

Caractérisation métallurgique et électrochimique d'une électrode ENiCrFe-3 avant et après fusion

ALLOU Djilali⁽¹⁾, CHENITI Bellel⁽³⁾

Division de métallurgie et mécanique
Welding and NDT Research Center- CSC
PB 64 - Chéraga, ALGERIA
djilallou@yahoo.fr

MIROUD Djamel⁽²⁾

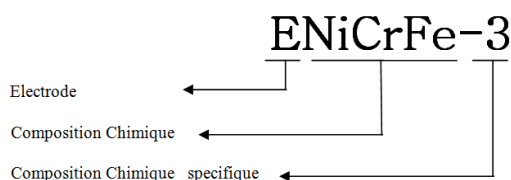
Département De Sciences Des Matériaux
Laboratoire de Sciences et Génie des Matériaux, Faculté de
Génie Mécanique et Génie des Procédés –USTHB
BP32 – 16111 El Alia, Bab Ezzouar Alger Algérie
jamelart@yahoo.fr

Résumé : L'objet de ce travail est de faire une étude comparative à travers une caractérisation métallurgique et électrochimique d'une électrode à base de nickel l'ENiCrFe-3 avant et après fusion lors d'un soudage manuel (SMAW). Plusieurs techniques de caractérisation ont été adoptées afin d'y parvenir à savoir : l'analyse EDX par Microscopie Electronique à balayage, des mesures de dureté HV10 ainsi que des essais électrochimiques.

Mots clés : Electrode ENiCrFe-3, enrobage rutile, microstructure, électrochimie, calamine

INTRODUCTION

L'électrode ENiCrFe-3 est très employée pour le rechargement des aciers utilisés dans le domaine parapétrolier, afin d'augmenter la durée de vie des outils travaillant sous frottement et qui subissent des contraintes mécaniques [1]. L'avantage de cette électrode est qu'elle a une bonne résistance au fluage ainsi qu'une bonne résistance à la fatigue et à l'usure, avec une limite de rupture élevée [2]. C'est ainsi qu'on se propose d'étudier cette électrode avant et après fusion pour pouvoir observer l'évolution microstructurale, mécanique et électrochimique, et ainsi faire un comparatif. [3].



L'électrode ENiCrFe-3 selon l'ASME est classée dans la SFA-5.11, une Spécification destinée pour les électrodes de soudure à base de Nickel et alliage de nickel destiné au soudage manuel (SMAW)

Le métal d'apport déposé par ces électrodes a une teneur en nickel supérieure à celle de tout autre élément, les électrodes dans cette spécification ont un large éventail d'utilisation aussi bien pour le service cryogénique, résistant à la corrosion, les appareils à pression et des tuyauteries, ils sont couramment utilisés pour le soudage des métaux dissemblables et également les rechargements [3]

Cette classification commence par la lettre "E", suivie du symbole pour le nickel («Ni») pour représenter l'élément principal. Ce symbole est suivi par les principaux éléments restants, tels que Cr, Mo, Cu, Co et Fe. Le chiffre 3 signifie que l'ENiCrFe-3, est le troisième de la liste des nombreuses désignations d'ENiCrFe.

PROCEDURE EXPERIMENTALE

Dans le but de faire une étude comparative entre l'électrode ENiCrFe-3 avant et après fusion, nous avons découpé l'électrode fusionnée sous forme rectangulaire suivi d'une préparation métallographique (polissage mécanique, attaque chimique avec l'eau régale) tandis que l'électrode brute (avant fusion) a été examinée dans le sens transversal et longitudinal comme illustré sur la figure 1. La composition chimique de l'électrode est donnée dans le tableau 1. Pour la caractérisation microstructurale, nous avons eu recours à la microscopie optique et Electronique à Balayage couplée à l'EDS dans le but d'avoir une meilleure approche en suivant l'évolution des différents constituants.

Pour pouvoir étudier le comportement à la corrosion, nous avons mis nos échantillons dans les mêmes conditions de travail à température ambiante, dans une solution H_2SO_4 (pH = 4.7), en utilisant la méthode potentiostatique et la méthode potentiodynamique

TABLEAU 1 : LA COMPOSITION CHIMIQUE DE l'ENiCrFe-3 BRUTE

Elément	Ni	Cr	Fe	Mn	Nb	C	Cu	Si
% Pds	61	15	10	8	2	0.1	0.5	0.4

Résultats et discussions

- Caractérisation microstructurale et mécanique des électrodes

La baguette a été découpée longitudinalement et transversalement dans le but d'évaluer ses caractéristiques microstructurales et de mesurer sa dureté.

