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 :
www.formav.co/explorer

METALLURGIE

Mise en situation

Une pièce en acier coque d'un NGV (Navire à Grande Vitesse) est pliée pour des raisons d'esthétisme par rapport à un profil reconstitué par mécano-soudage.

Un premier essai effectué sur presse-plieuse avec un vé de 63 mm donne un rayon intérieur (R int.) de 10 mm (voir abaque de pliage feuille 2 / 5).

Cet essai de pliage montre des fissures sur la face extérieure du pli !

Elles proviennent d'un allongement exagéré des fibres les plus extérieures.

Travail demandé Répondre sur les feuilles 4 / 5 et 5 / 5

1. Calculer l'allongement théorique maximum subi dans ces conditions de pliage, avec l'hypothèse de ne pas avoir de fissure (voir croquis feuille réponse 4 / 5)

Calculer cet allongement en A % par rapport à la fibre neutre considérée à 0,4 de l'épaisseur du côté intérieur. Cette position sera valable pour toutes les questions.

2. Le laboratoire de métallurgie effectue un essai de traction sur cet acier avec une éprouvette plate d'épaisseur 9 mm et de largeur utile 25 mm (voir feuille 2 / 5).

2.1. Calculer en MPa les résistances à la rupture : Rm, et élastique : Re.

2.2. Définir et calculer l'allongement de cet acier : A %.

2.3. Déterminer le rayon intérieur minimum pour plier cet acier en fonction de la valeur trouvée en 2.2. pour éviter les fissures sur la face extérieure.

2.4. Choisir l'outil de pliage qui donne le rayon acceptable le plus proche (voir abaque de pliage feuille 2 / 5).

3. Le Bureau Véritas impose pour les pièces de Sécurité un allongement maximum de 22 % pour cet acier coque. Certaines pièces pliées sont dans ce cas.

3.1. Choisir l'outil de pliage, défini par sa largeur de vé, en fonction de l'épaisseur (voir abaque de pliage du BV feuille 3 / 5).

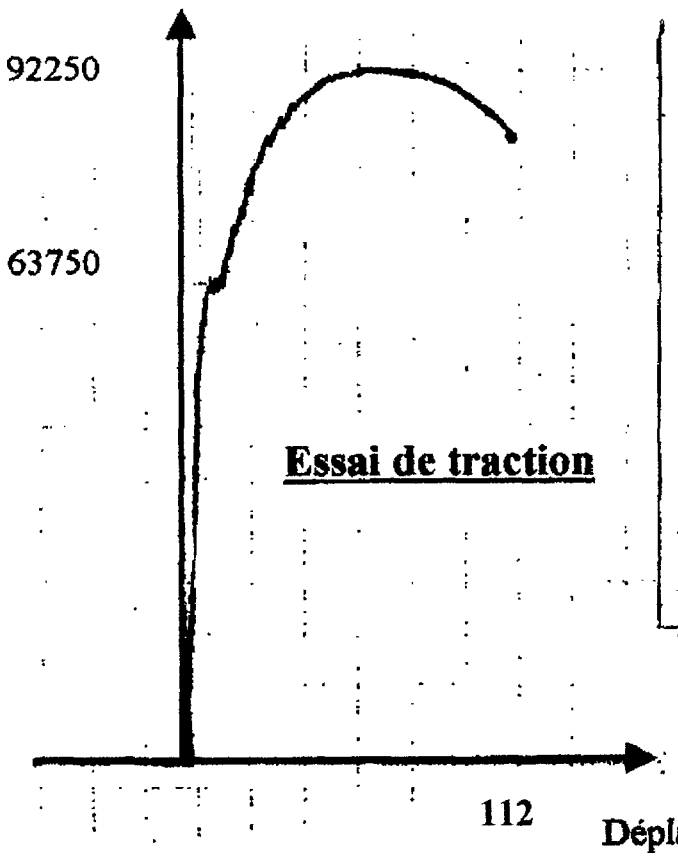
3.2. Choisir le rayon intérieur minimum pour plier cet acier en fonction de son épaisseur (voir tableau du BV feuille 3 / 5).

3.3. Choisir l'outil de pliage pour respecter les paramètres des questions 3.1. et 3.2. (voir abaque de pliage feuille 2 / 5). Justifier votre choix.

