

DEFINITION DES PROCESSUS

EPREUVE U 52 Partie 2

Partie d'épreuve notée sur 20 points

Durée conseillée 2 heures

Ce dossier contient 3 sous-parties :

| | |
|---|---------------------|
| Procédures de soudage | p 1/9 à 6/9 |
| Contrôle et qualité | p 7/9 et 9/9 |
| Calcul du prix de revient de soudure | p 8/9 et 9/9 |

Seuls les documents réponses 5/9, 6/9 et 9/9 sont à rendre dans la présente chemise

1. PROCÉDURES DE SOUDAGE

Mise en situation (Questions 1.1. à 1.16.)

Une entreprise de réparation navale souhaite utiliser une procédure de soudage valable pour d'autres navires tout en respectant la réglementation.

Le cas étudié est une réparation par soudage à l'arc à l'électrode enrobée d'une brèche sur une tôle de structure en acier HLE (haute limite élastique).

La soudure est de longueur 300 mm à effectuer en position à plat avec reprise à l'envers en position plafond.

Travail demandé

Répondre sur les pages 5/9 et 6/9, à rendre.

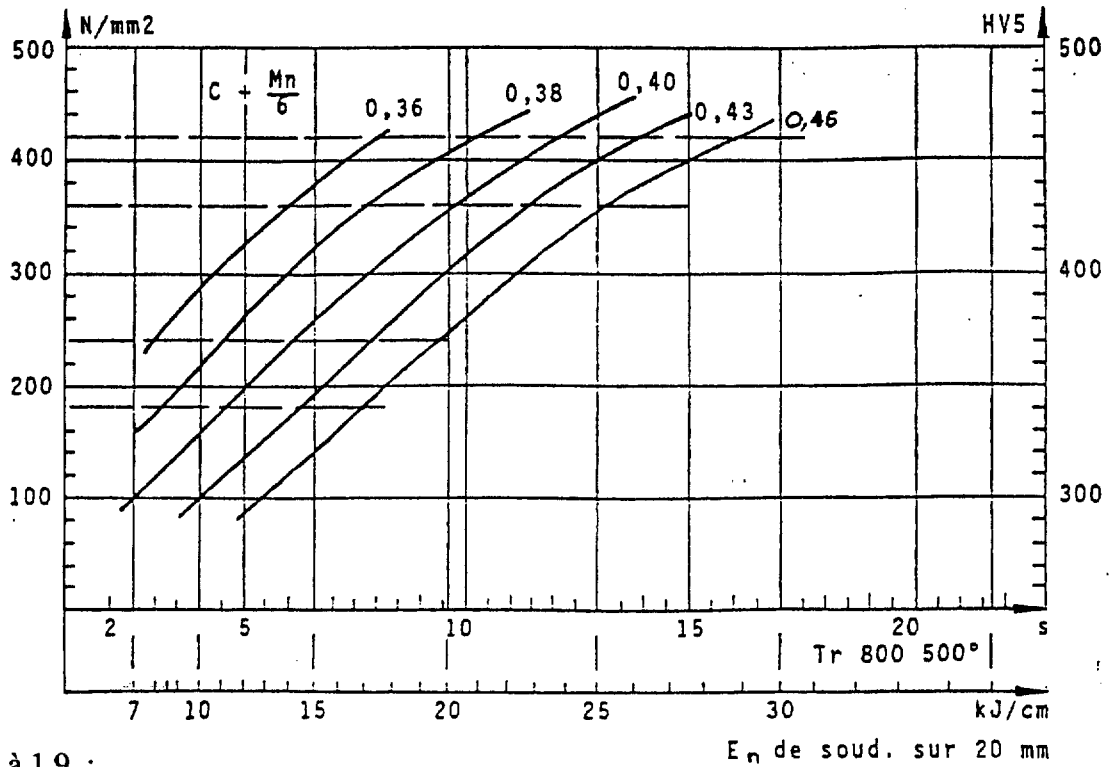
1. Etude des matériaux et de l'énergie de soudage (voir pages 2/9, 3/9 et 4/9)

