

Étude métallurgique et électrochimique d'un multi-matériau Cr-Ni/WC-Ni obtenu par rechargement dur

Cheniti Billel^{1,2}, Yahmi Youcef¹, Miroud Djamel², Allou Djilali¹, Maamache Bouzid¹, Badi Ridha¹.

1 Welding and NDT research center CSC-Bp 64 route de daley brahim -Cheraga- Algeria.

2 Laboratoire des sciences et de génie des matériaux –LSGM- USTHB Bâb-Ezzouar Alegria

b.cheniti@csc.dz.

Résumé :

Dans le domaine pétrolier et minier, La maîtrise des opérations de forage est primordiale, elle impose des outils plus performants résistants aux conditions sévères dans leur domaine de fonctionnement. Une des techniques employée pour fabriquer des outils de forage résistants à l'érosion et à l'abrasion, est le rechargement dur d'un composite à matrice métallique (CMM) à base de carbure de tungstène, sur un acier de cimentation. Cette étude a pour objectif la caractérisation métallurgique et électrochimique d'un multi-matériau de carbure de tungstène–Nickel (WC-Ni) obtenu par rechargement dur sur un substrat métallique (Acier XC18), en utilisant une couche d'accrochage à base du Ni–Cr dans le but d'améliorer l'adhérence du système. La caractérisation microstructurale a été faite à l'aide de la microscopie optique (MO) et la microscopie électronique à balayage (MEB). Les résultats ont montré que les échantillons ayant une couche d'accrochage présentent des propriétés meilleures en termes de tenue mécanique et continuité de matière. De plus, les essais électrochimiques indiquent que l'utilisation d'un composite à matrice métallique améliore la résistance à la corrosion du rechargement dans un milieu basique agressif.

Mots clés : Rechargement dur, multi-matériau, interface, carbure de tungstène, corrosion, électrochimie.

Introduction

Le rechargement dur signifie la protection des pièces qui sont exposées à différents types d'usure pour qu'ils obtiennent une certaine résistance ou des caractéristiques spécifiques contre l'usure qui peut être appliqué par tous les procédés de soudage. La dureté élevée et la bonne adhérence du rechargement signifie une meilleure résistance à l'usure et une durée de vie plus longue [1]. Pour cette raison, l'utilisation d'une couche d'accrochage est recommandée. Pour sélectionner l'alliage de rechargement le mieux adapté ainsi que la couche d'accrochage appropriée, l'expérience a montré l'importance à connaître les conditions de travail des pièces

Le procédé le plus utilisé pour le rechargement dur est le soudage à l'électrode enrobée, Aussi connu comme Manual Metal Arc Welding (MMA), C'est un procédé universel pour le travail

sur chantier et pour toutes les positions. De plus, il couvre le plus grand nombre des métaux d'apport et il n'est pas onéreux [2]. Il y a aussi le procédé du rechargement au chalumeau oxyacétylénique utilisé dans le domaine pétrolier et minier pour fabriquer des outils de forage en corps acier. Par ailleurs, on trouve le rechargement par le procédé TIG (tungstène inert gas), l'inconvénient de ce procédé est l'apport énergétique élevé, qui produit une éventuelle décarburation des particules de WC [3], Shipway et al constate que plus les particules de carbures sont petites, plus leur dissolutions est importante, dans son travail de revêtement d'un carbure de tungstène-cobalt (WC-Co) en utilisant la projection HVOF [4].

Dans notre étude, nous avons rechargé un substrat en acier au carbone XC18 par un Composite à Matrice Métallique (CMM) à base de WC-Ni, en utilisant le procédé de soudage au chalumeau oxyacétylénique. Nous avons introduit une couche d'accrochage (Cr-Ni) afin d'avoir une bonne adhérence de rechargement avec le substrat.

La caractérisation microstructurale des interfaces ainsi formées est faite en utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie optique (MO). De plus nous avons évalué le comportement électrochimique du rechargement et du substrat en essayant de s'approcher le plus possible des conditions de fonctionnement de l'outil, pour cela nous avons effectué nos essais dans une solution de NaOH de pH égale à 11 et à température ambiante. Nous avons aussi suivi l'évolution de la dureté le long des interfaces substrat/couche d'accrochage/rechargement.

