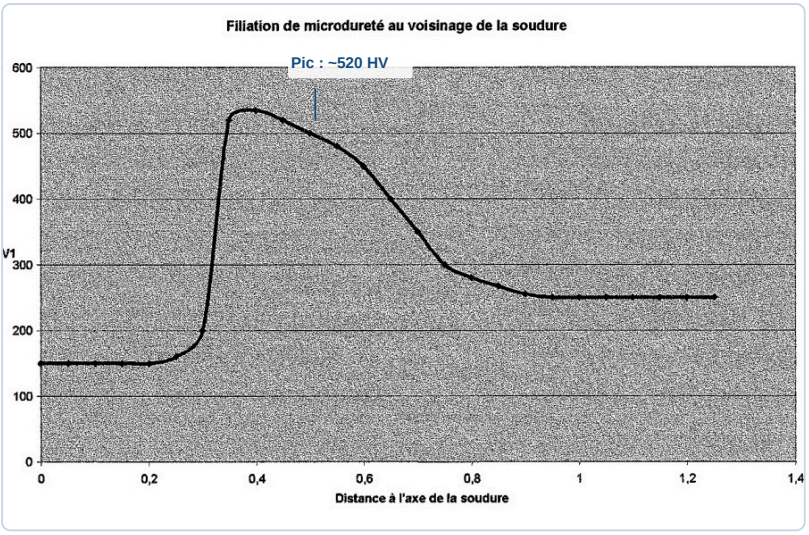
> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> La ZAT est le métal de base non fondu dont la structure et les propriétés ont été modifiées par la chaleur du soudage.

Filiation de dureté au voisinage de la soudure

Question 2.1. Justifiez la présence du pic de dureté observé, indiqué à 520 HVS et correspondant approximativement à 50 HRC, puis précisez les constituants micrographiques possibles dans cette zone.

Près du cordon, le cycle thermique peut porter l'acier au-dessus de sa température d'austénitisation. Le refroidissement rapide dans la matière environnante transforme alors l'austénite en constituants durs. Le chrome et le molybdène augmentent la trempabilité du 35CrMo4, ce qui explique le pic indiqué à 520 HV, soit environ 50 HRC. La microstructure peut être principalement martensitique, avec éventuellement de la bainite et de l'austénite résiduelle. Elle dépend de la température maximale atteinte et de la vitesse de refroidissement.

Pic de dureté dans la ZAT



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pic dû à la trempe locale de la ZAT : martensite dominante, éventuellement accompagnée de bainite et d'austénite résiduelle.

Question 2.2. **Indiquez les risques que peut provoquer la présence d'un tel pic de dureté.**

Un pic de dureté traduit une zone durcie et moins ductile que le métal de base. La martensite de la ZAT est sensible à la fissuration, surtout si des contraintes résiduelles et de l'hydrogène sont présents. Cette zone peut aussi perdre en ténacité et devenir un point d'amorçage de rupture en service.

- Fissuration à froid ou différée.
- Rupture fragile sous choc ou sous contrainte.
- Amorçage et propagation de fissures en fatigue.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Risques : fissuration à froid, fragilisation et rupture prématurée, notamment sous choc ou en fatigue.

Correction thermique

Question 2.3. **Proposez un traitement thermique curatif pour supprimer le pic de dureté tout en limitant les déformations et l'oxydation. Précisez les températures, les temps et le mode de refroidissement.**

Appliquer un revenu de détente à l'ensemble de la bouteille pour adoucir la martensite de la ZAT sans réausténitiser l'acier. Chauffer uniformément jusqu'à environ 600 °C, sous atmosphère protectrice, puis maintenir environ 1 h après égalisation en température. Cette température reste sous Ac1 = 750 °C (annexe 2). Refroidir lentement au four jusqu'à environ 300 °C, puis à l'air calme. Une montée en température et un refroidissement réguliers limitent les déformations ; l'atmosphère protectrice réduit l'oxydation.

