



ENDEL

Nous accompagnons l'Industrie

DOSSIER METALLURGIQUE



Fabien PONTUS
BTS ROC 2005/2007

SOMMAIRE

1.	DÉFINITION CONTRAT BE	P 1
2.	D.M.O.S	P 3
3.	CERTIFICATS MATIÈRE	P 5
4.	RESSUAGE	P8
5.	MACROGRAPHIE	P11
6.	MICROGRAPHIE	P14
7.	ESSAI DE DURETÉ VICKERS	P22
8.	CONCLUSION GÉNÉRALE	P26

PRESENTATION

1.

DEFINITION
CONTRAT BE

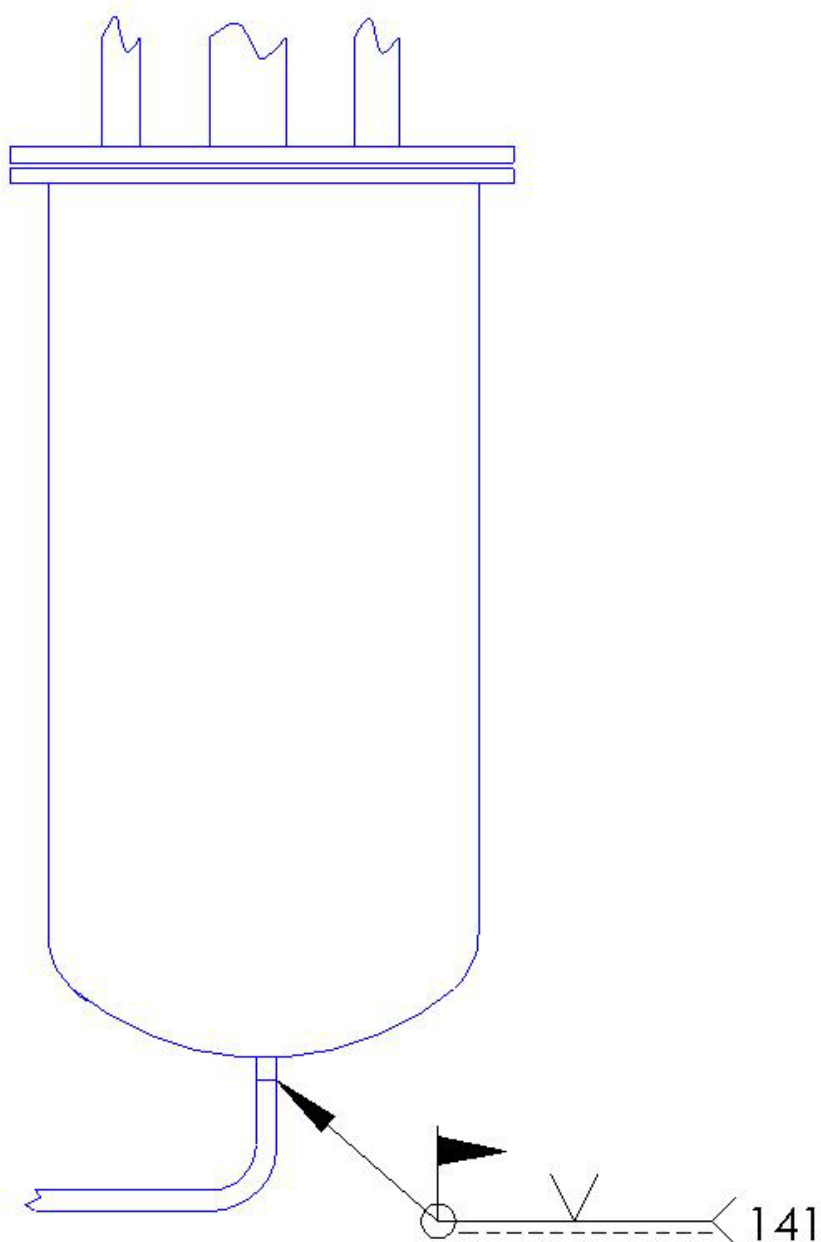
Mise en situation :

Dans le cadre d'une installation d'un réservoir acheté par un des nos clients, nous avons été contraints de faire un assemblage soudé sur chantier, entre une tuyauterie en X2 Cr Ni 18.09 \varnothing 42 et une sortie de vidange en X2 Cr Ni Mo 17.12.2 \varnothing 42 Schedule 10.

Dans la mesure où cette tuyauterie véhicule des produits très corrosifs, nous devons donc porter une certaine attention à cet assemblage.

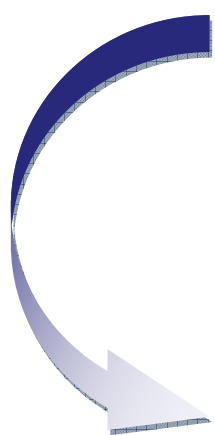
C'est pour cela que j'ai choisi de traiter ce problème.

Schéma descriptif :



2.

D.M.O.S



Selon Norme : EN ISO 15614-1 :2004

DESCRIPTIF DE MODE OPERATOIRE DE SOUDAGE



Nº1

Lieu: ENDEL BOSTIK
REP:
Nom du soudeur: PONTUS Fabien

Méthode de préparation et nettoyage :Tronçonnage, ébavurage,
chanfreinage par meule
Spécification des matériaux de base: X2 Cr Ni Mo 17-12-2 Sch.10
et X2 Cr Ni 18-09

Procédé de soudage: 141
Type de joint: BB
Détail de préparation de joint (Schéma)*

Epaisseur des matériaux de base (mm): 2,7 et 1,7
Diamètre des matériaux de base (mm): 42
Position de soudage de l'assemblage: PF

Schéma de principe	Disposition des passes
 <p>The diagram shows a T-joint with a vertical plate of thickness 1,70 and a horizontal plate of thickness 2,70. A weld is indicated by a triangle symbol on the vertical plate and a '1' on the horizontal plate.</p>	 <p>The diagram shows a T-joint with a vertical plate of thickness 1 and a horizontal plate of thickness 2. A weld is indicated by a triangle symbol on the vertical plate and a '1' on the horizontal plate.</p>

Paramètres de soudage:

Passe n°	Procédé	Dimension métal d'apport (mm)	Courant A $\pm 15\%$	Voltage V $\pm 2\text{ V}$	Type de courant polarité	Alimentation en fil Vitesse d'avance (cm/min)	Energie de soudage (Kj/cm)
1	141	2	72	23	CC —	22	4,5

Métal d'apport : SAF NERTAL 316L
Lot : C21586K-065
AFNOR: EN 12072-W19 12 3 L (X2CrNiMo19-12-2)
Gaz de protection/flux:endroit: ARGON
 envers: AZOTE
débit du gaz endroit: 9 L/mn
 envers: 6L /mn
Type d'électrode de tungstène/Dimension: WT20 Ø 2
Détail de gougeage ou de support envers:
Température de préchauffage:
Température entre passes: < 250 °
Traitement thermique après soudage ou vieillissement:
Temps, température, méthode:
Vitesse de montée en température et de refroidissement*:

Autres informations:

Par ex: balayage (largeur maximale) oscillation:

*fréquence, Temporalisation:

*Soudage pulsé détails:

*Distance de maintien:

*Détail du plasma:

*Angle de torche:

3. CERTIFICATS MATIERE

certificat de réception

INSPECTION CERTIFICATE
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS

SUIVANT EN 10024

Désignation Trade name Markenbezeichnung	NERTAL 316L 2,0	Dimensions Size Abmessung	<input type="checkbox"/> Electrode <input type="checkbox"/> Fil massif Solid wire <input checked="" type="checkbox"/> Baguette Rod <input type="checkbox"/> Fil fourré Flux-cored wire
Fabrication n° Batch n° Fertigungs-Nr	21586	Ø x L 2,0	

Désignation normalisée / Standardized designation
Typenbezeichnung

Observation / Remark

EN 12072 - W 19 12 3 L

ASME / AWS SFA 5.9: ER316L

ANALYSE CHIMIQUE CHEMICAL ANALYSIS Schweissgut Analyse	<input type="checkbox"/> Du métal déposé of the deposited metal	Dépôt pour Analyse chimique Weid pad for chemical Analysis	<input type="checkbox"/> EN 10 204 - 2.2
	<input checked="" type="checkbox"/> Du produit of the product		<input checked="" type="checkbox"/> EN 10 204 - 3.1B

éléments	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
teneur content	0,0140	0,4470	1,6940	0,0170	0,0060	0,0540	12,3690	18,5590	2,6870
éléments	Co								
teneur content									

Ferrite WRC 92

CARACTÉRISTIQUES MECANIKES DU METAL DEPOSE / mechanical properties of the deposited weld metal

Mechanische Eigenschaften

Dépôt pour essais mécanique

☒ EN 1597-1

Traitement Thermique / Heat treatment

☐

Deposit for mechanical test

☒ EN 10 204 - 2.2

Montée en Température / Heating rate

°C / h

☐ EN 10 204 - 3.1B

Paillet / Soaking temperature time

°C /

h

Refroidissement / Cooling rate

°C /

Essai de traction / Tensile test				Essai de résilience / Impact test			
Résistance à la traction RM Mpa	Limite d'élasticité R MPa	Allongement A % (5)d	Striction Z %	Température d'essais °C	Type d'entail	Energie absorbée J	Résilience J/cm2
600	450	33		20 -196	V V	130 50	
UTS Zug Festigkei	YS Streck Grenze	Elongation Dehnung	Reduction of area	Test temper. Prüf temper	Notch type ISO-V	Impact value Kerbschlagarbeit	Impact strength

Je soussigné certifie que tous les essais et vérifications effectués sur la fourniture précitée sont consignés sur le présent

CERTIFICAT et que leurs résultats et tout autre renseignement sont complets et sincères.

We certify that the statements in this report are correct and that the test welds were prepared welded and tested in accordance with the requirements above mentioned
Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit, dass alle in Bezug auf die o.g. Lieferung ausgeführten Versuche und Überprüfungen in diesem Werkzeugzeugnis ausgeführt sind
dass ihre Ergebnisse oder jegliche weitere Auskunft vollständig und ehrlich sind.

Le chef du Service contrôle qualité

Signature sous contrôle informatique

Mr MANSART

Caractéristique mécanique des métaux de base employés :

Dénomination usuelle	Désignation symbolique	Désignation numérique	Composition chimique en %										Dureté	Densité Kg/dm³	Propriétés
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Autre							
INOX 13 % AISI 420 C ou Z40C13	X39Cr13 X46Cr13 X45Cr13	1.4031 1.4034 1.3541	0,36 à 0,50	1 max	1 max	0,04 max	0,03 max	12,5 à 14,5					52 à 58 HRC	7,68	Bon compromis résis- tance à la corrosion et dureté. Inox trempant.
INOX 13 % SEW 400	X65Cr13	1.4037	0,58 à 0,70	1 max	1 max	0,04 max	0,015 max	12,5 à 14,6					58 à 64 HRC	7,7	Caractéristiques proches du 440C.
INOX 17 % AISI 440 C ou Z100CD17	X105CrMo17	1.4125	0,95 à 1,2	1 max	1 max	0,04 max	0,03 max	16 à 18		0,40 à 0,80			58 à 64 HRC	7,75	Acier inoxydable de qualité supérieure, dureté élevée. Utilisé dans les roulements inoxydables. Inox trempé à cœur.
INOX 17 % AISI 430 ou Z8C17	X6Cr17	1.4016	0,08 max	1 max	1 max	0,04 max	0,03 max	16 à 18					135 à 380 HV*	7,68	Inoxydabilité intermédiaire entre les 420 et les 304.
INOX 17 % AISI 430 F ou Z10CF17	X14CrMoS17	1.4104	0,10 à 0,17	1 max	1,50 max	0,04 max	0,15 à 0,35	15,5 à 17,5		0,20 à 0,60				7,68	L'apport de soufre rend plus facilement usinable cet acier inox
INOX 18/10 AISI 304 ou Z7CN 18-09	X5CrNi18-10	1.4301	0,07 max	1 max	2 max	0,045 max	0,03 max	17 à 19,5	8 à 10,5		N : 0,11 max		135 à 380 HV*	7,93	Inox austénitiques. Excellente résistance à la corro- sion et aux agents chimiques.
INOX 18/10 AISI 304L Z2CN 18-10	X2CrNi18-09	1.4306	0,03 max	1 max	2 max	0,045 max	0,03 max	18 à 20	8 à 10	2 à 2,5	N : 0,11 max			7,93	Utilisables là où l'inoxidabilité est primordiale par rapport à la dureté.
INOX 18/12/3 AISI 316 ou Z6CND 17-12	X5CrNiMo17 12.02	1.4401	0,07 max	1 max	2 max	0,045 max	0,03 max	16,5 à 18,5	10 à 13	2 à 2,5	N : 0,11 max		135 à 380 HV*	7,98	Mêmes caractéristiques que ci-dessus mais avec apport de molybdène augmentant encore la résistance à la corrosion et aux agents chimiques (en particulier les acides forts). Ces aciers inox sont moins magnétiques que les aciers inox AISI 304 et 304L.
INOX 18/12/3 AISI 316L ou Z2CND 17-12	X2CrNiMo17 12.02	1.4404	0,03 max	1 max	2 max	0,045 max	0,03 max	16,5 à 18,5	10 à 13	2 à 2,5	N : 0,11 max			7,97	