4. Expliquer les différences entre les résultats du laboratoire et du BV.

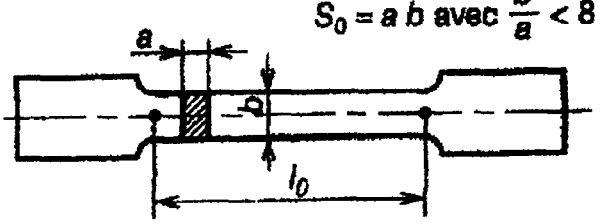
METALLURGIE

Documents

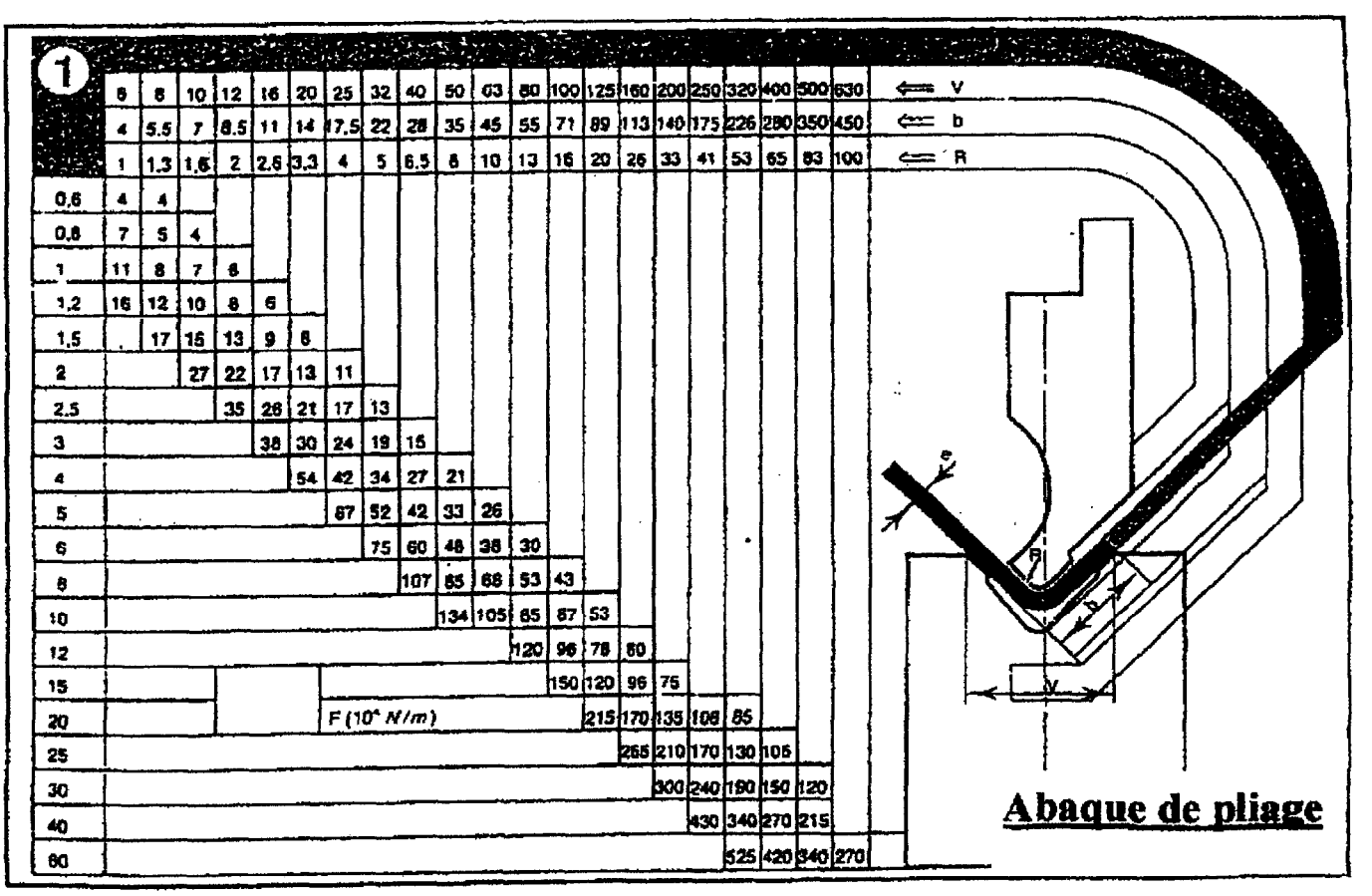


Éprouvette plate

$S_0 = a\,b$ avec $\frac{b}{a} < 8$

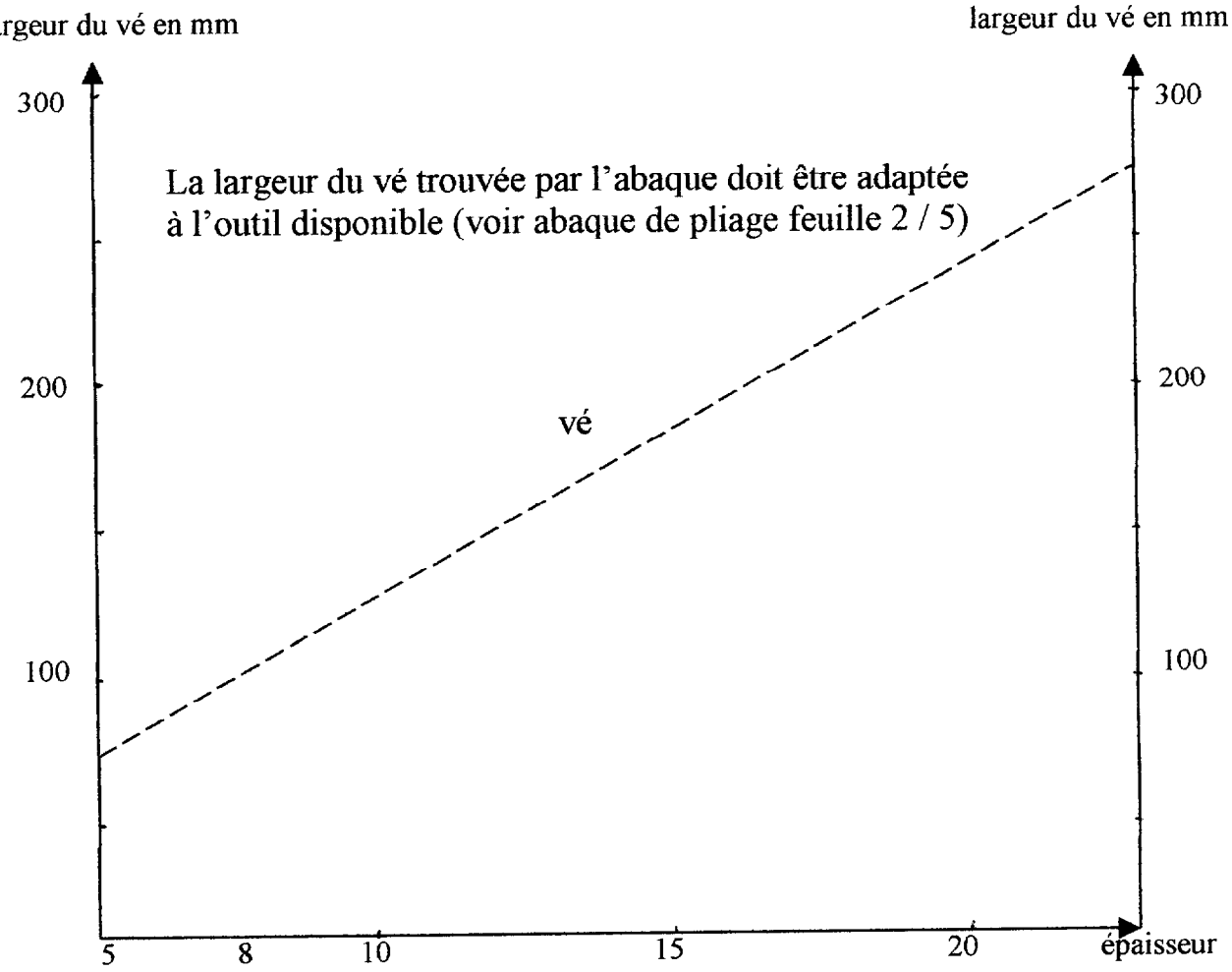


$$l_0 = 5{,}65\sqrt{S_0}$$



CNORG

METALLURGIE
Documents



Section 3-2 | OXYCOUPAGE ET FORMAGE DES TOLES EN ACIER COQUE

3-24 Pliage à froid des tôles

2 - Rayon minimum de pliage de la tôle admissible

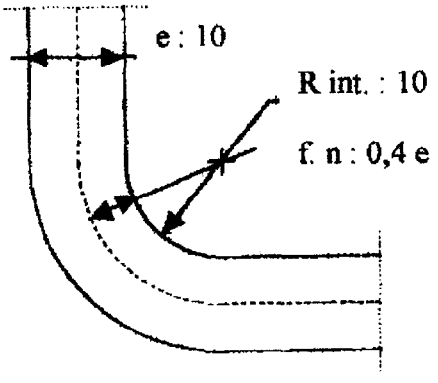
21 - Afin d'éviter tout risque de déformation trop brutale et trop localisée de la tôle, il est recommandé de choisir un rayon de pliage minimum du pli donné dans le tableau suivant en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la qualité de l'acier : aciers coque, qualités A, B, D ou E et aciers coque à haute résistance, qualités AH, DH ou EH.

Qualité de la tôle	Rayon intérieur de pliage minimum admissible en mm							
	Epaisseur de la tôle en mm							
	6 à ≤ 7	7 à ≤ 8	8 à ≤ 10	10 à ≤ 12	12 à ≤ 14	14 à ≤ 16	16 à ≤ 18	18 à ≤ 20
A, B, D, E	18	22	26	30	34	38	47	52
AH32, DH32, EH32, AH36, DH36, EH36	18	22	27	32	37	42	52	65

Académie :	Session :
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 (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)
Né(e) le :	

METALLURGIE
Document réponse

1. Calcul de l'allongement théorique maximum (en mm) et calcul de A % :



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Allongement subi en mm : .....
Allongement subi en % : .....

2.1. Calculs des résistances à la rupture Rm et élastique Re :

.....
.....
.....
.....

Rm = ... Re = ...

2.2. Définition et calcul de l'allongement A % :

.....
.....
.....
.....
.....
.....

A % = ...

Académie : Session :

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)

METALLURGIE
Document réponse

2.3. Calcul du rayon intérieur minimum en fonction de l'essai de traction :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.4. Choix de l'outil de pliage selon les critères du laboratoire de métallurgie

.....

