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 Thermiques

Session 2016 • Code sujet : **TMSTI A** • Durée : **2 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. Étude d’un flasque en 2024 PL (8 questions) **Page 3**

2. Étude du roulement de rotation du module caméra (4 questions) **Page 6**

3. Étude d’un support de ressort en fonte grise non alliée (7 questions) **Page 8**

4. Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ) (Synthèse & Q&A Examen) **Page 11**

Sujet officiel (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2016/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2016 - 1-Sujet.pdf

1. Étude d’un flasque en 2024 PL

Le flasque est découpé dans une tôle de 2024 plaquée sur ses deux faces par du 1050 : le cœur apporte les caractéristiques mécaniques et les placages protègent de la corrosion. L’étude compare deux gammes de fabrication et examine les traitements thermiques, la mise en forme à froid et le chargement du four.

Question I.1. Justifier pourquoi l’usinage des trous et des trois trous oblongs est réalisé avant le recuit de recristallisation.

L’usinage des trous et des lumières déforme localement le métal et y crée de l’écrouissage. Le recuit placé ensuite efface cet écrouissage et homogénéise l’état métallurgique avant les opérations de mise en forme. Si l’usinage était réalisé après le recuit, les bords usinés seraient localement écrouis et moins ductiles que le reste de la tôle, ce qui pourrait favoriser l’amorçage de criques lors de l’emboutissage ou du cambrage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Usiner avant le recuit permet d’éliminer par recristallisation l’écrouissage local dû à l’usinage, avant la mise en forme à froid.

Question I.2. Expliquer le rôle du recuit de recristallisation et justifier son utilité avant l’emboutissage et le cambrage à froid.

Le recuit de recristallisation forme de nouveaux grains non écrouis. Il réduit l’écrouissage de l’état H12 et restaure la ductilité de la tôle, nécessaire aux fortes déformations à froid.

- L’emboutissage et le cambrage deviennent possibles avec un risque réduit de criques.
- Sans recuit, la faible ductilité de la tôle écrouie pourrait entraîner des fissures ou une rupture pendant la mise en forme.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le recuit restaure la ductilité du 2024 PL et permet l’emboutissage et le cambrage à froid sans fissuration prématurée.

Question I.3. Justifier l’utilité de la reprise manuelle par redressage sur maquette, après la mise en solution et la trempe.

La trempe rapide après mise en solution peut provoquer des déformations par les gradients thermiques et les contraintes résiduelles. Le flasque risque donc de se gauchir et de s’écarter de sa forme nominale. Le redressage manuel sur maquette, effectué après la trempe, corrige ces déformations et remet la pièce en géométrie avant la coupe des pattes de fabrication et les contrôles finaux.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le redressage sur maquette corrige le gauchissement dû à la trempe et rétablit la géométrie du flasque.

Question I.4. **Établir la gamme de traitement thermique de la phase 30 de la nouvelle gamme, en précisant tous les paramètres utiles.**

Étape	Paramètre de traitement
Mise en solution	495 ± 5 °C
Maintien	30 à 35 min pour une épaisseur de 2 mm
Transfert vers le bac	Moins de 10 s
Trempe	Eau agitée à moins de 30 °C
Après trempe	Maturation naturelle à température ambiante pour obtenir l'état T4

Le maintien s'effectue à la température prescrite, puis le transfert rapide et la trempe limitent la précipitation avant la maturation naturelle. Le cycle demandé est une mise en solution suivie d'une trempe, sans revenu.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> 495 ± 5 °C, maintien 30 à 35 min, transfert en moins de 10 s, puis trempe à l'eau agitée sous 30 °C et maturation naturelle en T4.

Question I.5. **Selon la nouvelle gamme, déterminer le temps disponible entre les phases 30 et 40, puis expliquer pourquoi ce temps est limité.**

Le diagramme de maturation de l'annexe 2 montre qu'à 25 °C les caractéristiques mécaniques augmentent progressivement après la trempe. Cette maturation naturelle réduit la ductilité et rend l'emboutissage ainsi que le cambrage plus difficiles. On dispose d'environ 4 h avant une hausse sensible, à considérer comme un délai maximal indicatif lu sur le graphe. Pour conserver une bonne aptitude à la déformation, la mise en forme doit être réalisée le plus tôt possible après la trempe.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Environ 4 h à 25 °C avant une hausse sensible des caractéristiques mécaniques; effectuer la mise en forme dès que possible.