Epaisseur des tubes selon Schedule :

Diamètre extérieur		Épaisseur et poids					
pouces	mm	SCH 5S		SCH 10S		SCH 40S	
		mm	kg/m	mm	kg/m	mm	kg/m
3/8"	17,15			1,65	0,64		
1/2"	21,34	1,65	0,81	2,11	1,01	2,77	1,28
3/4"	26,67	1,65	1,03	2,11	1,29	2,87	1,71
1"	33,40	1,65	1,31	2,77	2,12	3,38	2,53
1 1/4"	42,16	1,65	1,92	2,77	2,73	3,56	3,43
1 1/2"	48,26	1,65	1,92	2,77	3,15	3,68	4,10
2"	60,33	1,65	2,42	2,77	3,98	3,91	5,51
2 1/2"	73,03	2,11	3,74	3,05	5,33		
3"	88,90	2,11	3,74	3,05	6,54		
3 1/2"	101,60	2,11	4,57	3,05	7,51		
4"	114,30	2,11	5,24	3,05	8,47		
5"	141,30	2,77	9,58	3,40	11,7		
6"	168,28	2,77	11,5	3,40	14,0		
8"	219,08	2,77	15,0	3,76	20,3		

4.

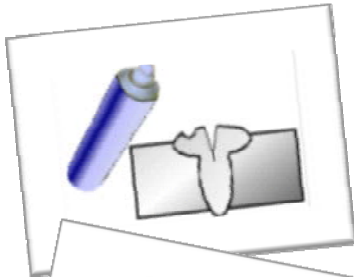
RESSUAGE



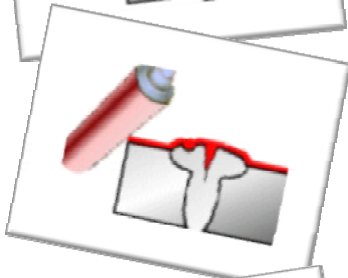
Selon Norme : EN ISO 3452-1984

Principe de l'essai :

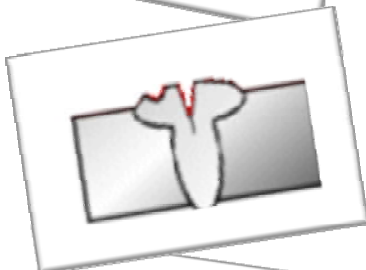
Le contrôle par ressuage permet de détecter des défauts, débouchant en surface (fissures, porosités, manque de liaison) sur des matériaux métalliques. Ce contrôle est réalisé à l'aide d'un pénétrant qui, par capillarité, fait apparaître les défauts débouchant en surface. Après élimination de l'excès de pénétrant à la surface, l'apparition visuelle des défauts est réalisée par l'application d'un révélateur qui absorbe le pénétrant retenu dans les défauts.



Dégraissage avec solvant volatil.



Application par pulvérisation du liquide pénétrant coloré sur toute la surface à examiner.



Élimination du pénétrant sur la surface de la pièce à contrôler par rinçage à l'eau ou par solvant spécial.



Application par pulvérisation du révélateur en une couche mince et uniforme.



Visualisation des défauts.

Préparation de l'éprouvette d'examen :

Nettoyage rigoureux et dégraissage soigné avec un solvant de la surface de la pièce à contrôler. Vérification du séchage complet de la pièce à contrôler.

Présentation de l'essai :



Dégraissage avec solvant.



Application du pénétrant.



Elimination du pénétrant avec solvant.



Application du révélateur.

Observation :

Le ressuage n'a révélé aucun défaut. Aucune fissure ni porosité n'est apparue.

5.

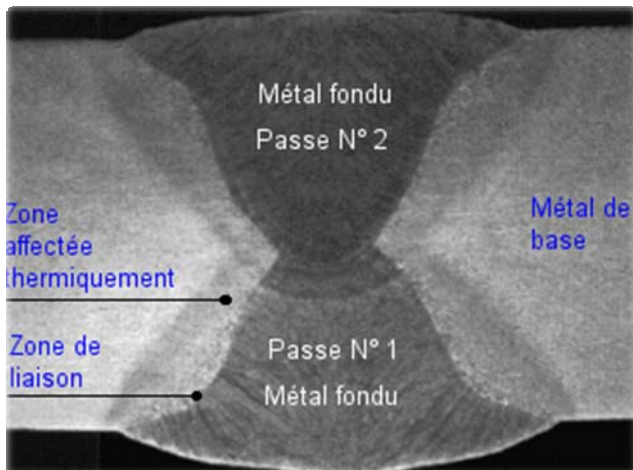
MACROGRAPHIE



Selon Norme : EN ISO 17639 :2003

Principe de l'essai:

L'examen macroscopique (examen à l'œil nu) ou macrographique (examen avec un optique comme une binoculaire) permet de révéler la structure métallographique d'une coupe transversale d'une éprouvette soudée. **La valeur de grossissement est inférieure à X 100.**



Exemple de macrographie

Cet examen permet de mettre en évidence :

- La répartition des passes de soudure
- La grosseur et la forme des grains
- Le fibrage et la déformation des grains

Préparation de l'éprouvette d'examen :

La coupe est réalisée, généralement dans le sens travers de la soudure, avec une meule sous eau pour éviter les échauffements.