- 1.1. Déterminer, pour une dureté HV5 de 350, de référence, et pour le carbone équivalent simplifié le plus défavorable des aciers HLE, l'énergie nominale minimale.
- 1.2. Déterminer, pour une contrainte de 355 Mpa subie par la soudure et un carbone équivalent simplifié de 0,40, l'énergie nominale minimale.
- 1.3. Déterminer, pour une contrainte de 420 Mpa sur la soudure et un carbone équivalent simplifié de 0,46, le temps de passage entre 800 et 500 °C.
- 1.4. Calculer le carbone équivalent simplifié de l'acier AH 36 donné.
- 1.5. Calculer la dureté critique de cet acier AH 36.
- 1.6. Expliquer l'intérêt de la mesure de la dureté sur une soudure d'acier avec : la zone à observer sur la soudure et ce qui est à redouter pour éviter la rupture.
- 1.7. Déterminer la structure finale dans la zone critique de la soudure, avec un Δt 800-500 °C, de 10 s, puis de 20 s.
- 1.8. Indiquer le temps minimal pour ne pas avoir de risque dans la soudure.
- 1.9. Nommer la microstructure due aux cycles thermiques de soudage qu'il faut limiter pour éviter le risque précisé aux questions 1.6. et 1.8.
- 1.10. Déterminer pour une énergie nominale de 20 kJ / cm et une épaisseur de 20 mm (page 3/9) :
 - le temps de passage Δt 800-500 °C,
 - la dureté critique HV5.
- 1.11. Déterminer pour une énergie nominale de 20 kJ / cm et une épaisseur de 20 mm (page 3/9) : l'énergie nominale de soudures sur tôles d'épaisseur :
 - 15 mm.
 - 10 mm.
- 1.12. Calculer l'énergie nominale (E_n) avec une électrode de \varnothing 3.2 et une vitesse de soudage de 12 cm/min. (pages 3/9 et 4/9 : Descriptif du Mode Opérateur de Soudage)
- 1.13. Calculer l'énergie équivalente (E_{eq}) avec $E_n = 12$ kJ / cm (page 3/9).
- 1.14. Déterminer le temps Δt 800-500 °C pour une E_{eq} de 10 kJ / cm et une épaisseur de 10 mm (répondre sur abaque page 6/9).
- 1.15. Déterminer la température de préchauffage du même assemblage 1.14., pour un temps Δt 800-500 °C de 14 s minimum (répondre sur abaque page 6/9).
- 1.16. Quel est le moment le plus critique dans la séquence de soudage : pointage, soudage 1^{ère} passe, 2^{ème} ou 3^{ème} passe. Expliquer, grâce aux réponses précédentes.

1. PROCÉDURES DE SOUDAGE
Documents

Questions 1.1., 1.2. et 1.3. :