Four à convection forcée

Question I.6.1. **Indiquer la particularité d'un four à convection forcée utilisé pour le traitement de mise en solution.**

Le four comporte une turbine qui met l'atmosphère chaude en circulation autour de la charge. Cette convection forcée améliore les échanges thermiques et homogénéise la température dans le volume utile, contrairement à un chauffage reposant uniquement sur la convection naturelle. Les pièces atteignent ainsi plus régulièrement les conditions de mise en solution. Le chargement doit toutefois laisser circuler l'atmosphère entre les pièces pour conserver cette homogénéité.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Une turbine brasse l'atmosphère du four, ce qui améliore les échanges thermiques et l'homogénéité de température dans la charge.

Question I.6.2. **Préciser la classe que doit avoir le four et justifier ce choix.**

La mise en solution exige 495 ± 5 °C. Le four doit donc maintenir une température uniforme dans une plage assez étroite sur l'ensemble de la charge. Une classe de précision moins exigeante pourrait laisser certaines zones hors de cette plage, avec un risque de traitement insuffisant ou de surchauffe.

- Retenir la classe 1, qui offre une meilleure uniformité de température.
- Cette classe permet de respecter la tolérance de traitement de ± 5 °C.

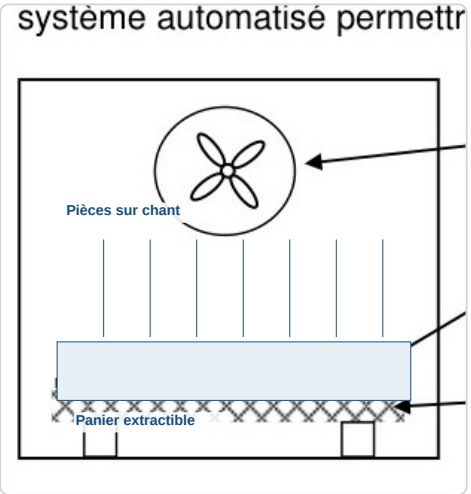
✓ RÉPONSE À RETENIR

Classe 1, afin de garantir une uniformité suffisante pour respecter la plage de mise en solution de 495 ± 5 °C.

Question I.7. **En reproduisant le schéma du four, représenter une charge contenant davantage de pièces dans un panier, afin de permettre une sortie automatisée de la charge et de limiter les déformations.**

Remplacer les pièces posées à plat par une charge regroupée dans un panier rigide, reposant sur la sole et extractible en une seule fois. Disposer les pièces sur chant, parallèles et régulièrement espacées, sans contact entre elles. Des appuis répartis et une tenue stable limitent leur déformation pendant le chauffage. Les intervalles laissent circuler l'atmosphère chaude autour de la charge, puis le panier entier peut être transféré pour la trempe automatisée.

Charge en panier dans le four



✓ RÉPONSE À RETENIR

Placer les pièces sur chant, parallèles et espacées dans un panier rigide extractible en une seule fois pour la trempe.

2. Étude du roulement de rotation du module caméra

Le roulement annulaire du module caméra, de diamètre extérieur 300 mm, sera fabriqué en X100CrMo17 à la place de l'acier 100Cr6 utilisé habituellement. L'étude porte sur la désignation de l'acier et ses éléments d'alliage, puis sur l'analyse et l'optimisation d'un cycle thermique répondant aux exigences de dureté et de résilience.

Question II.1. À quelle classe d'acier à outils appartient le X100CrMo17 ? Justifier la réponse en donnant la composition chimique déduite de sa désignation.

Le préfixe **X** désigne un acier fortement allié. **100** indique environ 1,00 % de carbone et **Cr17** environ 17 % de chrome ; **Mo** signale la présence de molybdène, sans en préciser la teneur. Cette composition correspond à un acier inoxydable martensitique fortement allié, classé parmi les aciers à outils pour travail à froid.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Acier à outils fortement allié pour travail à froid : environ 1,00 % C, 17 % Cr, avec Mo.

Question II.2. Indiquer le caractère alphagène, gammagène et carburigène des différents éléments d'addition présents dans cet acier, ainsi que leur influence.

Élément	Caractère	Influence principale
C	Gammagène et carburigène	Favorise l'austénite et le durcissement par trempe.
Cr	Alphagène et carburigène	Forme des carbures ; améliore résistance à l'usure et à la corrosion.
Mo	Alphagène et carburigène	Forme des carbures ; améliore trempabilité et tenue au revenu.