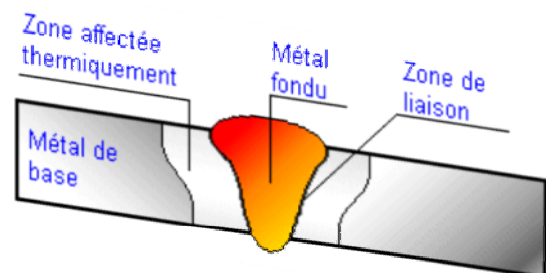
Conseils de polissage de l'éprouvette d'examen :

Le polissage de la surface à examiner est réalisé avec un touret sous eau et des disques abrasifs de granulométrie d'environ P120 - P400 - P600. L'échantillon subit une rotation à 90° à chaque changement de granulométrie pour effacer les rayures précédentes de polissage. La durée de polissage est d'environ 2 minutes par granulométrie.

Observation de l'éprouvette d'examen :

Les différentes zones révélées par l'attaque chimique sont observées par le spécialiste.

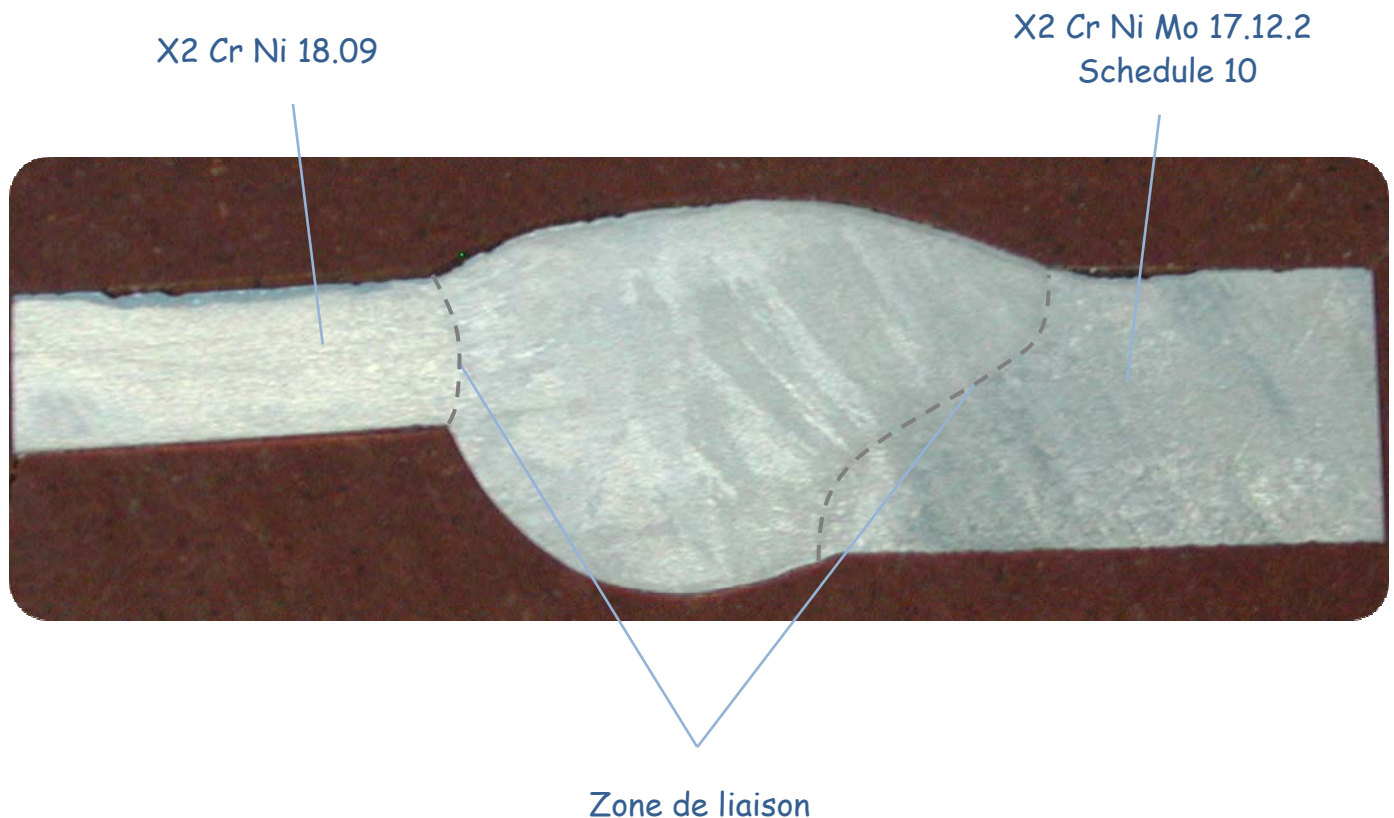
- Le métal fondu (MF) ou zone fondue (ZF)
- La zone de liaison (ZL)
- La zone affectée thermiquement (ZAT)



La macrographie permet de définir le nombre de passes réalisées, la disposition des passes et la géométrie des cordons ainsi que les défauts du type porosité, collage...

Présentation de l'essai :

La macrographie ci-dessous a été polie puis attaquée à l'aide de l'acide oxalique électrolytique et enfin, observée sous un grossissement X6.

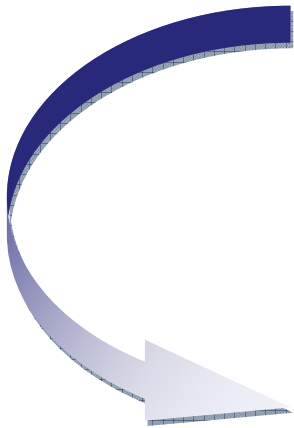


Observations :

- On observe parfaitement la passe avec protection envers, excentrée, due à la différence d'épaisseurs des métaux de base.
- Absence de défaut du type fissure, porosité, collage.