Courbes critiques des aciers HLE S 355, S 375 et S 420

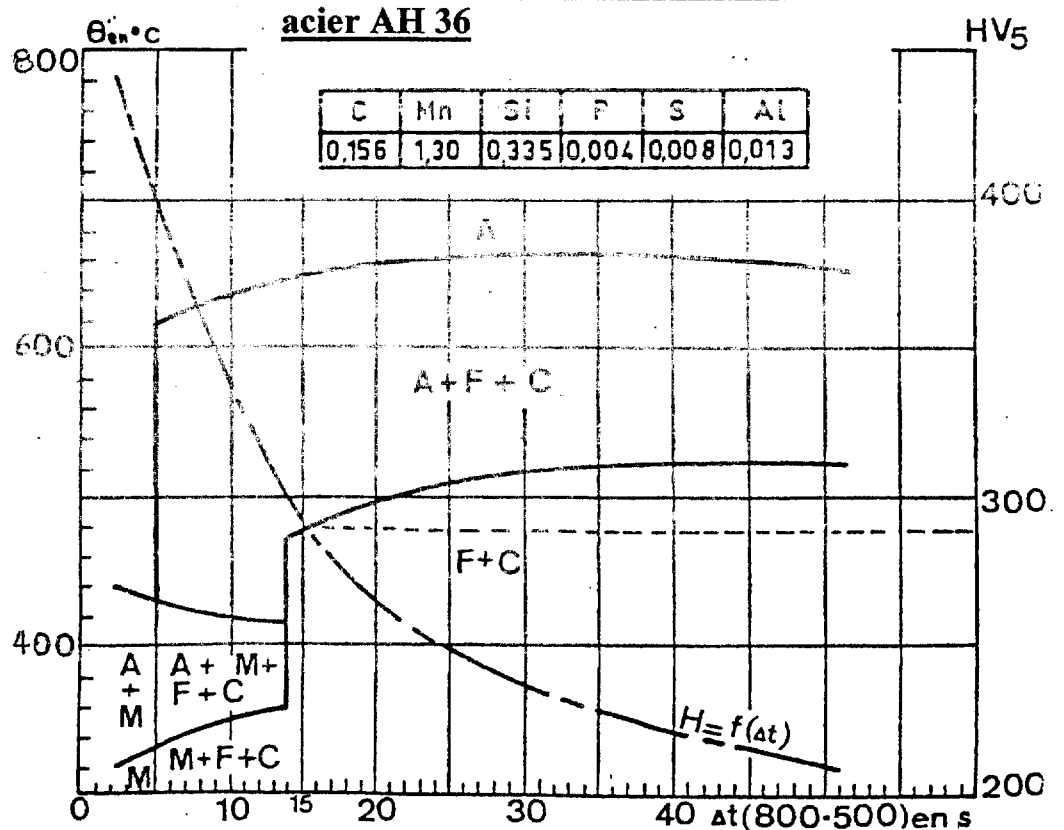


Questions 1.4. à 1.9. :

Diagramme Transformation au Refroidissement Continu en Soudage de l'acier AH 36

Question 1.4. :
Carbone équivalent simplifié :
 $\% C_{\text{éq}} = \% C + \% Mn / 6$

Question 1.5. :
Dureté critique de l'acier :
 $HV_c = 240 + 790 (\% C)$



1. PROCÉDURES DE SOUDAGE

Documents

Questions 1.10. et 1.11. :

Diagrammes de détermination des paramètres de soudage

Caractéristiques de l'acier fournies par le sidérurgiste (CCPU):

Composition chimique :

| | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|
| C | Mn | Si | V |
| 0,17 | 1,4 | 0,45 | |
| Cr | Ni | Mo | Cu |
| total inférieur à 0,60 | | | |
| Nb | Al | S | P |
| | 0,058 | 0,026 | 0,027 |

Caractéristiques de l'essai de traction :

Rm = 583 MPa
 Re = 363 MPa
 A % = 31,8

Question 1.12. : calcul de l'énergie nominale de soudage :