Le chrome et le molybdène favorisent la formation de carbures durs ; le carbone contribue à la dureté de la martensite.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> C : gammagène et carburigène. Cr et Mo : alphagènes et carburigènes, favorisant dureté, trempabilité et résistance à l'usure.

Question II.3. Expliquer pourquoi le cycle testé conduit à une dureté de seulement 54 HRC, alors qu'aucun problème n'est signalé avec les fours, en justifiant la réponse à l'aide de l'annexe 3.

L'annexe 3 montre qu'à **1030 °C**, l'acier X100CrMo17 conserve une proportion notable d'austénite résiduelle, de l'ordre de 20 %. Après trempe, cette austénite non transformée en martensite réduit la dureté. Le revenu à 150 °C ne suffit pas à corriger cette quantité excessive. La valeur de 54 HRC provient donc principalement de l'austénite résiduelle, et non d'un défaut du four.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La forte proportion d'austénite résiduelle après austénitisation à 1030 °C explique les 54 HRC.

Question II.4. **Proposer et justifier un cycle de traitement optimisé permettant de respecter le cahier des charges : dureté supérieure ou égale à 58 HRC et résilience maximale compte tenu de la nuance.**

1. Austénitiser à 1030 °C sous vide, avec un palier adapté à la massivité de la bague ; cette température est celle de la fiche technique.
2. Tremper au gaz neutre, puis appliquer rapidement un traitement sous-zéro afin de transformer une partie de l'austénite résiduelle.
3. Effectuer un revenu bas vers 150 °C, éventuellement doublé avec refroidissement intermédiaire. Ce revenu vise la résilience tout en conservant au moins 58 HRC ; contrôler la dureté et ajuster le cycle si nécessaire.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Austénitisation à 1030 °C, trempe au gaz neutre, traitement sous-zéro, puis revenu bas vers 150 °C : contrôler une dureté ≥ 58 HRC.

3. Étude d’un support de ressort en fonte grise non alliée

Le support de ressort destiné à la fixation du moteur est remplacé par une pièce en fonte grise à graphite sphéroïdal, dont le taraudage subit une trempe sélective par induction. Les questions portent sur les ruptures de l’ancienne pièce soudée, la structure perlitique requise, le traitement de la fonte et le contrôle de la profondeur durcie.

Question III.1. Donner deux phénomènes métallurgiques pouvant expliquer les ruptures fragiles en service au niveau de la soudure de la pièce d’origine.

Deux phénomènes métallurgiques peuvent expliquer la rupture fragile au voisinage de la soudure. Le refroidissement rapide de la zone affectée thermiquement peut y former une structure martensitique dure et peu tenace. Par ailleurs, l’hydrogène diffusible piégé dans le métal, combiné aux contraintes résiduelles de soudage, peut provoquer une fissuration à froid retardée. Ces deux phénomènes peuvent se cumuler et amorcer la rupture en service.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Martensite dure et fragile dans la zone affectée thermiquement ; fissuration à froid par l’hydrogène sous contraintes résiduelles.

Question III.2. Indiquer comment mettre en évidence les deux problèmes métallurgiques proposés.

Pour rechercher la fragilisation par durcissement, réaliser une coupe métallographique traversant la soudure et sa zone affectée thermiquement, puis une filiation de dureté. Une dureté élevée associée à une structure martensitique étaye ce diagnostic. Pour rechercher les fissures à froid, effectuer un contrôle non destructif après un délai suivant le soudage, par magnétoscopie ou ressuage, puis examiner les indications en coupe. Le contrôle différé est important car la fissuration liée à l’hydrogène peut apparaître après le soudage.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Coupe métallographique et filiation de dureté ; contrôle différé des fissures par magnétoscopie ou ressuage.

Question III.3. Expliquer pourquoi une fonte grise à graphite lamellaire présenterait un allongement bien plus faible que la fonte à graphite sphéroïdal étudiée.

Les lamelles de graphite sont des discontinuités allongées dont les extrémités concentrent les contraintes. Elles amorcent et guident les fissures dans la matrice, ce qui limite la déformation plastique avant rupture et réduit fortement l’allongement. Les nodules de graphite sphéroïdal présentent moins d’effet d’entaille : ils concentrent moins les contraintes et la matrice peut se déformer davantage avant la rupture.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les lamelles concentrent les contraintes et favorisent les fissures ; les nodules sphéroïdaux sont moins fragilisants.