6.

MICROGRAPHIE



Selon Norme : EN ISO 17639 :2003

TECHNIQUE

Principe de l'essai :

L'examen micrographique (examen au microscope) permet de révéler la structure métallographique de l'échantillon examiné et les inclusions non métalliques. **La valeur de grossissement de la surface est supérieure à $\times 100$.**



Exemple de micrographie

Cet examen permet de mettre en évidence :

- La grosseur des grains
- La vitesse de refroidissement
- L'homogénéité
- La présence d'impuretés

Préparation de l'éprouvette d'examen:

Idem à la macrographie mais toutes les précautions doivent être prises pour éviter une modification de la structure métallurgique du matériau à examiner.

Conseils de polissage de l'éprouvette d'examen :

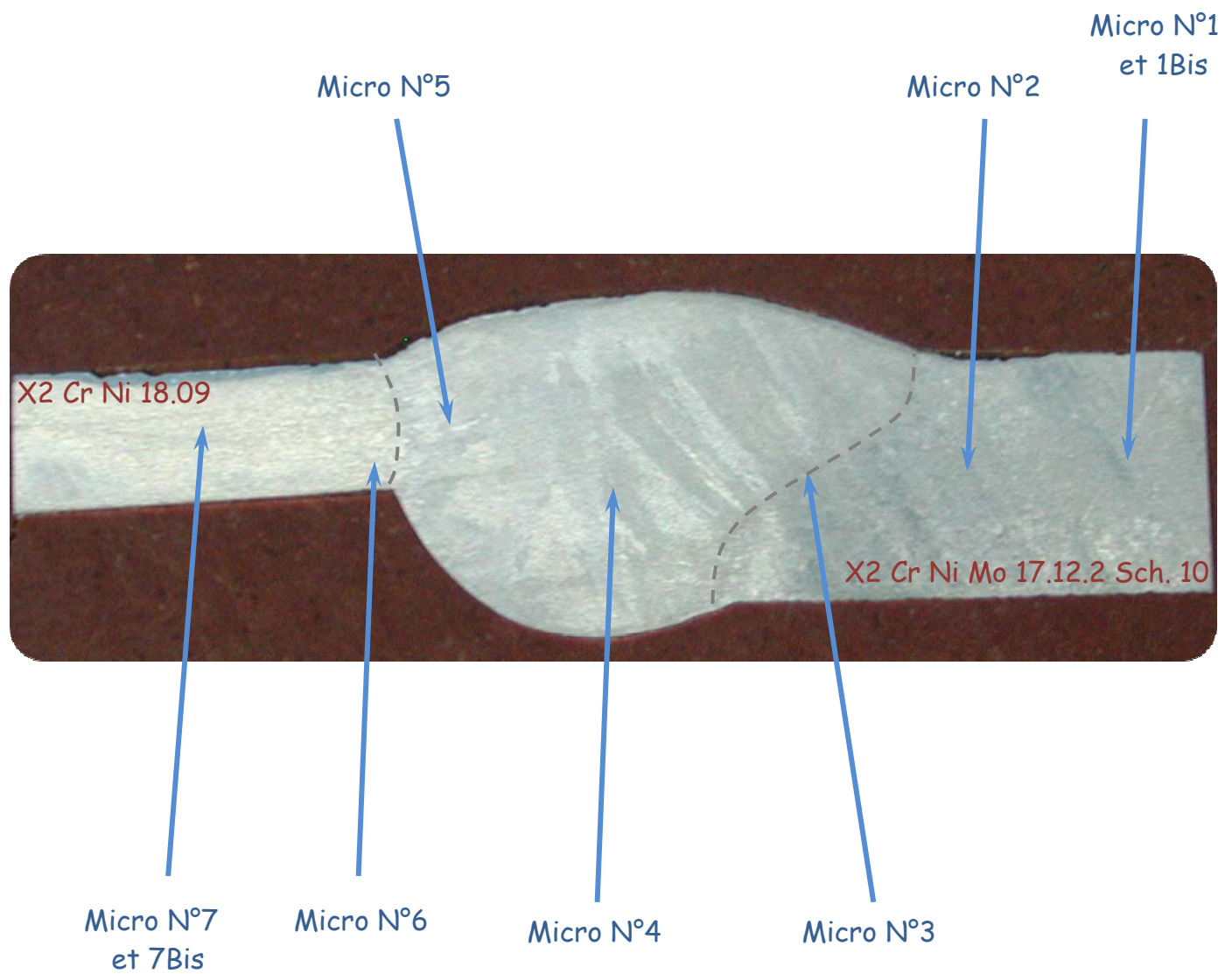
Idem à la macrographie mais un polissage de finition doit être réalisé avec une granulométrie de P800 à P1200. Puis un polissage de superfinition est réalisé. Plusieurs méthodes de polissage sont possibles, comme le polissage à la pâte de diamant ou le polissage électrolytique.

Observation de l'éprouvette d'examen :

L'examen de l'éprouvette est réalisé à l'aide d'un microscope fonctionnant par réflexion. Ce microscope est équipé de :

- Un objectif et un oculaire pour l'observation visuelle
- Un dispositif d'éclairage
- Une surface d'observation orientable

Indexage des micrographies :



Micrographie N°1 :

Localisation : Métal de base X2 Cr Ni Mo 17.12.2.

Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.



Observations :

On observe parfaitement le sens de laminage du métal de base.