Procédure expérimentale

- Matériaux de base

La composition chimique du métal de base XC18 donnée par le fournisseur ainsi que celle de la poudre utilisée comme couche d'accrochage obtenue par analyse EDS, sont regroupées dans les tableaux ci-dessous.

TABLEAU 1. COMPOSITION CHIMIQUE DES MATERIAUX UTILISES

Elément	Fe	Ni	Cr	Mn	Si
XC18	Balance	-	-	0.30	0.15
Couche d'accrochage (MB40)	03.00	79.05	09.25	04.61	04.09

- *Opération de rechargement*

Une préparation mécanique de la surface des échantillons (sablage) est faite avant le dépôt par projection thermique à la flamme (oxyacétylénique) de la couche d'accrochage, qui est une poudre à base de Cr et Ni (MB40), cet étape (sablage) est nécessaire, elle assure un accrochage mécanique (encrage) de la couche d'accrochage.

Après avoir projeté la couche d'accrochage, Nous avons fait fusionner une baguette de carbure de tungstène–nickel par procédé SMAW sur la surface de nos échantillons (figure 1).

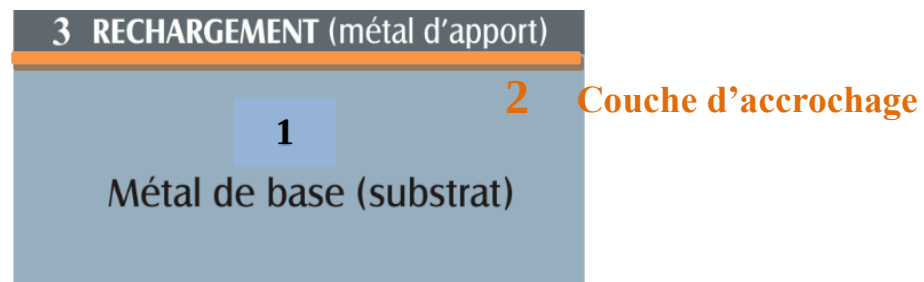


Figure 1 : Schéma montrant les compartiments des pièces finales [1].

Résultats et discussions

- *Caractérisation microstructurale.*

Le métal de base illustré sur la figure 2, révèle une structure ferrito-perlitique à prédominance ferritique en clair suite à une attaque chimique au Nital à 2%. Cependant, il est à noter qu'à fort grossissement la perlite à une forme lamellaire. Ces observations sont effectuées à l'aide d'un microscope optique de marque Nikon ECLIPSE LV100D-U,

Dans le but d'avoir la dureté moyenne de l'acier XC18 avant l'opération du rechargement, nous avons effectué plusieurs mesures à l'aide d'un duromètre Vickers de marque INNOVATEST 9000 avec une charge de 10 kg (HV10). La valeur moyenne de la dureté de l'acier est de 185 HV10. Cette valeur sera ultérieurement reprise comme référence dans l'analyse des profils de dureté des échantillons rechargés

Pour le rechargement (figure 3) ; nous constatons que la matrice en Ni à une structure dendritique orientée. De plus, nous avons la présence des particules de formes sphériques et irrégulières. La dureté moyenne du rechargement (matrice) est de l'ordre 320 à 350 HV10.

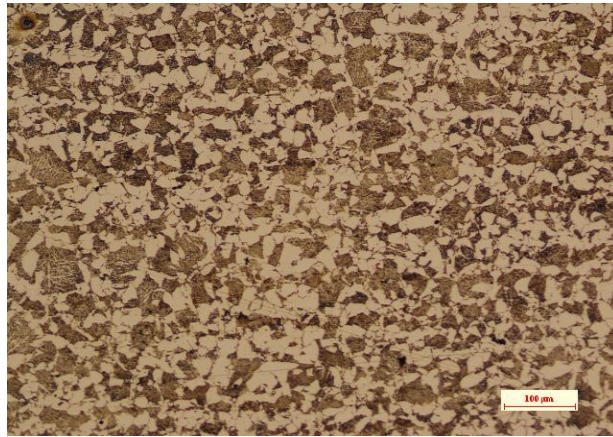


Figure 2 : Micrographie optique de l'acier XC18 montrant la microstructure ferrito-perlitique.