Question III.4. Expliquer pourquoi une matrice perlitique est nécessaire avant une trempe superficielle.

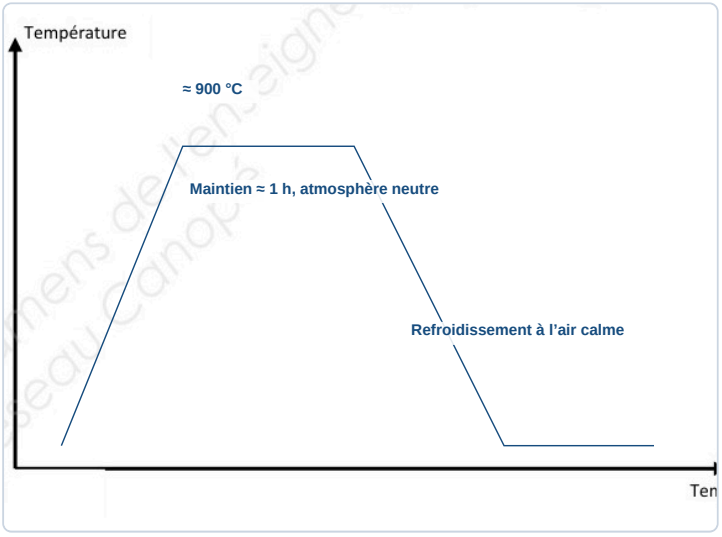
La trempe par induction chauffe localement la matrice jusqu'à l'austénitisation, puis le refroidissement rapide transforme l'austénite en martensite. La perlite apporte le carbone nécessaire pour obtenir cette couche martensitique suffisamment dure. Une matrice majoritairement ferritique, pauvre en carbone, se durcirait beaucoup moins. La matrice perlitique constitue donc la préparation nécessaire à une trempe superficielle efficace.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> La perlite fournit le carbone nécessaire à la formation d'une couche martensitique dure lors de la trempe.

Question III.5. À l'aide de l'annexe 4, établir un cycle de traitement permettant d'obtenir une matrice quasi perlitique. Justifier la température, le temps, l'atmosphère et le mode de refroidissement, en supposant que la matrice initiale est ferrito-perlitique avec une faible quantité de perlite.

Le diagramme pseudobinaire situe la transformation de la matrice autour de 780 °C. Pour transformer la ferrite et la faible fraction de perlite initiale en austénite, chauffer au-dessus du domaine critique, par exemple vers 900 °C, puis maintenir environ 1 h après mise à température. Une atmosphère neutre limite l'oxydation et la décarburation. Refroidir à l'air calme : la transformation de l'austénite au refroidissement forme une matrice majoritairement perlitique, sans trempe brutale.

Cycle de traitement pour obtenir une matrice quasi perlitique

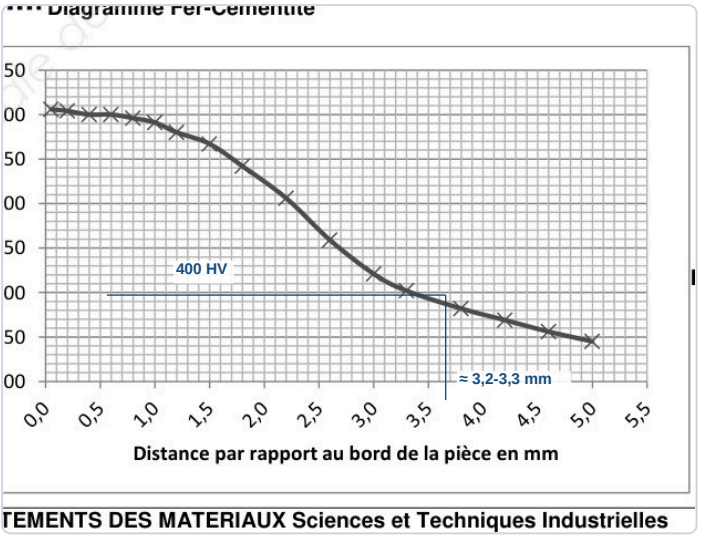


> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Environ 900 °C, maintien d'environ 1 h sous atmosphère neutre, puis refroidissement à l'air calme pour obtenir une matrice quasi perlitique.