$$E_n = \frac{60 UI}{1000 v}$$

valeurs de I et l lues dans DMC

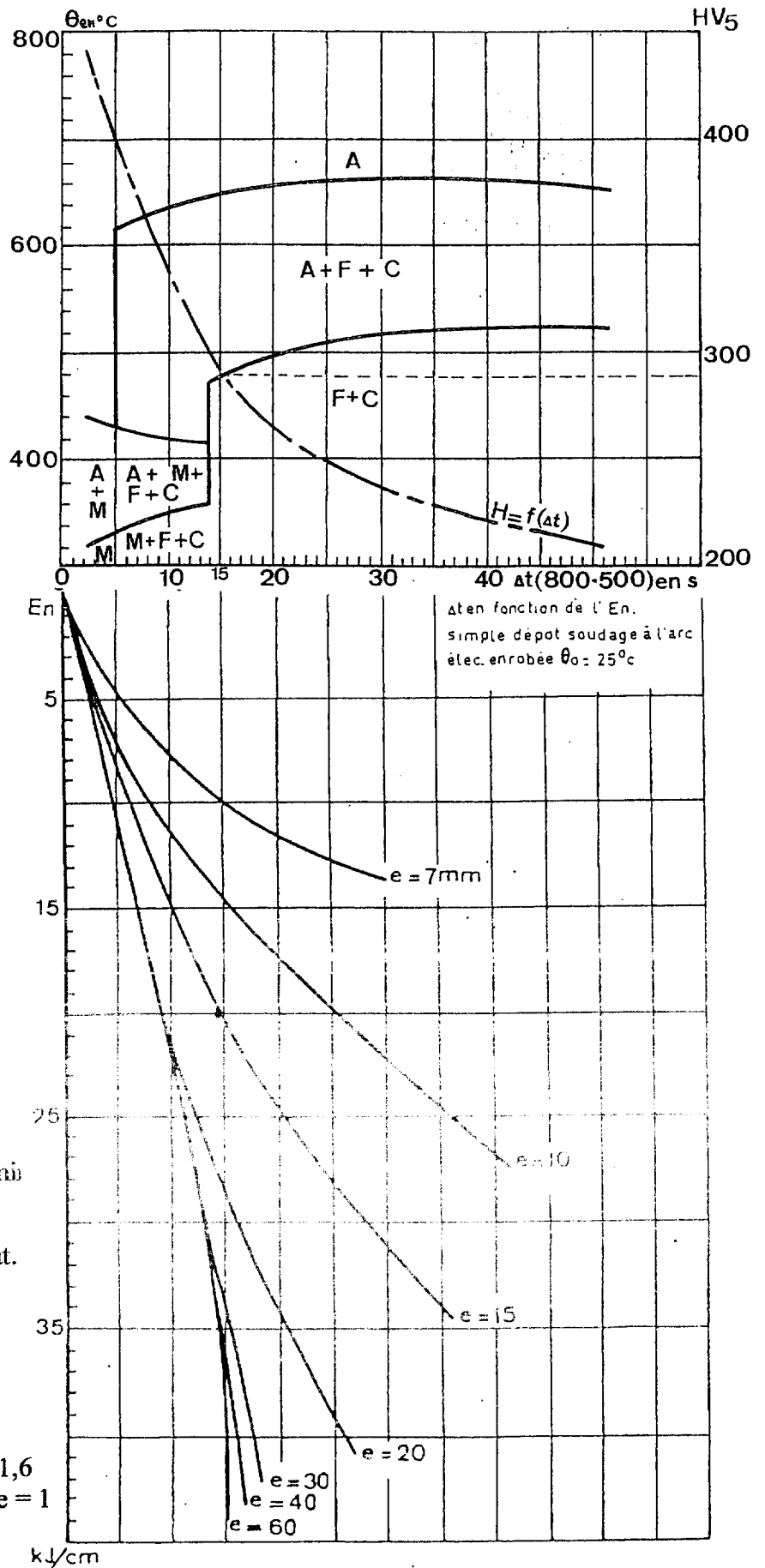
Avec : En : énergie nominale en kJ/c
 I : intensité de soudage en A
 U : tension de soudage en V
 v : vitesse de soudage en cm/ min

Le soudage en position plafond utilise la même intensité que la position à plat.

Question 1.13. : calcul de l'énergie équivalente de soudage :

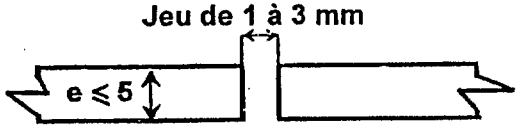
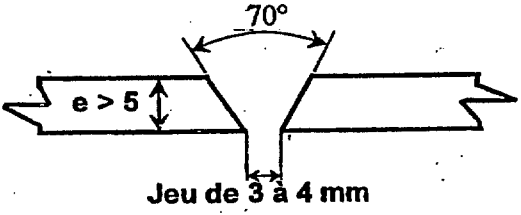
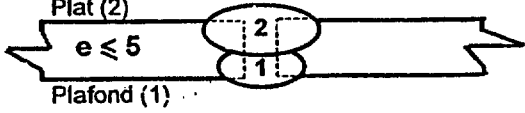
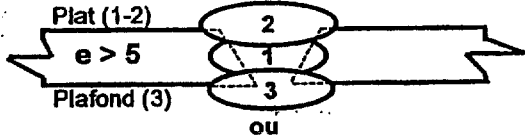
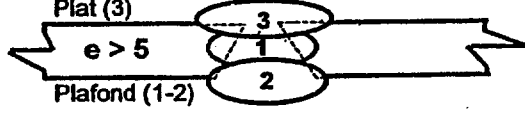
$$E_{eq} = E_n k \eta$$

Avec :
 k : coefficient de joint géométrique = 1,6
 η : coefficient de rendement thermique = 1