.....

3.1. Choix de l'outil de pliage en fonction du critère du B.V. :

.....

.....

3.2. Choix du rayon intérieur minimum en fonction du critère du B.V. :

.....

.....

3.3. Choix de l'outil en fonction du B.V. (critères vé et R int.), justification :

.....

.....

.....

4. Explication des différences entre résultats du laboratoire et critères du B.V. :

.....

.....

.....

.....

METALLURGIE DU SOUDAGE

Mise en situation

Des pièces de Sécurité, en acier coque de 10 mm d'épaisseur, d'un NGV (Navire à Grande Vitesse) peuvent être soudée avec deux procédés manuels : l'électrode enrobée et le fil fourré avec gaz.

Un organisme de Contrôle a homologué des Modes Opératoires de Soudage (MOS) avec ces procédés pour plusieurs types d'assemblage.

Travail demandé Répondre sur la feuille 6 / 9.

Le cahier de soudage est accompagné de procédures générales qui sont des règles à respecter par les soudeurs.

1. Rechercher les causes de fissuration quand ces procédures générales de mise en œuvre ne sont pas respectées (voir cahier de soudage de NVG feuille 2 / 9).

1.1. Nommer le type de fissuration risquée au soudage si les règles de ce cahier de soudage ne sont pas respectées. Citer les 3 paramètres qui la provoque.

1.2. Citer le paramètre visé dans le cahier de soudage pour prévenir ce risque de fissuration. Expliquer les raisons des précautions prises.

2. Déterminer l'énergie nominale (En) au soudage de la première passe :

2.1. en électrode enrobée de Ø 3,2 avec une vitesse de 12 cm / min.

2.2. en soudage fil fourré avec gaz avec une vitesse de 18 cm / min.

(voir Descriptifs des Modes Opératoires de Soudage feuilles 3 / 9 et 4 / 9).

Un contrôle destructif a permis sur la soudure, après tronçonnage, polissage, attaque au nital et filiation de dureté, de trouver dans la zone affectée thermiquement (ZAT) des points de dureté HV5 de : 320 HV en soudage électrode enrobée,
275 HV en soudage fil fourré avec gaz.

(voir diagramme de transformation au refroidissement de l'acier AH36).

3. Donner la structure finale des aciers AH36 soudés en première passe.

3.1. Indiquer les structures finales de l'acier AH36 dans les soudures par ces deux procédés, grâce aux duretés relevées.

3.2. Indiquer si ces structures finales des aciers AH36 comportent un risque. Expliquer.

METALLURGIE DU SOUDAGE
Documents

CAHIER DE SOUDAGE N.G.V. ACIERS ORDINAIRE ET A HAUTE RESISTANCE

PROCEDURES GENERALES

1.1. Règles communes à tous les Modes Opératoires de Soudage

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. La procédure de séchage du joint est donnée dans le paragraphe 1.2.

Chaque passe de soudure doit être soigneusement nettoyée au marteau à piquer convenablement affûté pour enlever le laitier .

L'aspect extérieur des cordons de soudure doit être conforme au code IRCN :

« Standards de Qualité de coques de navires de la Marine marchande » IRCN 3.1-10.

Les produits de soudage souillés par la rouille, l'huile, la graisse ou l'eau sont détruits.

1.2. Procédure de séchage

Cette procédure est applicable lorsque les zones intéressées par le soudage ou le pointage sont humides.

Le séchage intéresse le joint à souder et les surfaces avoisinantes sur environ 75 mm de part et d'autre du joint.

Le chauffage est réalisé avec un chalumeau à fort débit calorifique.

La température visée à l'issue du chauffage est de 50°C sur toute la zone chauffée quelque soit l'épaisseur des aciers HR (Haute Résistance).

Cette température n'a pas à être maintenue en cours de soudage.

1.3. Procédure de dégourdissage

Les aciers nécessitent une procédure de dégourdissage lorsque la température ambiante est inférieure à -2°C pour les aciers HR et -5°C pour les aciers ordinaires :

Le dégourdissage intéresse le joint à souder et une zone de 75 mm de part et d'autre du joint.

La zone à souder doit être portée à 50°C environ (tôles tièdes au contact de la main) juste avant le soudage, et avant le pointage lorsque les points font partie de la soudure définitive.

On veillera à ce que l'apport énergétique de l'opération de soudage soit suffisant pour maintenir la température des tôles soudées au-dessus de -2°C ou -5°C.

Le dégourdissage est réalisé avec un chalumeau de chauffe à fort débit calorifique.