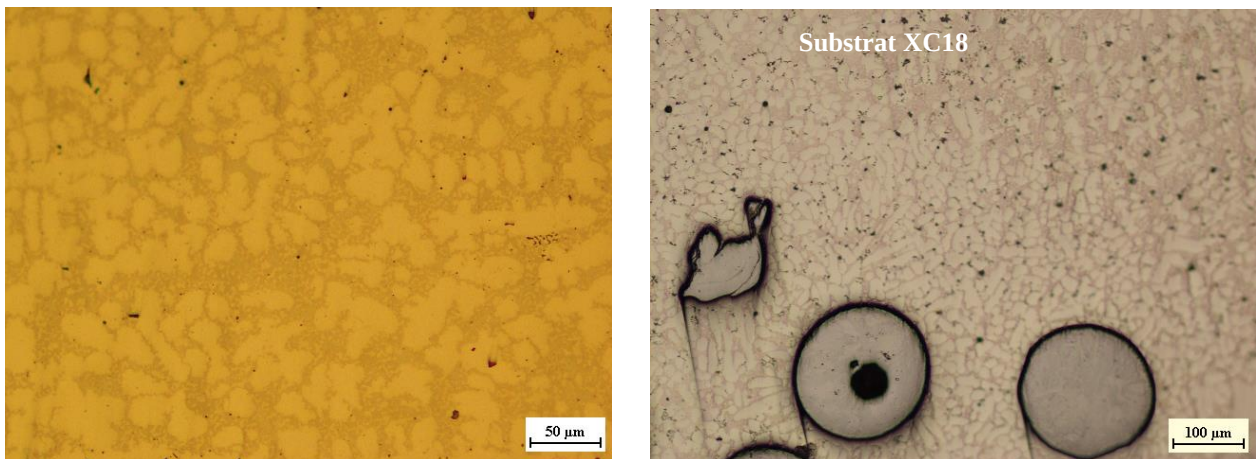


Figure 3 : Micrographie optique de la matrice en nickel avec une structure dendritique contenant des particules du WC.

L'interface obtenue après rechargement en utilisant la couche d'accrochage est illustrée sur la figure 4 ceci en utilisant la microscopie électronique (MEB). Nous remarquons la structure dendritique de la matrice en Ni ou les dendrites sont orienté dans le sens de refroidissement, Par ailleurs, nous constatons la présence des particules de WC en clair.

Pour la couche d'accrochage (MB40), elle est de l'ordre de 10 à 30 μm , nous constatons ainsi une éventuelle dissolution et une inter-diffusion vers le rechargement, engendrant ainsi, une variation de la dureté au voisinage de l'interface.

La Figure 5 montre une particule de WC obtenue après rechargement, elle révèle une décarburation partielle du carbure de tungstène qui peut être causée par la température élevée atteinte lors du procédé de rechargement [3].

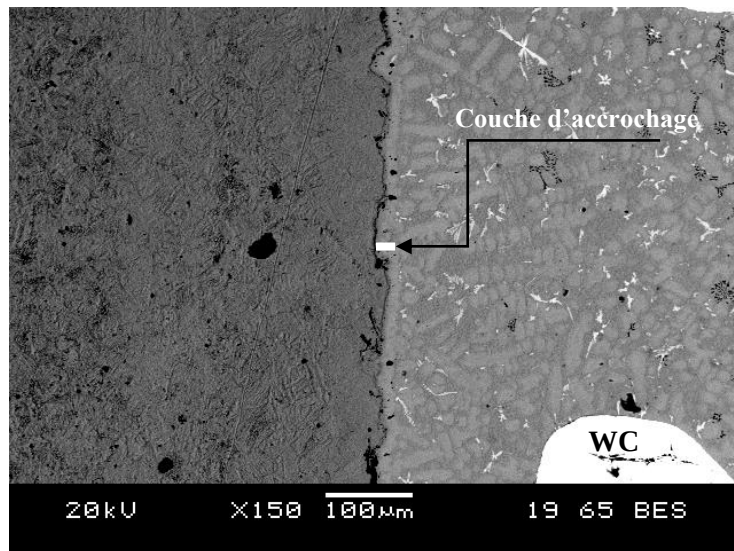


Figure 4 : Micrographie prise au MEB de l'interface montrant la couche d'accrochage MB40 entre le substrat et le rechargement. .