1. PROCÉDURES DE SOUDAGE

Documents

| | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|-----------|-----------|-----|
| Mode Opérateur de Soudage <i>(WPS)</i> | | Mos N° <i>(wps)</i> | | | | | |
| Coque Métallique | | SNGV001 | | | | | |
| | | DATE : 13/11/00 | Rév : 1 | | | | |
| Procédé <i>(welding process)</i> | Métal de base <i>(Base metal)</i> | Couvert par QMOS <i>(Supporting by PQR)</i> | | | | | |
| Electrode enrobée (111) (basique) | Aciers groupe 1: A - B - D Aciers groupe 2: AH36 | 0802873 - 0802863 | | | | | |
| Domaine de validité <i>(Range permitted)</i> | e ≥ 4 mm | Position <i>(position)</i> | Plat + Plafond (PA + PE) | | | | |
| Produit d'apport <i>(Filler material)</i> | <input type="checkbox"/> Fil <i>(wire)</i> <input checked="" type="checkbox"/> Electrode <i>(electrode)</i> SAFDRY 510 A (SAF) OK 48-00 VAC - PAC (ESAB) | <input type="checkbox"/> Gaz <i>(Gas)</i> <input type="checkbox"/> Flux <i>(Flux)</i> | | | | | |
| Profil du joint <i>(Form of joint)</i> | | Disposition des phases <i>(Phase distribution)</i> | | | | | |
| <p>Jeu de 1 à 3 mm</p>  <p>e ≤ 5</p> <p>70°</p>  <p>e > 5</p> <p>Jeu de 3 à 4 mm</p> | | <p>Plat (2)</p>  <p>e ≤ 5</p> <p>Plafond (1)</p> <p>Plat (1-2)</p>  <p>e > 5</p> <p>Plafond (3)</p> <p>ou</p> <p>Plat (3)</p>  <p>e > 5</p> <p>Plafond (1-2)</p> | | | | | |
| Paramètres de soudage <i>(Welding adjustment)</i> | | | | | | | |
| Phase <i>(Phase)</i> | 1 et 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | |
| Procédé <i>(Process)</i> | EE | | | | | | |
| Type d'électrode / fil <i>(Wire / electrode)</i> | SAFDRY 510 A, OK 48-00 VAC - PAC | | | | | | |
| Diamètre <i>(Diameter)</i> (mm) | 3,2 | 3,2 / 4 | 3,2 | 4 / 5 | 3,2 / 4 | 5 | |
| Polarité <i>(Polarity)</i> (+) (-) (~) | CC+ ou CA | | | | | | |
| Paramètres + ou - 15% | Intensité <i>(Current)</i> (A) | 110 | 110 / 160 | 110 | 100 / 200 | 110 / 160 | 200 |
| | Tension <i>(Voltage)</i> (V) | 21 | 21 / 22 | 21 | 22 / 23 | 21 / 22 | 23 |
| | Vitesse fil <i>(Speed wire)</i> (m/min) | | | | | | |
| | Fil sorti <i>(Stick-out)</i> (mm) | | | | | | |
| | Vitesse <i>(Travel speed)</i> (cm/min) | | | | | | |
| | Débit gaz <i>(gas flow)</i> (l/min) | | | | | | |
| | Gorge a <i>(throat a)</i> (mm) | | | | | | |
| | Epaisseur <i>(thickness)</i> (mm) | e ≤ 5 mm | | e > 5 mm | | | |
| Gougeage envers <i>(Back gouging)</i> <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non | | | Préchauffage <i>(Preheat)</i> <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non | | | | |
| Autre <i>(Other)</i> | | | Température <i>(Temperature)</i> | | | | |
| Etabli par: <i>(Established by)</i> | | Vérifié par: <i>(Checked by)</i> | | Approuvé par: <i>(Approved by)</i> | | | |
| | | | | CNORG | | | |

Examen ou Concours

Série* :

Spécialité/option* :

Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

N° du candidat

Né(e) le :

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

BTS Constructions Navales

Epreuve U52

5 / 9

1. PROCÉDURES DE SOUDAGE

Document réponses

1.1. Déterminer l'énergie nominale minimale = f(350 HV5, [% C]) :

1.2. Déterminer l'En minimale = f($\sigma = 355$ MPa, [% C] = 0,40) :

1.3. Déterminer $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}} = f(\sigma = 420$ MPa, [% C] = 0,46) :

1.4. Calculer le carbone équivalent simplifié [% C] :

.....