METALLURGIE DU SOUDAGE
Documents

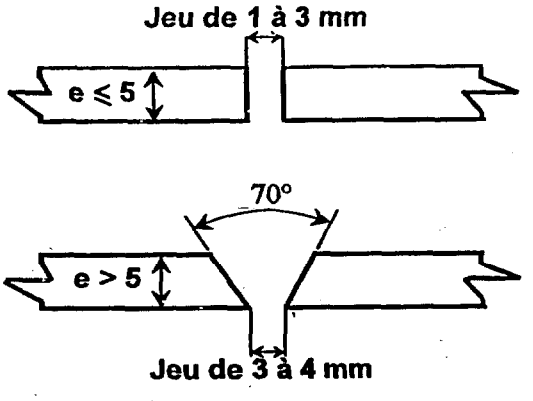
	Mode Opératoire de Soudage (WPS)	Mos N° (wps)	
	Coque Métallique	SNGV001	
		DATE : 13/11/00	Rév : 1

Procédé (welding process)	Métal de base (Base metal)	Couvert par QMOS (Supporting by PQR)
Electrode enrobée (111) (basique)	Aciers groupe 1: A - B - D Aciers groupe 2: AH36	0802873 - 0802863

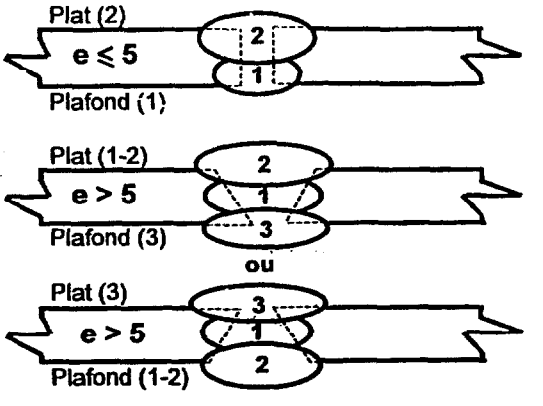
Domaine de validité (Range permited)		Position (position)	
	e ≥ 4 mm		Plat + Plafond (PA + PE)

Produit d' apport (Filler matérial)	☐ Fil (wire) ☑ Electrode (electrode)	☐ Gaz (Gas)	☐ Fux (Flux)
	SAFDRY 510 A (SAF) OK 48-00 VAC - PAC (ESAB)		

Profil du joint *(Form of joint)*



Disposition des phases *(Phase distribution)*



Paramètres de soudage *(Welding adjustement)*

Phase (Phase)			1 et 2	1	2	2	3	3
Procédé (Process)			EE					
Type d'électrode / fil (Wire / electrode)			SAFDRY 510 A, OK 48-00 VAC - PAC					
Diamètre (Diameter)		(mm)	3,2	3,2 / 4	3,2	4 / 5	3,2 / 4	5
Polarité (Polarity)		(+) (-) (~)	CC+ ou CA					
Paramètres + ou - 15%	Intensité (Current)	(A)	110	110 / 160	110	160 / 200	110 / 160	200
	Tension (Voltage)	(V)	21	21 / 22	21	22 / 23	21 / 22	23
	Vitesse fil (Speed wire)	(m/min)						
	Fil sorti (Stick-out)	(mm)						
	Vitesse (Travel speed)	(cm/min)						
	Débit gaz (gas flow)	(l/min)						
	Gorge a (throat a)	(mm)						
	Epaisseur (thickness)	(mm)	e ≤ 5 mm	e > 5 mm				

BUREAU VERITAS EXPERTISE INTERNATIONALE EXPERTISE DE SAINT-NAZAIRE

Gougeage envers (Back gouging) ☐ Oui ☑ Non	Préchauffage (Preheat) ☐ Oui ☑ Non
Autre (Other)	Température (Temperature)

Etabli par: (Established by)	Vérifié par: (Checked by)	Approuvé par: (Approved by)

CNORG

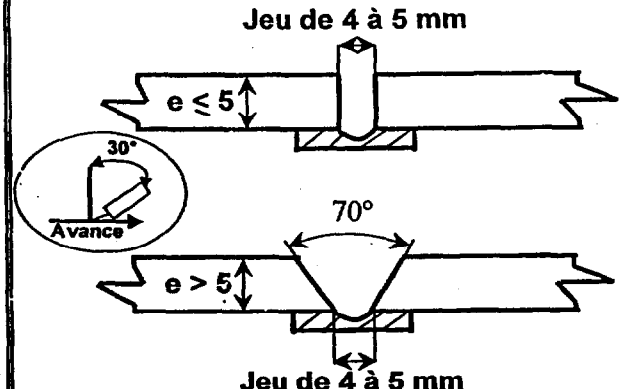
METALLURGIE DU SOUDAGE
Documents

	Mode Opératoire de Soudage *(WPS)*	Mos N° *(wps)* SNGV009	
	Coque Métallique	DATE : 13/11/00	Rév : 1