Micrographie N°1Bis :

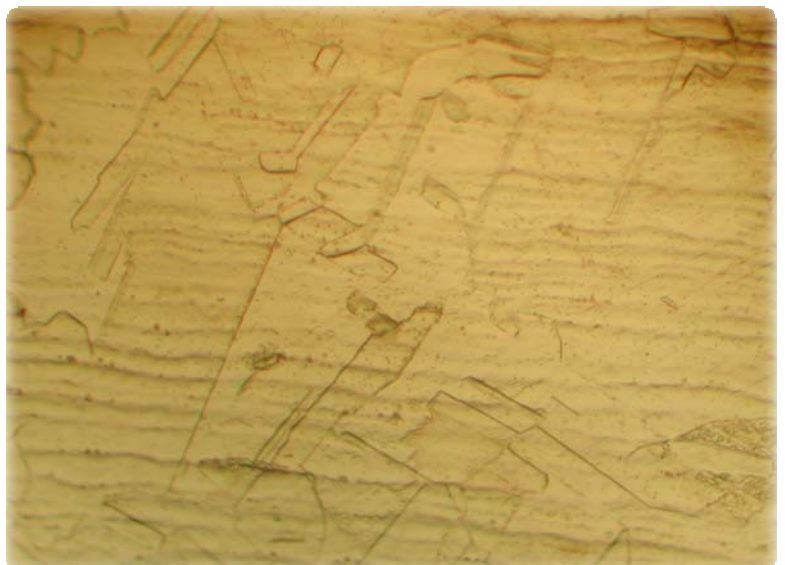
Localisation : Métal de base X2 Cr Ni Mo 17.12.2.

Grossissement : x 500

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.

Observations :

On observe la structure austénitique du métal de base et ses joints de macles respectifs.



Micrographie N°2:

Localisation : Zone affectée thermiquement.

Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.



Observations :

On constate que la taille des grains d'austénite a augmenté par rapport à la micrographie N°1. Cette évolution de la taille des grains est due à la chauffe du métal lors du soudage.

Micrographie N°3:

Localisation : Zone de liaison entre le métal de base X2 Cr Ni Mo 17.12.2 et le métal d'apport.

Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.

Observations :

On observe sous cordon une bonne interpénétration des zones entre elles. On distingue très bien la différence d'aspect entre la zone fondue et le métal de base. A noter une légère réduction des grains due aux tensions internes.



Micrographie N°4:

Localisation : Zone fondue.

Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.



Observations :

On observe parfaitement les ramifications de nombreuses dendrites de solidification d'où l'orientation des grains du métal d'apport.

Micrographie N°5:

Localisation : Zone de liaison entre le métal de base X2 Cr Ni 18.09 et la zone fondue.

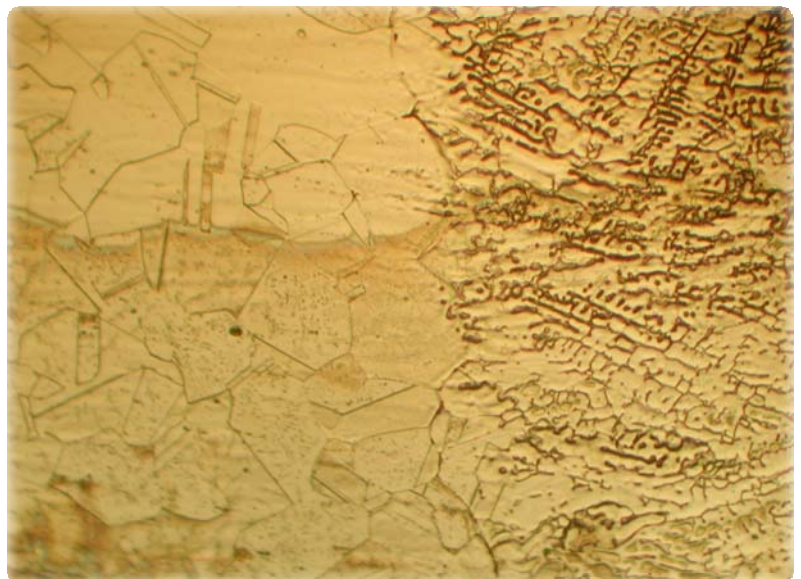
Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.

Observations :

On observe une bonne interpénétration des zones entre elles.

On distingue très bien la différence d'aspect entre la zone fondue et le métal de base.



Micrographie N°6:

Localisation : Zone affectée thermiquement.

Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.



Observations :

On note toujours un grossissement des grains d'austénite de forme polygonale par rapport à la micrographie N°7.

Micrographie N°7 :

Localisation : Métal de base X2 Cr Ni 18.09.

Grossissement : x 200

Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.

Observations :

On observe parfaitement le sens de laminage du métal de base



Micrographie N°7 Bis :

Localisation : Métal de base X2 Cr Ni 18.09.

Grossissement : x 500

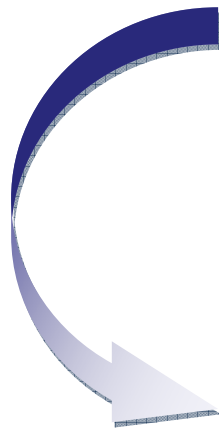
Réactif d'attaque : acide oxalique électrolytique.



Observations :

On observe la structure austénitique du métal de base et ses joints de macles respectifs.

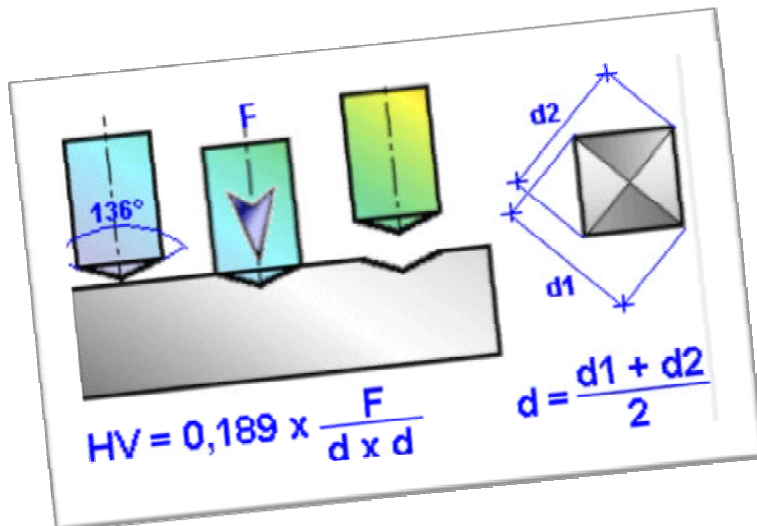
7. ESSAI DE DURETE VICKERS



Selon Norme : EN ISO 9015-2 :2003

Principe de l'essai :

L'essai consiste à appliquer sur une pièce à mesurer, un pénétrateur sous une charge d'appui F donnée. La dureté est mesurée par rapport aux dimensions de l'empreinte du pénétrateur laissée sur la surface du matériau contrôlé. L'empreinte est d'autant plus importante que le matériau est mou. Les essais de dureté caractérisent la résistance qu'offre un matériau à la pénétration. L'essai est réalisé à température ambiante.