Les micrographies de la figure 3 montrent une coupe longitudinale dans laquelle on voit les grains allongés et orientés dans le sens du tréfilage d'une taille moyenne de $3\mu m$, avec une dureté de 269 HV10 en revanche la coupe transversale de la figure 2 illustre des grains équiaxes où la dureté moyenne est de l'ordre de 296 HV10.

En comparant la microstructure de la baguette avant fusion avec celle après fusion, nous constatons une microstructure totalement différente de celle des deux coupes (transversale et longitudinale), avec une nouvelle structure homogène, où la dissolution des éléments à savoir le Ni, Fe et Cr est totale, sa microstructure est dendritique orientée dans le sens du refroidissement).

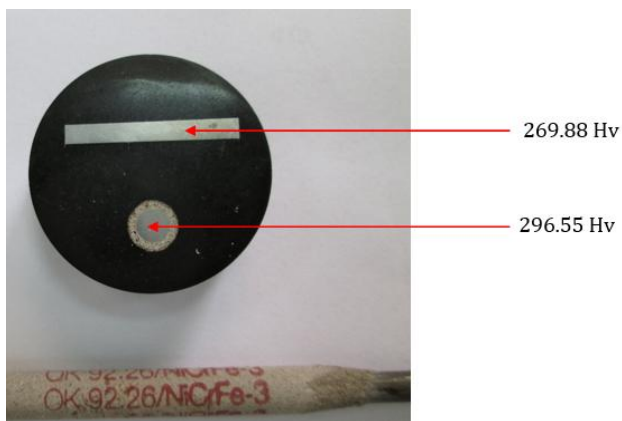


Figure 1: coupes longitudinal et transversal de l'ENiCrFe-3 enrobée

La valeur de la dureté est réduite par rapport à l'électrode avant soudage, elle est de l'ordre de 207 HV10 ceci est probablement due à l'état d'écrouissage de la baguette qui résulte des traitements de mise en forme à froid en amont de leurs processus de production (tréfilage).