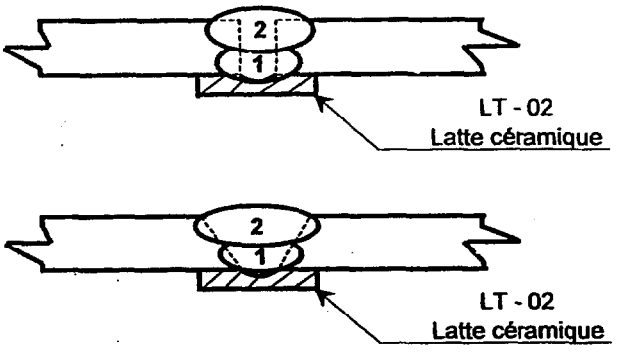
Procédé *(welding process)*	**Métal de base** *(Base metal)*	**Couvert par QMOS** *(Supporting by PQR)*
FFAG (136)	Aciers groupe 1: A - B - D Aciers groupe 2: AH36	0803028

Domaine de validité *(Range permited)*	e ≥ 4 mm	**Position** *(position)*	Plat (PA)
Produit d' apport *(Filler matérial)*	☑ Fil *(wire)* ☐ Electrode *(electrode)* PZ 6113 (FILARC) SD 100 (SAF)	☑ Gaz *(Gas)* ☐ Fux *(Flux)*	Argon / CO_2 (82%/18%)

Profil du joint *(Form of joint)*



Disposition des phases *(Phase distribution)*



Reprise envers si nécessaire

Paramètres de soudage *(Welding adjustement)*

Phase: *(Phase)*			1	2	1	2		
Procédé *(Process)*			FFAG					
Type d'électrode / fil *(Wire / electrode)*			PZ 6113, SD 100					
Diamètre *(Diameter)*		(mm)	1,2					
Polarité *(Polarity)*		(+) (-) (~)	CC+					
Paramètres + ou - 15%	**Intensité** *(Current)*	(A)	190	190	190	200		
	Tension *(Voltage)*	(V)	23	23	24	25		
	Vitesse fil *(Speed wire)*	(m/min)						
	Fil sorti *(Stick-out)*	(mm)	15	15	15	15		
	Vitesse *(Travel speed)*	(cm/min)						
	Débit gaz *(gas flow)*	(l/min)	20	20	20	20		
	Gorge a *(throat a)*	(mm)						
	Epaisseur *(thickness)*	(mm)	e ≤ 5 mm		e > 5 mm			

BUREAU VERITAS REGISTRE INTERNATIONAL DE SAINT-NAZAIRE

Gougeage envers *(Back gouging)* ☐ Oui ☑ Non	**Préchauffage** *(Preheat)* ☐ Oui ☑ Non
Autre *(Other)*	**Température** *(Temperature)*

Etabli par: *(Established by)*	**Vérifié par:** (Checked by)	**Approuvé par:** *(Approved by)*