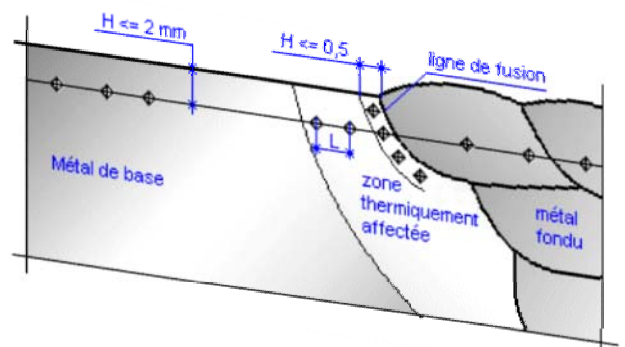
Le pénétrateur est une pyramide droite à base carrée et d'angle au sommet de 136° sous une charge F . On mesure les diagonales " $d1$ " et " $d2$ " de l'empreinte.

Préparation de l'éprouvette d'examen:

L'essai de dureté Vickers est réalisé sur un échantillon préalablement poli et prélevé perpendiculairement à l'axe du cordon de soudure. La soudure, la zone de liaison, les zones thermiquement affectées et le métal de base sont révélés par une attaque chimique à l'aide d'un réactif.

Localisation des empreintes sur une soudure bout à bout :

Les mesures de dureté doivent être effectuées dans la soudure, les zones affectées thermiquement et le métal de base afin d'évaluer la plage de valeurs de dureté dans tout l'assemblage soudé. Une seule filiation de dureté est nécessaire.



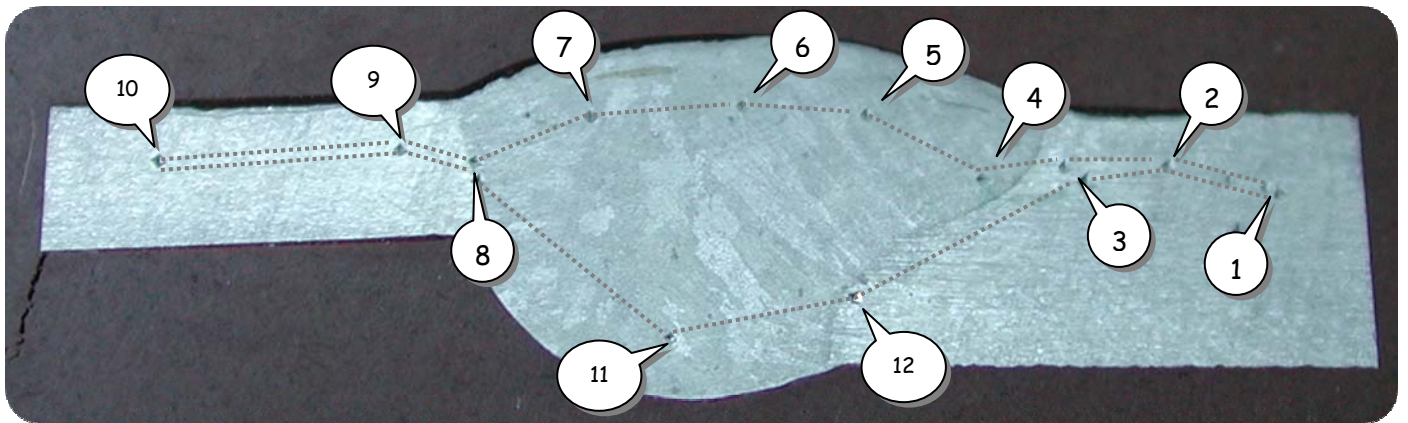
Méthode de calculs et observation:

Après avoir mesuré les valeurs $d1$ et $d2$ des diagonales de l'empreinte, on obtient la moyenne d qui sera utilisée pour le calcul de la dureté HV suivant la formule $HV = 0.189 \times F / d^2$, ou utilisée pour la lecture de la dureté Vickers dans un abaque. Cet abaque détermine la dureté Vickers en fonction de la charge appliquée et la mesure de la diagonale,

Présentation de l'essai :

L'essai de dureté Vickers ci-après a été réalisé suivant deux filiations et avec une charge de 5 daN.