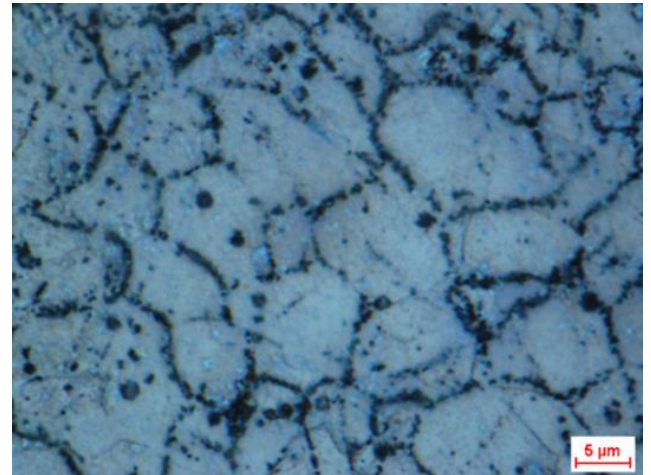


Figure 2: Microstructure d'une coupe transversale de l'électrode ENiCrFe-3

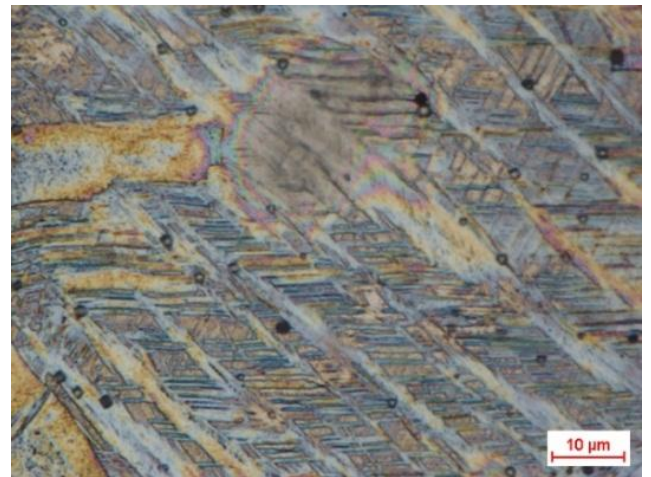


Figure 3: Microstructure d'une coupe longitudinale de l'électrode ENiCrFe-3

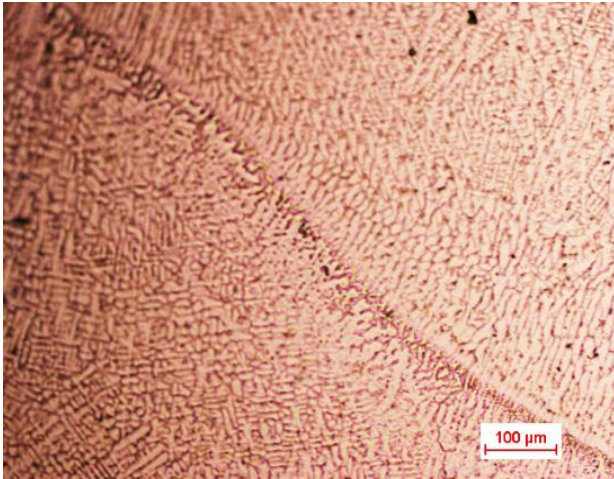


Figure 4 : Microstructure de l'électrode ENiCrFe-3 après fusion

- Caractérisation électrochimique des électrodes

Les essais électrochimiques ont été réalisés par le logiciel VOLTALAB2 où l'évolution des courbes potentiostatiques de l'électrode avant et après fusion est illustrée sur la figure 5. Nous constatons que l'électrode avant fusion présente une allure ascendante indiquant une passivation qui se stabilise à un potentiel de -130 mV après 35 mn, par contre, pour l'électrode fusionnée, le potentiel libre subit une chute brutale et il faut environs 63 mn d'immersion pour qu'il atteigne la valeur la plus basse à -550 mV traduisant une tendance à l'activation de la corrosion.

Ce comportement peut être expliqué par l'apparition des nouvelles phases après fusion et solidification provoquant ainsi la détérioration de la surface de la baguette en contact de notre solution H_2SO_4 de PH 4.7

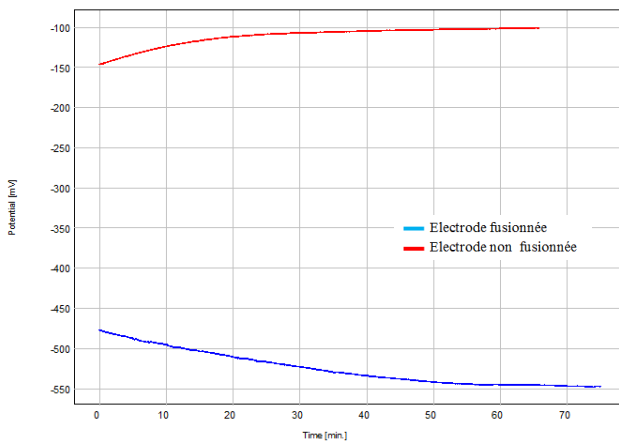


Figure 5: Evolution des potentiels d'abondant ($E=f(t)$) des électrodes avant et après fusion

Les courbes potentiodynamiques de l'électrode avant et après fusion sont représentées sur la figure 6. On constate que le tracé général est similaire pour les deux échantillons, le comportement de ces derniers est régi globalement par un mécanisme d'activation où le courant anodique augmente, puis tend à se stabiliser en fonction du potentiel. Cette stabilité indique la formation d'une couche de produit de corrosion sur la surface des échantillons.

La densité de courant de corrosion de l'électrode avant fusion est de $1.79 \mu A/cm^2$ et est plus faible que celle d'après fusion $7.53 \mu A/cm^2$, indiquant une vitesse de corrosion plus faible ce qui est normal vu leur comportement différent (dissolution/passivation) les différents résultats des essais électrochimiques sont regroupés dans le tableau 2

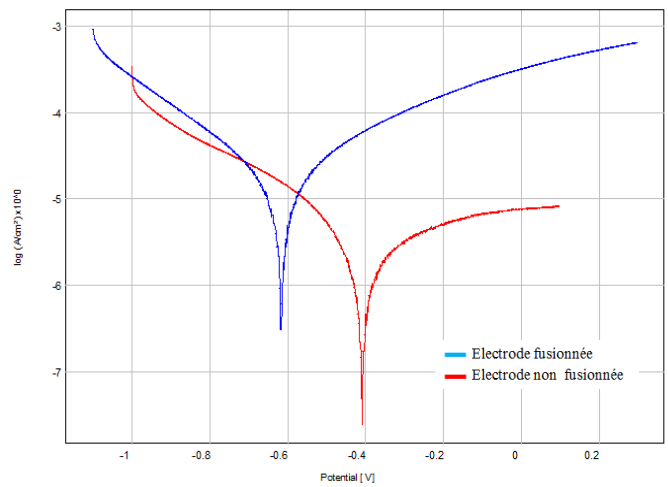


Figure 6: Superposition des courbes de Tafel de l'électrode avant et après fusion