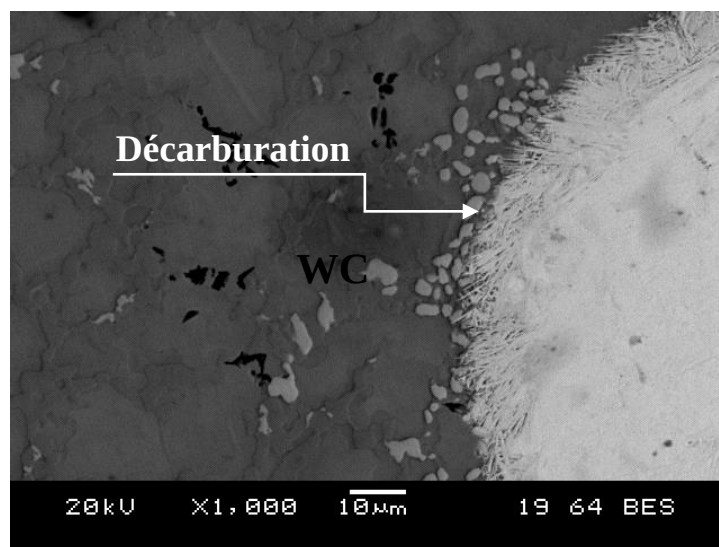


Figure 5 : Micrographie prise par le MEB montrant l'interface décarburée d'une particule de WC après le procédé de rechargement.

- Résultats de la micro-dureté

Les mesures de la micro-dureté ont été réalisées avec un micro-duromètre type BUEHLER LTD, sous une charge de 300g (temps d'application 10 s), suite à une série d'indentation sur les différentes zones des échantillons rechargés, particulièrement au niveau des interfaces

(acier/couche d'accrochage/rechargement) dans le but de voir les éventuelles interactions entre l'acier et Le rechargement et l'effet de la couche d'accrochage utilisée. Plusieurs essais ont été effectués afin d'obtenir une valeur moyenne. Les résultats sont regroupés dans le graphe ci-dessous.

Le profil de l'évolution de la dureté a une allure ascendante pour l'échantillon avec et sans couche d'accrochage, la valeur minimale (180 HV0.3) est enregistrée au niveau du métal de base (substrat) pour les deux échantillons. Plus en avance vers l'interface, nous constatons la présence des fluctuations causées par la ZAT, un pic indiquant la présence de la ZAT à grains fins, suivi d'une zone à proximité de rechargement constituée des gros grains. D'où la diminution de la dureté. Puis, en allant vers l'interface, la dureté atteint 280 voire 300 HV0.3 pour l'échantillon sans couche d'accrochage, ou elle se stabilise au rechargement à 330 HV0.3, En revanche, pour l'échantillon avec couche d'accrochage, nous constatons une légère baisse de la dureté à l'interface, ceci peut-être causée par la diffusion des éléments de la MB40 (couche d'accrochage) envers l'acier dû à l'apport de chaleur lors de l'opération de rechargement.

