

Comportement microstructural et électrochimique des soudures en acier inoxydable Lean duplex

N.Ouali¹, B.Belkessa¹, B.Cheniti¹, S. Khenfer²,

1 : Centre de Recherche en Technologies Industrielles (CRTI) - Algérie

2: FGMGP, Université des Sciences et de Technologie Houari Boumediene, USTHB - Algérie

Introduction

Les aciers inoxydables duplex deviennent de plus en plus présents dans des applications industrielles exigeant des propriétés mécaniques importantes associées à une bonne résistance à la corrosion.

Les propriétés optimales des aciers inoxydables duplex sont réalisées quand les proportions presque égales d'austénite et de ferrite sont présentes dans la microstructure.

La proportion de chaque phase dans la microstructure des joints soudés est fonction de la composition, de la température maximale atteinte et de la vitesse de refroidissement. Dans la zone fondue, la microstructure peut être commandée en équilibrant les effets de la composition du métal d'apport et de la vitesse de refroidissement du joint soudé. Dans la zone affectée thermiquement (ZAT), l'équilibre ferrite/austénite est contrôlé principalement par la vitesse de refroidissement [1].

Par conséquent, suite à une opération de soudage, l'équilibre de phases ferrite/austénite dans la zone fondue et la ZAT des soudures en acier inoxydable duplex peut être altéré d'une manière significative. Cette variation compromet souvent le comportement des aciers inoxydables duplex soudés dans des conditions de service.

Matériaux et techniques :

Le matériau qui fait l'objet de cette étude est un acier inoxydable duplex allégé en nickel LDX 2101, dont la désignation Européenne est (1.4162) et selon ASTM (UNS S32101) avec une structure en bande orientée illustrée par la Fig.1, constituée de grains d'austénite qui baignent dans une matrice ferritique. La forme allongée des grains est due au procédé de laminage effectué lors de l'élaboration du matériau [2].

La composition chimique du matériau de base et du métal d'apport utilisé (E2209), analysée par spectroscopie à fluorescence, est donnée dans le tableau1.

Tableau.1 :

Compositions chimiques des métaux de base et d'apport									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	Cr _{éq}	Ni _{éq}
LDX 2101	0.04	0.702	4.72	21.2	1.74	0.297	0.253		
E2209	0.03	0.8	0.8	22	9	3	0.15	25	13.05

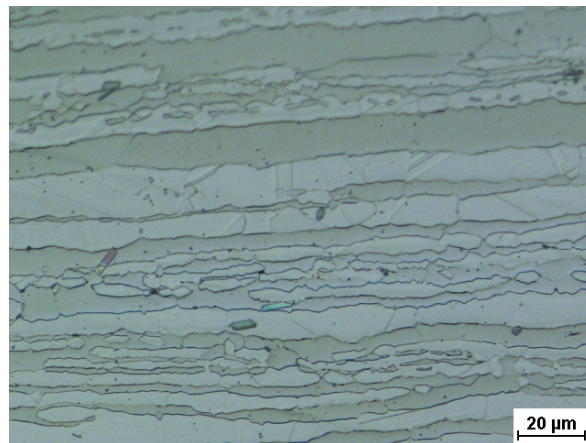


Fig.1 : Microstructure du métal de base LDX2101

Les assemblages ont été réalisés en 03 passes avec deux énergies différentes E1 et E2, en utilisant le procédé à l'arc sous protection gazeuse Tungsten Inerte Gas.