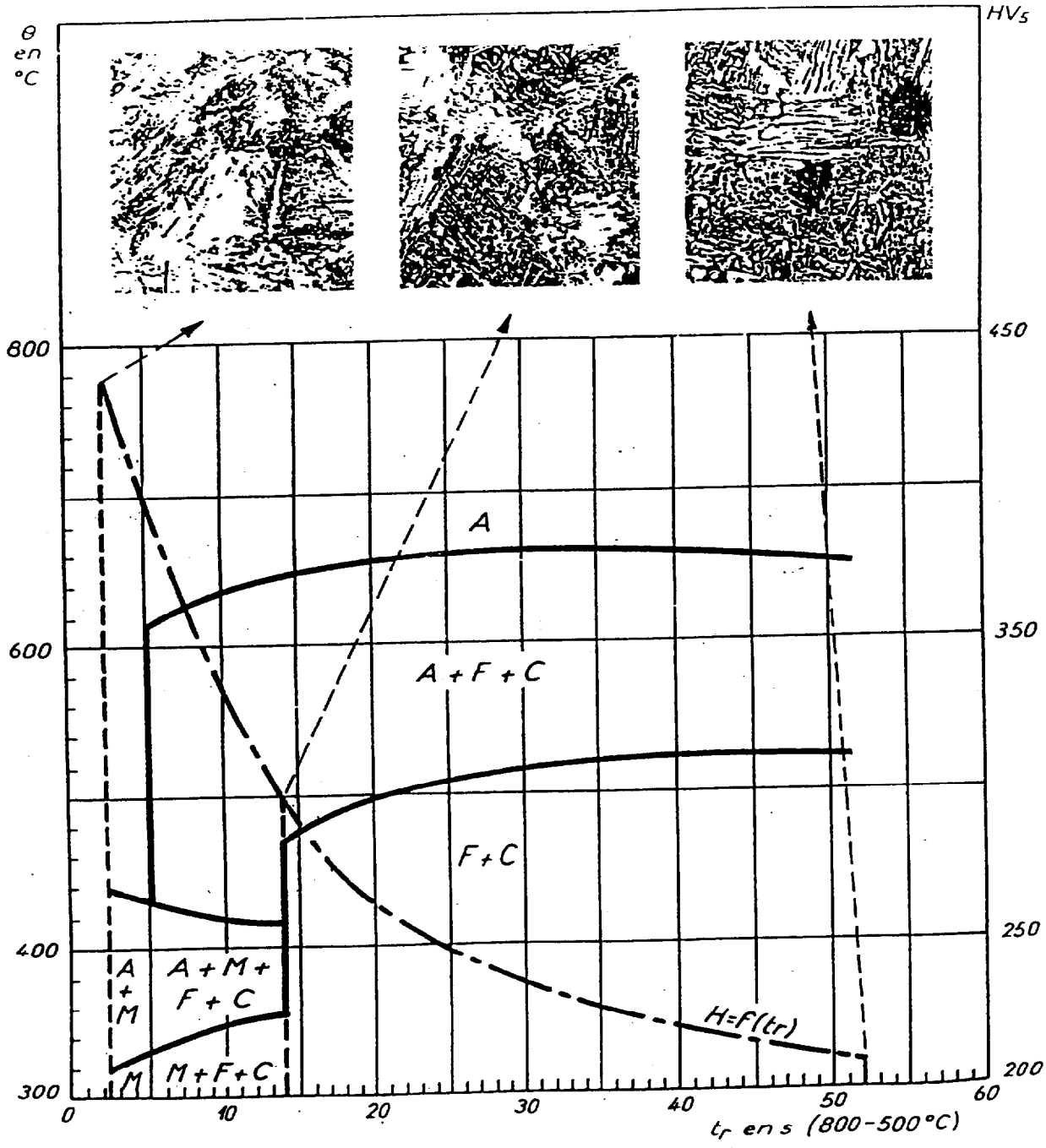
CNORG

METALLURGIE DU SOUDAGE
Documents

DOCUMENTATION PRATIQUE
SUR LA
SOUDABILITÉ DES ACIERS

DIAGRAMME DE TRANSFORMATION AU REFROIDISSEMENT

Acier AH 36



Académie : Session :

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)

METALLURGIE DU SOUDAGE
Document réponse

1.1. Nommer le type de fissuration risquée au soudage si les règles du cahier de soudage NVG ne sont pas respectées et citer les 3 paramètres qui la provoque :

.....

1.2. Citer le paramètre visé dans le cahier de soudage pour prévenir ce risque et expliquer les raisons des précautions prises :

.....

.....

.....

.....

2. Déterminer l'énergie nominale (En) au soudage de la première passe :

2.1. en électrode enrobée de Ø 3,2 avec une vitesse de 12 cm / min :

.....

.....

2.2. en soudage fil fourré avec gaz avec une vitesse de 18 cm / min :

.....

.....

3.1. Donner la structure finale des aciers AH36 soudés en première passe :

- dans le cas des soudures par le procédé électrode enrobée :

.....

- dans le cas des soudures par le procédé fil fourré avec gaz :

.....

3.2. Indiquer si ces structures finales comportent un risque et expliquer :

.....

.....

CALCUL DES COUTS DES SOUDURES

Mise en situation

Des pièces, en acier coque de 10 mm d'épaisseur, d'un NGV (Navire à Grande Vitesse) peuvent être soudées avec deux procédés manuels : l'électrode enrobée et le fil fourré avec gaz.

Une étude comparative du coût du soudage des deux procédés est demandée pour une longueur de soudure de 1 m.

Travail demandé A partir des documents 8 / 9 répondre sur la feuille 9 / 9

Une étude successive des coûts par procédé est conseillée.

1. Calculer le coût du métal d'apport consommé :

    1. 1. Déterminer la masse du métal à déposer dans le chanfrein : Md.

    1.2. Calculer la masse du métal d'apport consommé : Mc.

    1.3. Calculer le coût du métal d'apport consommé :

2. Calculer le coût de la main d'œuvre :

    2. 1. Calculer le temps d'arc : Ta.