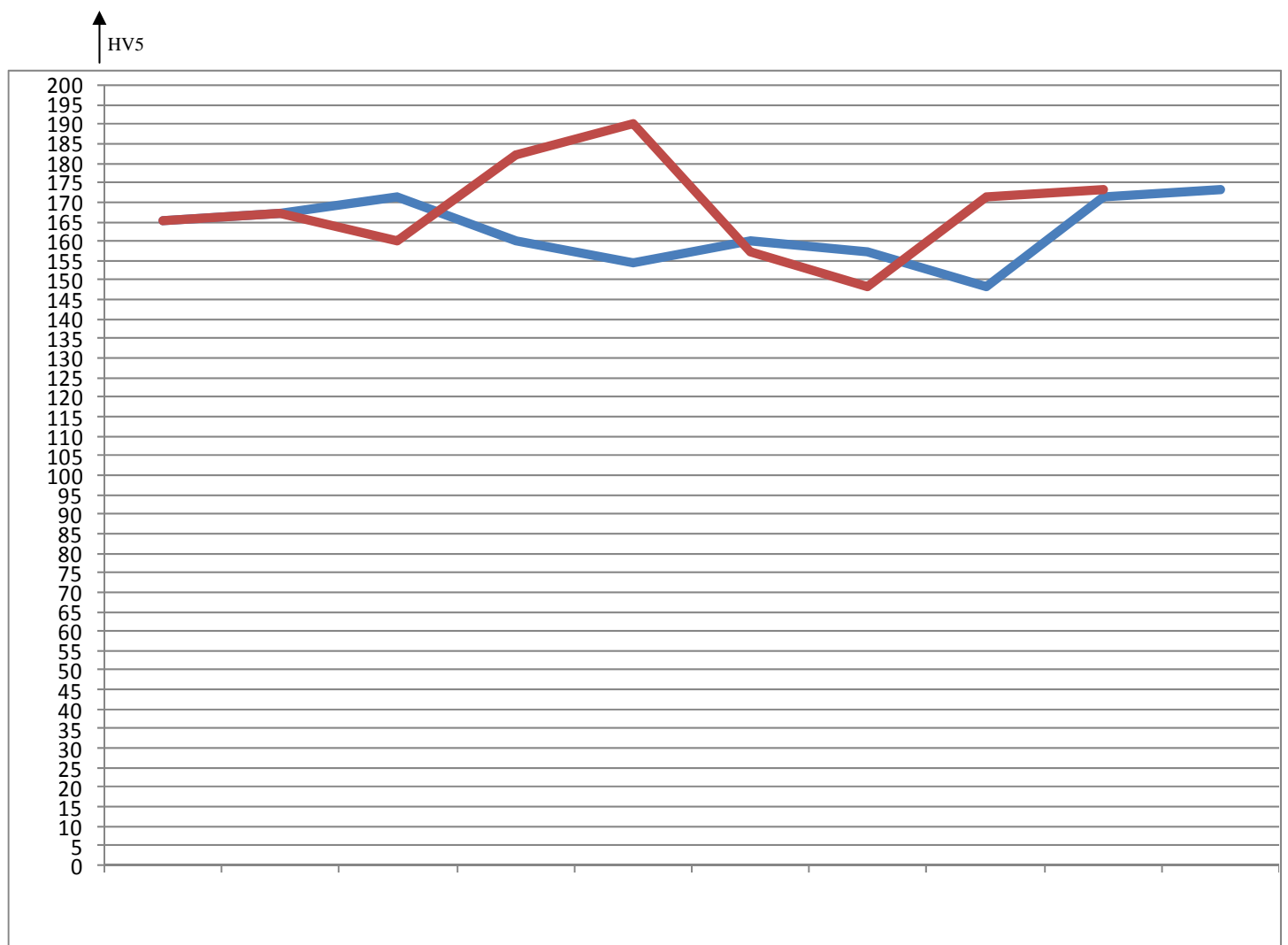
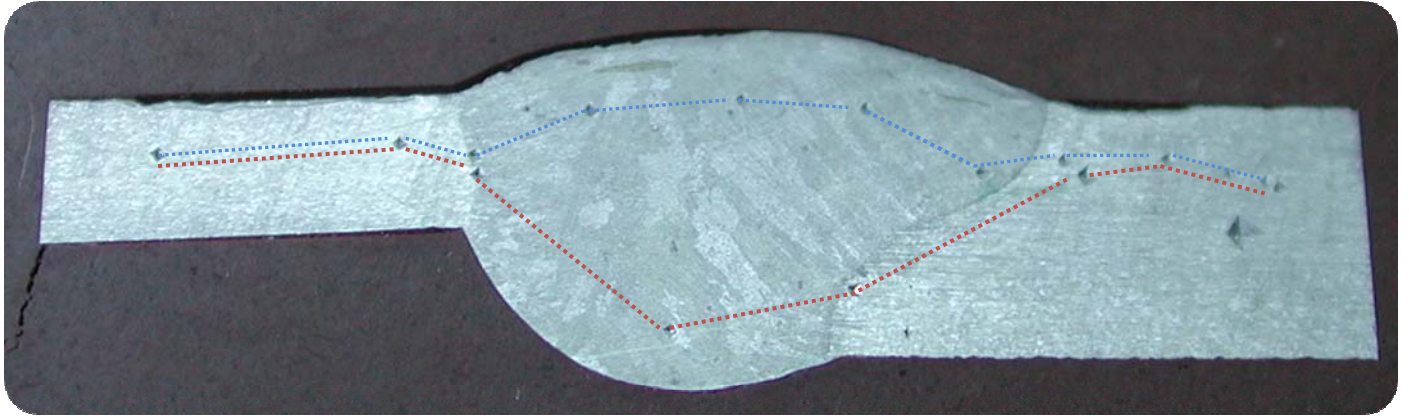
Voici la macrographie permettant l'indexage des différents points de dureté.



Relevé des valeurs :

N° Points	d	HV 5
1	0.234	$0.189 \times 50 / 0.234^2 = 173 \text{ HV}$
2	0.235	$0.189 \times 50 / 0.235^2 = 171 \text{ HV}$
3	0.253	$0.189 \times 50 / 0.253^2 = 148 \text{ HV}$
4	0.245	$0.189 \times 50 / 0.245^2 = 157 \text{ HV}$
5	0.243	$0.189 \times 50 / 0.243^2 = 160 \text{ HV}$
6	0.248	$0.189 \times 50 / 0.248^2 = 154 \text{ HV}$
7	0.235	$0.189 \times 50 / 0.235^2 = 171 \text{ HV}$
8	0.243	$0.189 \times 50 / 0.243^2 = 160 \text{ HV}$
9	0.238	$0.189 \times 50 / 0.238^2 = 167 \text{ HV}$
10	0.24	$0.189 \times 50 / 0.24^2 = 165 \text{ HV}$
11	0.228	$0.189 \times 50 / 0.228^2 = 182 \text{ HV}$
12	0.223	$0.189 \times 50 / 0.223^2 = 190 \text{ HV}$

Courbe de dureté :



Observation :

On peut observer que les duretés obtenues sont pratiquement constantes sur les deux filiations.

8.

CONCLUSION GENERALE

Les points négatifs :

- ✓ On a pu constater, à travers la macrographie, une certaine asymétrie du cordon.

Les points positifs :

- ✓ Les micrographies laissent apparaître des constituants classiques pour ce type de matériaux sans présence de microfissure.
- ✓ La macrographie, quant à elle, indique l'absence de défaut majeur de soudage et une bonne pénétration.
- ✓ Le ressuage n'a révélé aucun défaut extérieur, aucune porosité ni fissure dans toute la périphérie du cordon.

On peut donc, au vu de tous les essais, conclure que le DMOS est satisfaisant et est ainsi validé.