Résultats et interprétation : Examen métallographique

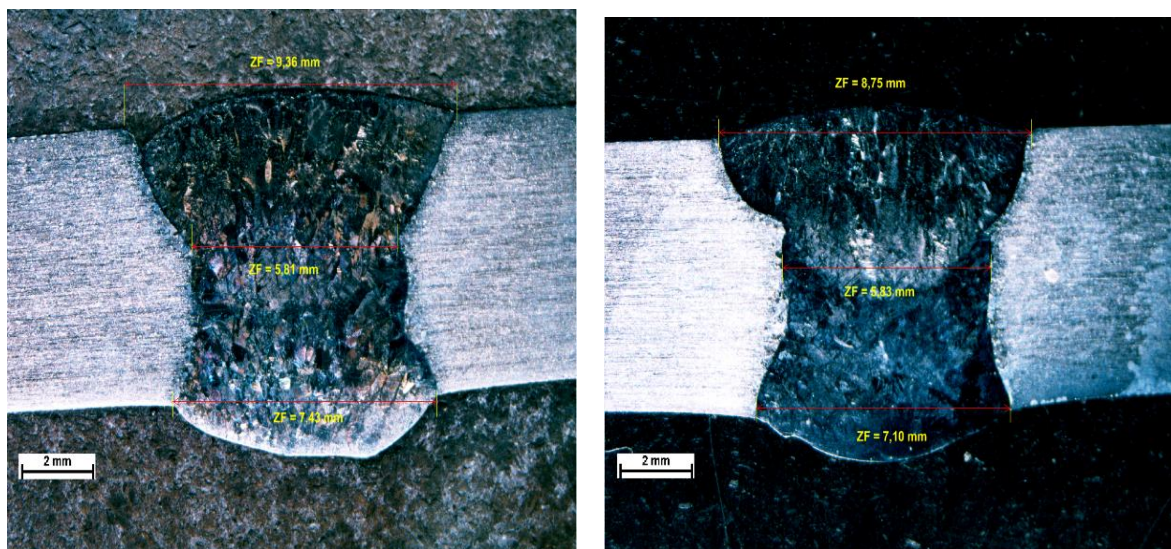


Figure.2 : Macrographies des joints soudés

La figure.2 ci dessus, montre l'aspect des différentes zones du joint soudé après polissage et attaque chimique adéquate, elle révèle la texture du joint avec les trois passes, les dimensions des deux cordons pour les deux énergies (largeur du cordon qui diminue avec l'augmentation de l'énergie) ainsi que la ZAT et la ZF.

L'analyse microstructurale des micrographies fig.3, révèle une zone fondue (ZF) biphasée aciculaire constituée d'austénite reformée de type Widmanstätten et de ferrite. L'austénite se trouve dans les zones inter dendritiques de ferrite. Le taux de ferrite dans cette région est inférieur à celui de la ZAT mais supérieur à celui du MB.

La zone affectée thermiquement (ZAT) proche de la zone fondue illustrée par la figure.3b est constituée de deux sous zones à savoir la zone surchauffée et la zone recuite et présente un grossissement considérable des grains par rapport au métal de base. Dans la ZAT surchauffée (adjacente à la zone fondue), on constate un grossissement (élargissement) de la taille du grain ferritique et une augmentation du taux de ferrite.

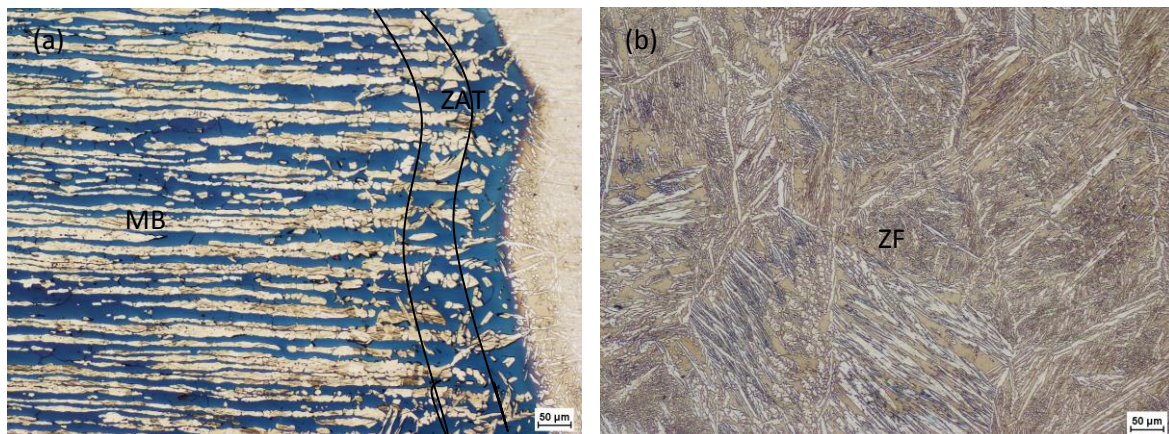


Figure.3 : Microstructures des différentes zones pour E1

(a) Zone affectée thermiquement et (b) zone fondue

Pour connaître l'influence de l'opération de soudage sur l'équilibre des phases austénite/ferrite, nous avons calculé le taux de ferrite dans les principales zones.

Ainsi l'estimation du taux de ferrite est réalisée par une méthode métallographique quantitative, à l'aide d'un microscope muni d'un logiciel de traitement d'image, qui permet d'estimer les taux de chaque phase sur des images micrographiques obtenues après une attaque électrolytique.

L'augmentation du taux de ferrite dans la ZAT est due à la disparition partielle de la structure en bande. Cette transformation se produit lors de l'opération de soudage (cycle thermique de chauffage / refroidissement) qu'a subit la ZAT à chaque passe.

Table 2 : Estimation du taux de ferrite (% δ) dans les deux soudures

Energie	MB	ZAT	ZF
E1	50.6	56.3	43
E2	48.8	64.6	45

Essai de microdureté :

Le graphe ci-dessous présente les profils de dureté des deux soudures. On remarque pour les deux profils une diminution de la dureté au niveau de la ZAT qui est due principalement au grossissement des grains.