1.5. Calculer la dureté critique :

.....

1.6. Intérêt de la mesure de la dureté :

.....

.....

.....

1.7. Déterminer la structure finale avec un $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}} = f(10$ s) :

..... et un $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}} = f(20$ s) :

1.8. Déterminer $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}}$ minimal pour éviter tout risque :

1.9. Nommer la microstructure à éviter pour limiter le risque sur les soudures :

.....

.....

1.10. Déterminer $\Delta t_{800-500^\circ\text{C}} = f(\text{En} = 20$ kJ / cm, e = 20 mm) :

..... et la dureté critique = f(En = 20 kJ / cm, e = 20 mm) :

1.11. Déterminer l'énergie nominale = f(En = 20 kJ / cm, e = 15 mm) :

..... et l'énergie nominale = f(En = 20 kJ / cm, e = 10 mm) :

1.12. Calculer l'énergie nominale = f($\varnothing 3,2$ mm, v = 12 cm/min.) :

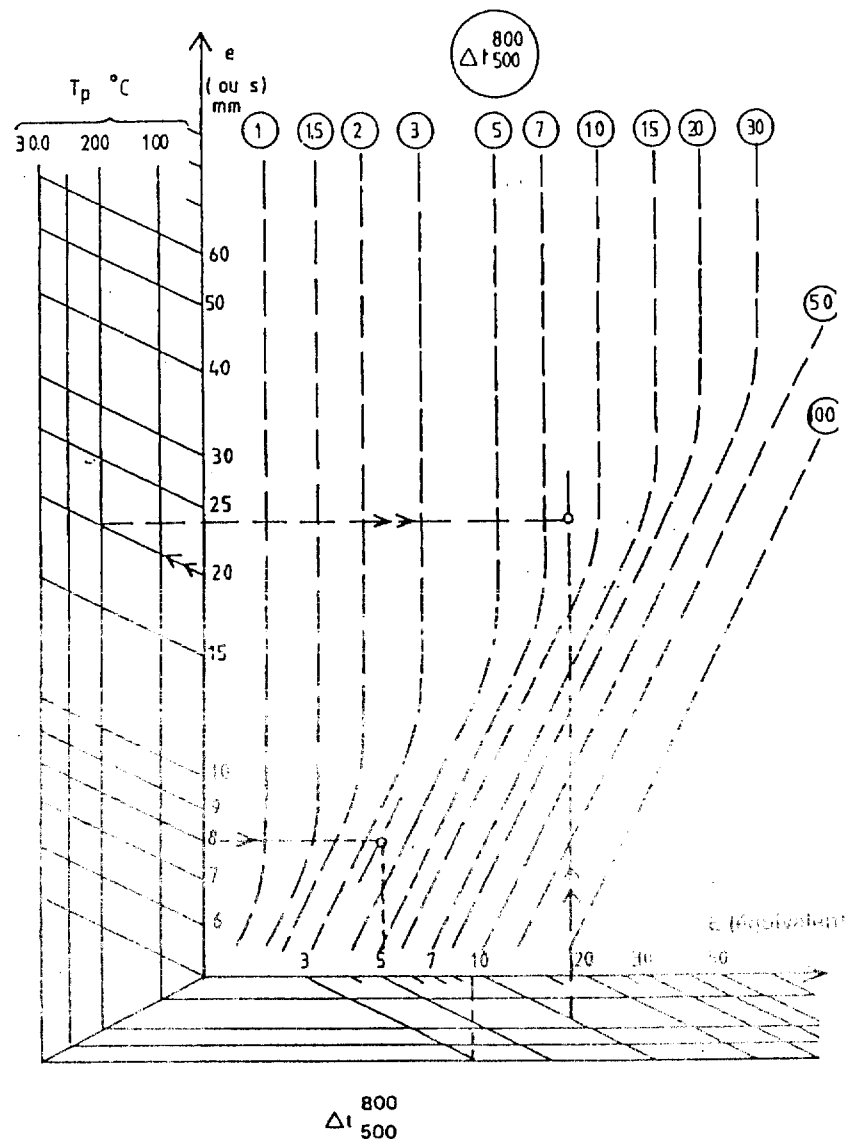
1.13. Calculer l'énergie équivalente, $E_{\text{éq}}$, = f(En = 12 kJ / cm) :