Question III.6. **À partir de la filiation de dureté de l'annexe 4, déterminer la profondeur de traitement et conclure au regard de l'exigence de 3,5 mm ± 0,5 à partir du haut du filet.**

Sur la filiation de dureté, la transition vers la dureté du cœur se situe au voisinage de 400 HV. La courbe atteint ce niveau vers 3,2 à 3,3 mm du bord mesuré, correspondant ici à la surface du taraudage. L'exigence donne une profondeur admissible de 3,0 à 4,0 mm à partir du haut du filet. La profondeur lue est donc conforme.

Lecture de la profondeur sur la filiation de dureté



✓ RÉPONSE À RETENIR

Profondeur traitée : environ 3,2 à 3,3 mm. Conforme à l'exigence de 3,0 à 4,0 mm.

Question III.7. **Si le résultat n'est pas conforme, préciser les paramètres du traitement par induction sur lesquels il est possible d'agir pour modifier la profondeur de trempe.**

La profondeur chauffée dépend principalement de la fréquence et du temps de chauffage. Une fréquence plus basse augmente la pénétration électromagnétique ; augmenter le temps de chauffage peut aussi approfondir la zone portée à l'austénitisation. On peut agir sur la puissance et, en chauffage mobile, sur la vitesse de déplacement de l'inducteur. Sa géométrie et son écartement par rapport au taraudage modifient également le couplage avec la pièce.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Agir sur la fréquence, la puissance, le temps de chauffage ou la vitesse de déplacement, ainsi que sur le couplage inducteur-pièce.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2016)

Bilan de l'épreuve : Cette sous-épreuve de BTS Traitements des Matériaux, option A Traitements Thermiques, appartient à la session 2016, code TMSTI A ; elle dure 2 heures et compte coefficient 2. Autour de trois composants d'un drone, le sujet étudie un flasque en 2024 PL, un roulement en X100CrMo17 et un support en fonte. Il évalue l'analyse de gammes, les transformations métallurgiques, le choix des cycles et le contrôle des résultats.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- L'état T4 du 2024 correspond à une mise en solution, une trempe puis une maturation.
- Pour le 2024 PL de 2 mm, l'annexe indique une mise en solution à 495 °C ± 5 et un maintien de 30 à 35 minutes.
- L'austénitisation et le revenu influencent l'austénite résiduelle, la dureté et la résilience de l'acier X100CrMo17.
- La profondeur durcie par induction s'évalue à partir de la filiation de dureté et du critère de limite de traitement retenu.

Points de vigilance & attentes du jury

- Choisir les paramètres de traitement selon l'alliage, l'épaisseur et l'état métallurgique indiqués dans les annexes.
- Distinguer les étapes d'un cycle : chauffage, maintien, transfert, trempe et éventuel revenu ou maturation.
- Justifier chaque paramètre en le reliant à la structure visée et aux exigences du cahier des charges.
- Lire les axes et les unités des graphiques, puis comparer les valeurs obtenues aux tolérances données.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment relever les paramètres de mise en solution et de trempe du flasque en 2024 PL ?

L'annexe 2 indique 495 °C ± 5. Pour une épaisseur de 2 mm, retenez un maintien de 30 à 35 minutes, un transfert de moins de 10 secondes, puis une trempe à l'eau agitée à moins de 30 °C.

Q : Comment l'austénite résiduelle peut-elle expliquer la dureté mesurée sur le roulement ?

L'annexe 3 montre que l'augmentation de la température d'austénitisation accroît l'austénite résiduelle dans le X100CrMo17. Il faut relier cette proportion au cycle appliqué et examiner séparément l'effet de la température de revenu sur la dureté.

Q : Combien de temps dure l'épreuve et quel document faut-il rendre ?

L'épreuve dure 2 heures et son coefficient est 2. Les calculatrices et les documents sont interdits. L'annexe 4, qui comprend les diagrammes et la filiation de dureté utilisés dans la partie III, doit être rendue avec la copie.

Q : Comment conclure sur la profondeur de trempe du taraudage ?

Lisez la filiation en fonction de la distance au bord et repérez la limite de la zone traitée selon le critère de dureté retenu. Comparez la profondeur obtenue à la plage exigée, de 3,0 à 4,0 mm à partir du haut du filet.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btstm.fr/assets/annales/bts-tm/E4 - Sciences et techniques industrielles/2016/BTS TM - E4 - Sciences et techniques industrielles - Session 2016 - 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.