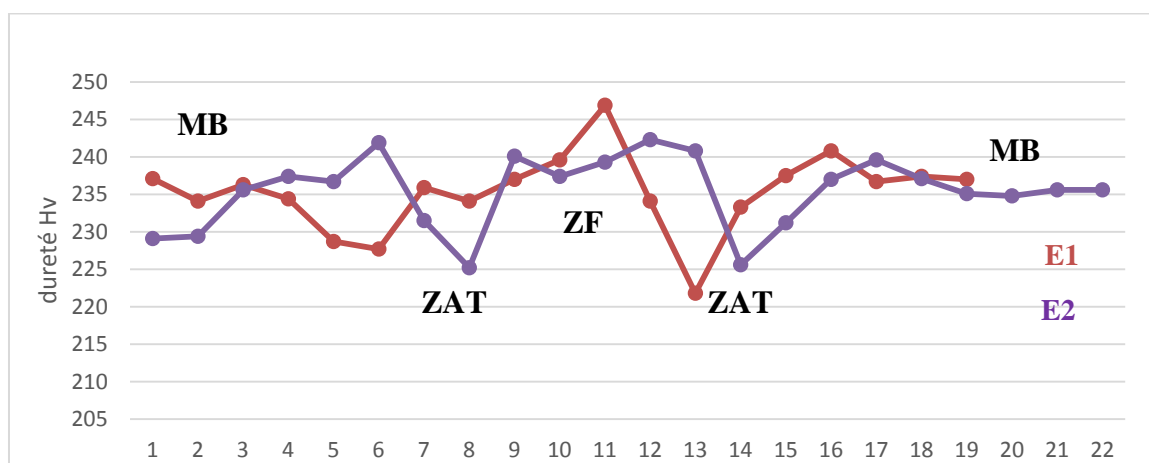


Figure.4 : courbe des microduretés Vickers en fonction du déplacement

Essais de corrosion :

Le LDX 2101 est l'un des aciers duplex résistant à la corrosion avec une faible teneur en nickel [5] aussi une résistance mécanique élevée et une bonne ténacité, qui sont dues à une microstructure austéno-ferritique mixte équilibrée. Cette propriété doit être assurée même lors des opérations de soudage ou traitement thermiques.

Ainsi des tests d'électrochimie ont été réalisés dans une solution de NaCl, afin de reproduire l'eau de mer pour estimer la résistance à la corrosion par piqures des zones soudées par rapport au métal de base.

Tableau.3 :

	$E_{corr.}$ (mV)	$I_{corr.}$ (A)
MB	-216.02	$6.001 * 10^{-7}$
E1	-98.12	$4.25 * 10^{-7}$
E2	-282.83	$2.14 * 10^{-7}$

Après ces essais, on a constaté que les échantillons présentent une surface légèrement attaquée avec des piqures. Ces piqures observées sur les échantillons sont nombreuses et dispersées et parfois regroupées par rapport au métal de base qui n'a pas présenté de piqures de corrosion.

On a remarqué aussi que la résistance à la corrosion dans le métal de base (MB) est très élevée dans l'environnement NaCl avec un $R_p = 2408310\Omega$ par rapport au joint soudé (zone fondue). Dans la zone fondue : plus l'énergie de soudage augmente plus la résistance à la corrosion est diminuée.

Conclusion :

L'objectif de notre étude est d'évaluer le comportement d'une soudure en acier duplex de nuance 2101 par rapport à la corrosion dans une solution de NaCl [4].

Les résultats obtenus peuvent nous mener à considérer certaines points qui sont les suivants :

- Le refroidissement à l'air des joints soudés (TIG) en acier inoxydable duplex 2101, en utilisant les paramètres de soudage actuels, fournit un équilibre de phase satisfaisant et évite les précipités intermétalliques fragiles.
- Dans la zone fondue la valeur du potentiel est moins noble comparée à celui du métal de base. La vitesse de corrosion augmente sensiblement de près de 2 fois entre le métal de base et la zone de fusion à cause de la structure hétérogène du cordon.

Références :

[1] R.N. Gunn. Duplex stainless steels. 2000.

[2] Avesta. Bill Aitken, National Sales Manager, Bohler Welding Australia

[3] S. Jana. Effect of heat input on the HAZ properties of two duplex stainless steels. 1992

[4] Effet de L'énergie de soudage sur la résistance à la corrosion dans un assemblage en acier inoxydables duplex allégé en Nickel LDX 2101. Master 2016.

[5] Secondary austenite formation and its relation to pitting corrosion in duplex stainless steel weld metal. J.-O. Nilsson, L. Karlsson, and J.- O. Andersson.1994