    2.2. Calculer le temps de réalisation Tr.

    2.3. Calculer le coût de la main d'œuvre :

3. Calculer le coût de l'électricité consommée :

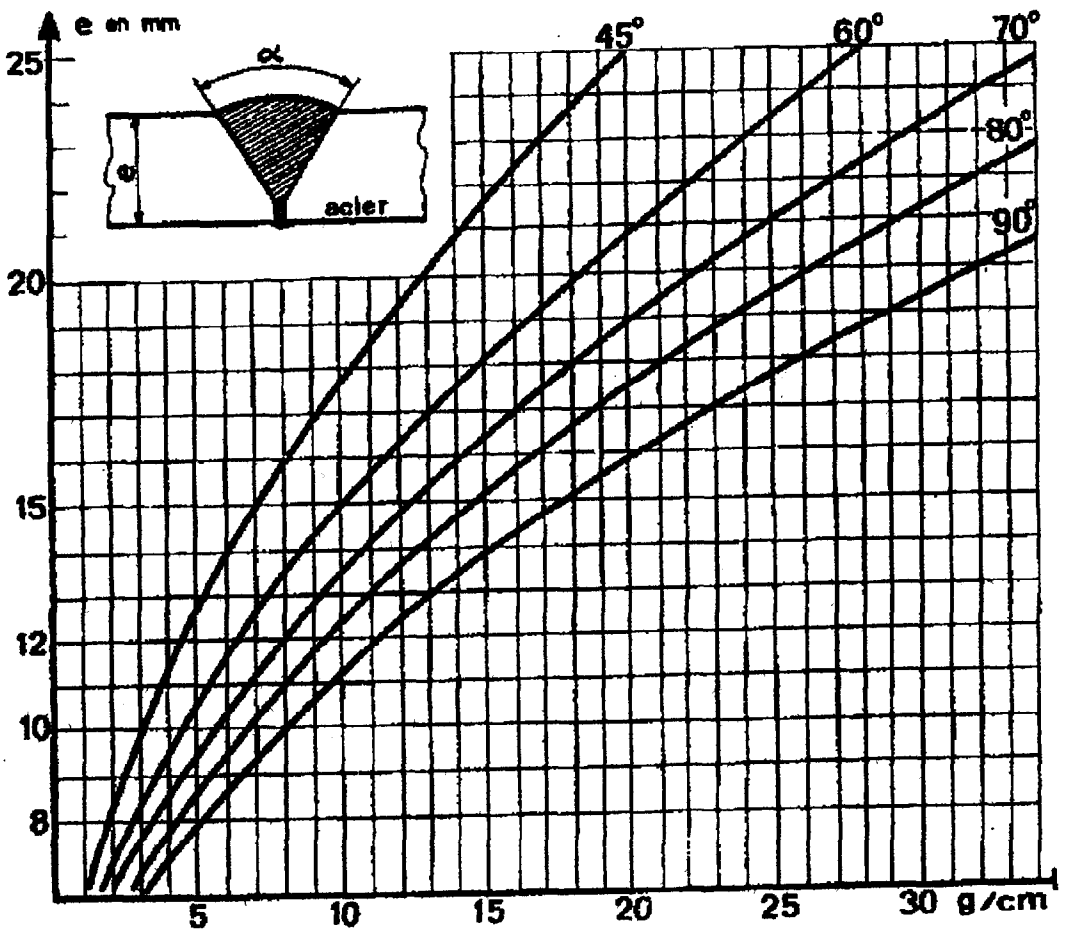
4. Calculer le coût du gaz de protection :

5. Calculer le coût total de l'assemblage par la somme des coûts précédents.

6. Calculer le pourcentage du coût de la main d'œuvre dans le coût total.

PRIX DE REVIENT DES SOUDURES
Document ressources

Abaque de détermination de la masse linéique du cordon



Exemple : pour souder deux tôles d'épaisseur e = 20 mm et chanfreinées à 70° sur une longueur de 1 m, 22,5 x 100 = 2250 g, soit 2,25 kg, s'avèreront nécessaires.

Paramètres technologiques :

1. 1. Masse du métal à déposer dans le chanfrein : **Md**.
(voir abaque de la page 8 / 9 ci-dessus).
1.2. Masse du métal d'apport consommé : **Mc** = Md / R
avec R : rendement du procédé. R = 0,6 (électrode enrobée) et 0,9 (FFAG)
2. 1. Temps d'arc : **Ta** = Md / taux de dépôt
avec taux de dépôt de 1,5 kg / h (électrode enrobée) et 4 kg / h (FFAG).
2.2. Temps de réalisation **Tr** = Ta / facteur de marche
avec un facteur de marche de 0,35 (électrode enrobée) et de 0,5 (FFAG).

Paramètres économiques :

1.3. Coût du métal d'apport consommé = coût du produit d'apport x Mc (masse d'apport consommé), avec 1,5 euros / kg (électrode enrobée) et 2,75 euros / kg (FFAG).

2.3. Coût de la main d'œuvre = coût horaire du soudeur x Tr (temps de réalisation), avec un coût horaire du soudeur de 30 euros.

3. Coût de l'électricité consommée = coût de l'énergie électrique x Ta (temps d'arc). Le coût de l'énergie électrique est de 0,45 euros / h.

4. Coût du gaz de protection = coût du gaz de protection x Ta (temps d'arc). Le coût du gaz de protection est de 3,35 euros / h.

Académie : Session :

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)

PRIX DE REVIENT DES SOUDURES
Document réponse

1. 1. Déterminer la masse du métal à déposer dans le chanfrein : Md.

Electrode : ..... FFAG : .....

1.2. Calculer la masse du métal d'apport consommé : Mc.

Electrode : ..... FFAG : .....

1.3. Calculer le coût du métal d'apport consommé :

Electrode : ..... FFAG : .....

2. 1. Calculer le temps d'arc : Ta.

Electrode : ..... FFAG : .....

2.2. Calculer le temps de réalisation Tr.

Electrode : ..... FFAG : .....

2.3. Calculer le coût de la main d'œuvre :

Electrode : ..... FFAG : .....

3. Calculer le coût de l'électricité consommée :

Electrode : ..... FFAG : .....

4. Calculer le coût du gaz de protection :

Electrode : ..... FFAG : .....

5. Calculer le coût total de l'assemblage par la somme des coûts précédents.

Electrode : ..... FFAG : .....

6. Calculer le pourcentage du coût de la main d'œuvre dans le coût total.

Electrode : ..... FFAG : .....

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.