1. PROCÉDURES DE SOUDAGE
Document réponses

1.14. Déterminer Δt 800-500°C = f(E_{éq} = 10 kJ / cm, e = 10 mm) :

1.15. Déterminer la température de préchauffage f = (1.14., Δt 800-500°C = 14 s minimum) :

Abaque de détermination des conditions de soudage par Δt 800-500°C = f (E_{éq}, e)



1.16. Expliquer quel est le moment le plus critique dans la séquence de soudage :

.....
.....

2. CONTRÔLE ET QUALITÉ

Mise en situation (Questions 2.1. à 2.3.)

Dans le cadre de l'Assurance de la Qualité, tout le personnel de l'entreprise devient contrôleur de la qualité de son travail.

Le soudeur doit effectuer un contrôle visuel après soudage, de même qu'il le fait avant et pendant l'opération. Ceci est important sur le matériau travaillé : l'acier HLE.

Travail demandé

Répondre sur la page 9 / 9, à rendre.

2. Contrôle avant, pendant et après soudage

2.1. Rechercher, dans le cahier de soudage, l'élément qui peut causer la rupture finale de la soudure sur l'acier HLE après soudage. Les conseils tendent à l'éliminer.

2.2. Donner d'autres précautions à suivre pour limiter cet élément avant, pendant et après soudage (apport, atmosphère, ...).

2.3. Indiquer ce que doit faire le soudeur dans les situations suivantes :

- une petite fissure apparaît du bord de la soudure au métal de base,
- un caniveau de 40 mm et de profondeur 2 mm apparaît.

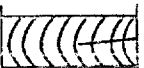
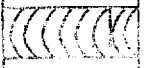


Documents

Question 2.1. :

Extrait du cahier de soudage de l'IRCN

Les surfaces à souder et adjacentes doivent être exemptes de laitier, de résidus d'oxycoupage, de graisse, d'huile, de peinture autre que la peinture primaire, ou de tout autre matière qui pourrait affecter la qualité de la soudure.

Les surfaces à souder doivent être exemptes d'humidité. Le séchage intéresse le joint à souder et les surfaces avoisinantes sur environ 75 mm de part et d'autres du joint.

| Question 2.3 : | OBJET SUBJECT | DESCRIPTION | TOLERANCES | CORRECTION |
|---|---|--|---|---|
| Tableau de défauts visuels | FISSURES CRACKS |  | Inacceptable <i>Unacceptable</i> | Gouger puis souder <i>Gouge then weld</i> |
| | |  | Inacceptable <i>Unacceptable</i> | Gouger puis souder <i>Gouge then weld</i> |
| | CRATÈRES CRATERS |  | inacceptables s'ils sont trop prononcés <i>Unacceptable if they are too important</i> | Recharger <i>Weld up</i> |
| CANIVEAUX UNDERCUTS |  | k : caniveau k : undercut L : longueur du caniveau L : length of undercut | k ≤ 0,5 mm | Laisser <i>No repair</i> |
| | | | 0,5 < k ≤ 1 mm Structure principale <i>Main structure</i> | L ≤ 100 mm/m Laisser <i>No repair</i> L > 100 mm/m Recharger * <i>Weld up *</i> |
| | | | Structure secondaire <i>Secondary structure</i> | L ≤ 200 mm/m Laisser <i>No repair</i> L > 200 mm/m Recharger * <i>Weld up *</i> |
| | | | k > 1 mm | Recharger * <i>Weld up *</i> * des précautions seront prises pour éviter le risque de fissuration à froid des aciers HR * <i>Precautions shall be taken to avoid the risk of cold cracking in HS steels</i> |

3. CALCUL DU PRIX DE REVIENT DE SOUDURE

Mise en situation (Questions 3.1. à 3.3.)

Un exemple du coût de la soudure de réparation va être étudié.
 Le procédé de soudage est défini tel que le DMOS précédent.
 L'assemblage est bord à bord à plat avec des épaisseurs de 8 à 12 mm.