TABEAU 2 : RESULTATS DES ESSAIS ELECTROCHIMIQUE ;

ENiCrFe-3	fusionnée	non fusionnée
E_{corr} (mV)	- 550	-100
I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	7.53	1.79
β_a (mV)	180.4	412.3
β_c (mV)	-166.2	-188.7
R_p ($\Omega.cm^2$)	3600	2370
V_{corr} ($\mu m/an$)	88.12	21.01

Afin de compléter cette étude, nous avons effectué des analyses EDS (figure 7) par Microscopie Electronique à Balayage où nous avons constaté la disparition de quelques éléments existants dans l'enrobage après fusion, nous constatons que le fer, le manganèse et le titane ont participé au bain de fusion à cause de leur températures de fusion proches de la température de travail ainsi que leur affinité avec les éléments constituant l'âme de l'électrode à savoir le nickel et le chrome (Tableau 3).

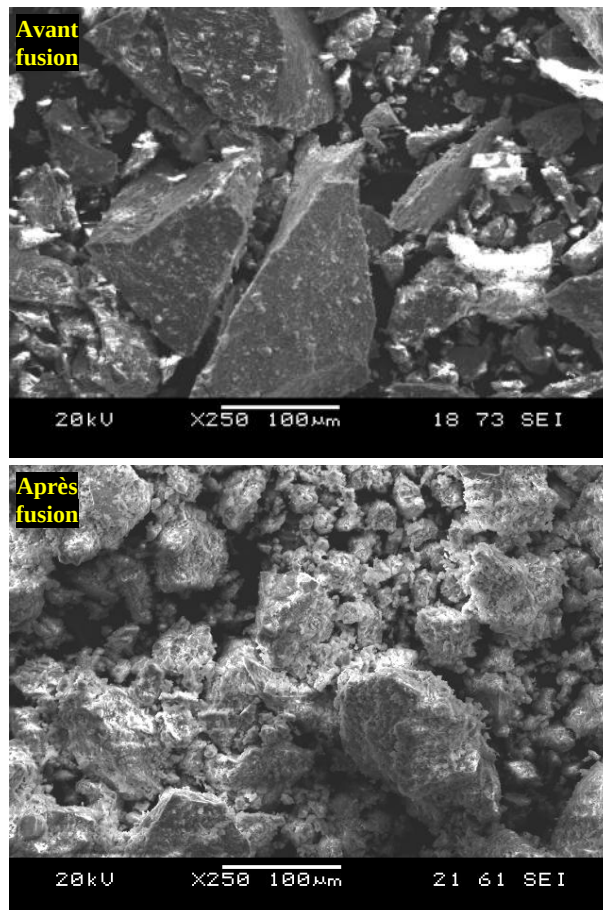


Figure 7 : micrographie au MEB de l'enrobage avant et après fusion

TABLEAU 3 : ANALYSE EDS DE L'ELECTRODE ET SON ENROBALGE AVANT ET APES FUSION.

Enrobage de l'électrode	savant fusion	Calamine
Fe	8.61	03.98
Na	3.20	01.61
Si	7.86	09.74
Ca	5.82	07.63
Ti	12.34	21.05
Cr	--	10.34
Zn	0.53	--

Metal d'apport	Avant fusion	Après fusion
c	0.1	--
Fe	10	45.01
Cr	15	10.24
Mn	8	3.70
Ni	61	40.48
Cu	0.5	--
Nb	2	--

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous tenons à présenter l'ensemble de nos constatations en se référant à la problématique exposée au départ.

D'après l'analyse métallographique l'électrode après fusion a une microstructure dendritique avec une diminution des propriétés mécanique comparée à l'électrode brute.

Les essais électrochimiques ont montré une dissolution de l'électrode fusionnée avec un courant de corrosion plus important tandis que l'électrode brute a présenté une passivation avec un courant de corrosion beaucoup plus faible. Nous concluons que l'aspect microstructural influe sur la tenue à la corrosion.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées. Fiche pratique de sécurité, ED 83.INRS, 1999
- [2] CEMEQ, Module 9, chap2, LE SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE SMAW
- [3] ASME code for pressure piping, B31 ASME B31, 3-2002 (Revision of ASME B31.3-1999)