✓ **RÉPONSE À RETENIR**

Revenu vers 600 °C pendant environ 1 h, sous atmosphère protectrice ; refroidissement lent au four jusqu’à environ 300 °C, puis à l’air calme.

3. Fabrication des couvercles en alliage d'aluminium

Cette partie étudie les couvercles de certains extincteurs, réalisés en alliage d'aluminium par fonderie en moule métallique. Les questions portent sur le procédé, la composition de l'alliage EN AC AlCu4MgTi et le cycle thermique T6, comprenant une trempe et un revenu.

Procédé de mise en forme

Question 1. Décrivez succinctement le procédé de fonderie en moule métallique utilisé pour fabriquer les couvercles.

Le couvercle est fabriqué par **fonderie en moule métallique permanent**. Le moule, constitué de plusieurs parties et éventuellement d'un noyau, est préparé puis fermé. L'alliage d'aluminium liquide est coulé dans l'empreinte, généralement par gravité. Après solidification et refroidissement, le moule est ouvert et la pièce démoulée. Les attaques et bavures sont ensuite éliminées avant les finitions. Le moule réutilisable assure une bonne répétabilité des pièces.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Couler l'alliage liquide dans le moule métallique, laisser solidifier, démouler puis ébarber.

Alliage utilisé

Question 2. Donnez la composition chimique de l'alliage de nuance EN AC AlCu4MgTi.

La nuance désigne un alliage d'aluminium principalement allié au cuivre, avec du magnésium et du titane. La composition usuelle comprend aussi une addition de manganèse. Les teneurs sont massiques et l'aluminium constitue le complément.

Élément	Teneur massique usuelle
Cuivre	4 à 5 %
Magnésium	0,15 à 0,35 %
Manganèse	0,2 à 0,5 %
Titane	0,15 à 0,30 %
Aluminium	Complément

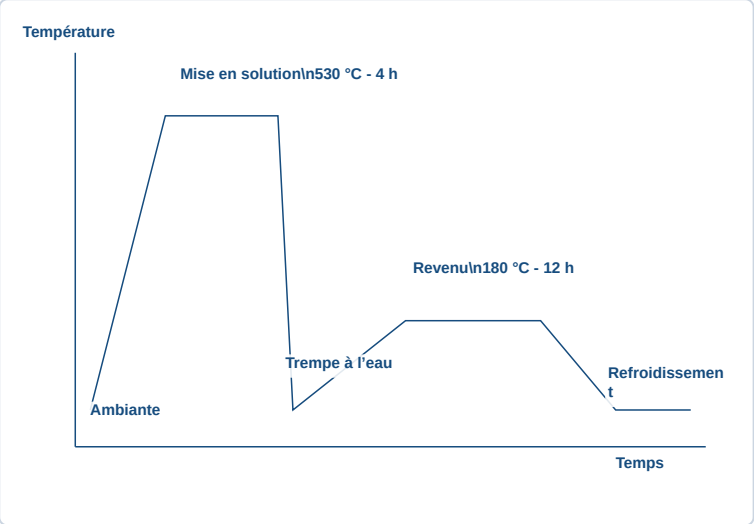
> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Cu : 4 à 5 % ; Mg : 0,15 à 0,35 % ; Mn : 0,2 à 0,5 % ; Ti : 0,15 à 0,30 % ; Al : complément.

Traitement thermique T6

Question 3.1. À l'aide des données proposées, dessinez le cycle thermique complet du traitement à appliquer aux pièces et justifiez chaque paramètre : température et durée de maintien avant trempe, milieu de trempe, puis couple température-temps du revenu.