Travail demandé (répondre sur la page 9 / 9)

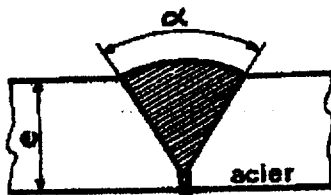
- 3.1. Calculer les variables technologiques utilisées dans le calcul des prix de revient des soudures avec $e = 12 \text{ mm}$: 1. **Md** ; 2. **Mc** ; 3. **Ta** ; 4. **Tr**
 Avec Md : métal à déposer ; Mc : métal apport consommé ; Ta : temps d'arc ; Tr : temps de réalisation
- 1.2. Calculer le prix de revient d'une soudure de 1 m de longueur et d'épaisseur 12 mm selon le DMOS de la page précédente 4 / 9.
- 1.3. Calculer le pourcentage de la main d'œuvre dans le coût total.

Documents

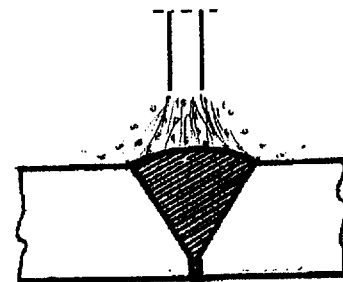
Synoptique des calculs

L'ordre des calculs peut se montrer par un synoptique tel que ci-dessous :

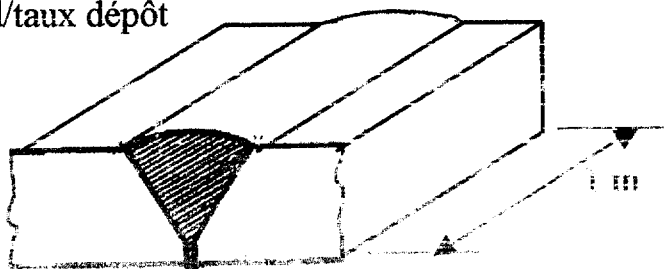
1. **Md** = $V\rho$
 en kg



2. **Mc** = Md/R
 en kg



3. **Ta** = $Md/\text{taux dépôt}$
 en h



- ⇒ Coût métal apport x Mc
- ⇒ Coût de l'énergie x Ta
- ⇒ Coût du gaz x Ta
- ⇒ Coût main d'œuvre x Tr

4. **Tr** = $Ta/\text{facteur de marche}$
 en h

⇒ Coût total pour 1 m

⇒ Coût total pour X m de fabrication

Données pour le procédé 111 :

- Avec : $Md = 0,8 \text{ kg} / 1\text{m}$ pour $e = 12 \text{ mm}$
- Taux de dépôt = $1,5 \text{ kg} / \text{h}$
- Coût métal apport : $2,75 \text{ €} / \text{kg}$
- Coût du gaz : pas de gaz en 111
- Coût total pour 1 m : somme des coûts précédents donnée en €

- R du procédé = $0,6$
- Facteur de marche = $0,35$
- Coût de l'énergie : $0,50 \text{ €} / \text{h}$
- Coût main d'œuvre : $30 \text{ €} / \text{h}$

Examen ou Concours

Série* :

Spécialité/option* :

Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms :

N° du candidat

Né(e) le :

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

BTS Constructions Navales

Epreuve U52

9 / 9

Document réponses
2. CONTRÔLE ET QUALITÉ

2.1. Nommer l'élément qui pose problème dans le soudage de l'acier HLE :

.....

2.2. Citer des précautions à prendre avant, pendant et après le soudage :

.....

.....

2.3. Que fait le soudeur face à : - la petite fissure :

.....

- au caniveau :

.....

3. CALCUL DU PRIX DE REVIENT DE SOUDURE

3.1. Calculer les variables technologiques utilisées dans le calcul du prix :

1. **Md** :

.....

2. **Mc** :

.....

3. **Ta** :

.....

4. **Tr** :

.....

3.2. Calculer le prix de revient d'une soudure de 1 m de long et d'e = 12 mm :

Coût métal apport / 1m :

Coût de l'énergie / 1m :

Coût du gaz / 1m :

Coût main d'œuvre / 1m :

Coût total pour 1 m :

3.3. Calculer le pourcentage de la main d'œuvre dans le coût total :

.....