Le traitement T6 comprend une mise en solution, une trempe rapide, puis un vieillissement artificiel. On retient **530 °C pendant 4 h** : 310 °C est insuffisant pour mettre les éléments d'alliage en solution, tandis que 850 °C est excessif et risque de fondre l'alliage. Le maintien de 10 min est trop court ; 10 h est inutilement long. La trempe à l'eau à température ambiante conserve une solution solide sursaturée, contrairement à un refroidissement trop lent à l'air. Le revenu adapté est **180 °C pendant 12 h**.

Cycle thermique T6 de l'alliage d'aluminium



✓ RÉPONSE À RETENIR

Mise en solution : 530 °C pendant 4 h ; trempe à l'eau à température ambiante ; vieillissement artificiel : 180 °C pendant 12 h.

Question 3.2. Précisez les transformations métallurgiques qui interviennent au cours du revenu.

Après la trempe, le cuivre et le magnésium sont maintenus dans une solution solide d'aluminium sursaturée. Au cours du revenu artificiel, les atomes diffusent et se regroupent d'abord en amas et zones GP, puis forment des précipités fins, cohérents ou semi-cohérents. Il s'agit notamment des phases durcissantes des systèmes Al-Cu et Al-Cu-Mg. Ces précipités gênent le déplacement des dislocations et augmentent la résistance mécanique. Un revenu excessif les grossit et réduit le durcissement.

✓ RÉPONSE À RETENIR

La solution solide sursaturée forme des précipités fins durcissants des systèmes Al-Cu et Al-Cu-Mg.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2006)

Bilan de l'épreuve : Cette épreuve de BTS Traitements des Matériaux, session 2006, code TMSTI A, dure 2 heures et a un coefficient 2. Elle étudie la fabrication de bouteilles d'extincteurs en acier par fluotournage ou martelage-soudage, ainsi que leurs couvercles en alliage d'aluminium. Les compétences évaluées concernent la mise en forme, les traitements thermiques, le soudage, la fonderie et les contrôles mécaniques.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Le traitement de l'acier 35CrMo4 associe austénitisation, trempe et revenu pour atteindre les propriétés mécaniques prescrites.
- Le fluotournage à chaud facilite la déformation plastique en réduisant la résistance de l'acier à la mise en forme.
- Le cycle thermique local du soudage peut durcir la ZAT, notamment par formation de constituants durs lors du refroidissement.
- Le traitement T6 d'un alliage d'aluminium comprend une mise en solution, une trempe puis un revenu de durcissement.

Points de vigilance & attentes du jury

- Justifiez les paramètres des traitements à partir des annexes et des propriétés demandées.
- Représentez clairement chaque étape du cycle et indiquez les milieux de refroidissement.
- Pour le pic de dureté, reliez l'effet thermique du soudage aux constituants possibles et aux risques associés.
- Respectez les unités et distinguez les grandeurs KCV, TK35, HV et HRC.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment construire le cycle de trempe et revenu demandé pour le 35CrMo4 ?

Repérez les températures critiques et les propriétés recherchées dans les annexes. Indiquez l'austénitisation, la trempe en polymère, puis un revenu cohérent avec les caractéristiques visées, en précisant les durées et les refroidissements demandés.

Q : Pourquoi la dureté peut-elle augmenter près d'une soudure MIG ?

La chaleur du soudage peut porter localement l'acier dans le domaine austénitique. Un refroidissement rapide de la zone affectée thermiquement peut alors produire des constituants durs, notamment de la martensite, ce qui explique le pic mesuré.

Q : Comment répartir son temps entre les parties de l'épreuve ?

L'épreuve dure deux heures et son coefficient est 2. Le barème attribue 10 points à la partie A, 3,5 points à la partie B et 6,5 points à la partie C. Répartissez votre temps en tenant compte de ces pondérations.

Q : Que faut-il justifier lors du choix des traitements thermiques ?

Reliez chaque paramètre à l'objectif métallurgique et aux données fournies : températures critiques, courbes de transformation et propriétés visées. Précisez les temps, le milieu de trempe et le refroidissement sans confondre les étapes.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2006/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2006 - 3-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.