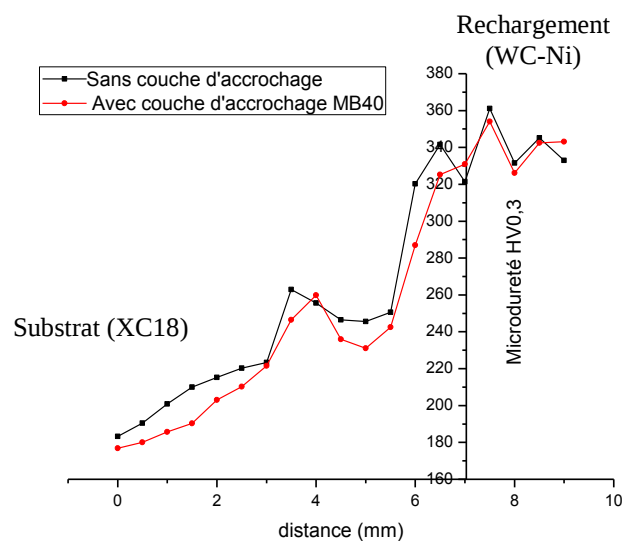


Figure 6 : Profil de micro dureté HV0.3 le long des interfaces des échantillons avec et sans couche d'accrochage.

- Résultats des essais électrochimiques :

La figure ci-dessous présente l'évolution du potentiel libre de corrosion de l'acier XC18 et de rechargement WC-Ni en fonction du temps dans une solution basique de NaOH de pH=11. Nous constatons que la valeur du potentiel libre de XC18 se dirige vers des domaines positifs devenant de moins en moins actif jusqu'il se stabilise. Ceci indique la formation d'une couche passive stable ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) protégeant l'acier. En revanche, le potentiel libre de WC-Ni se dirige vers des valeurs négatives indiquant ainsi la formation d'un film instable sur la surface de l'échantillon WC-Ni d'où une dissolution jusqu'à -395 mV ou il demeure stable.

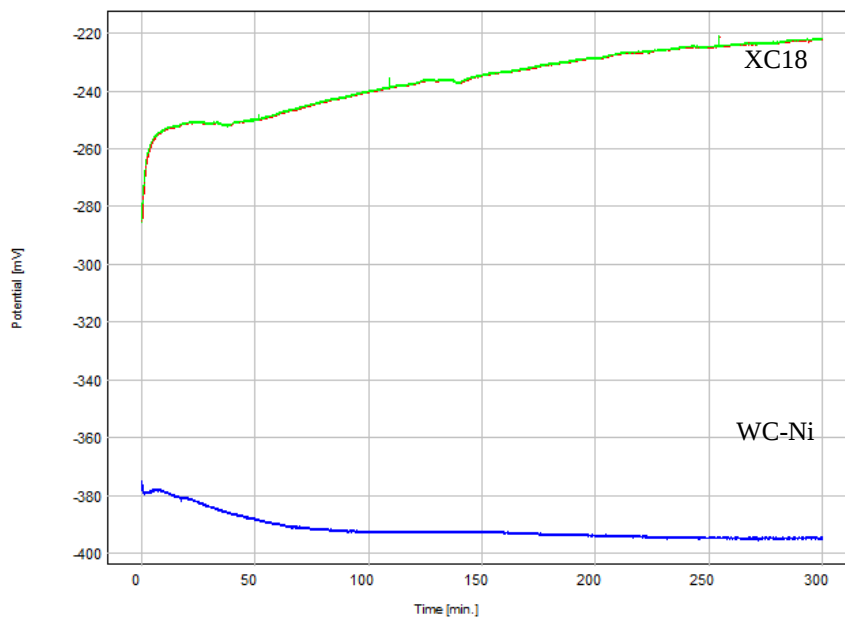


Figure 7 : courbes de potentiel libre des échantillons XC18 et WC-Ni.

Les résultats Potentiodynamiques sont illustrés sur la figure 8 ci-dessous, la noblesse du nickel par rapport au fer, rend la résistance de WC-Ni vis-à-vis la corrosion meilleure que celle de XC18. La courbe potentiodynamique de XC18 présente un comportement passif de l'échantillon ou la présence de la bosse dans la branche anodique indique probablement la formation de la couche passive de l'hydroxyde de fer ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) protégeant l'acier. La densité du courant de corrosion est de l'ordre de $7.4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ avec une résistance de $7.9 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$. Par ailleurs, le rechargement WC-Ni présente un comportement actif de corrosion dont la densité du courant est $6.11 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ avec une résistance de $9 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$. Nous remarquons que la résistance du rechargement vis-à-vis la corrosion est bel et bien meilleure que celle du substrat, avec une faible vitesse de corrosion traduite par un faible courant de corrosion.

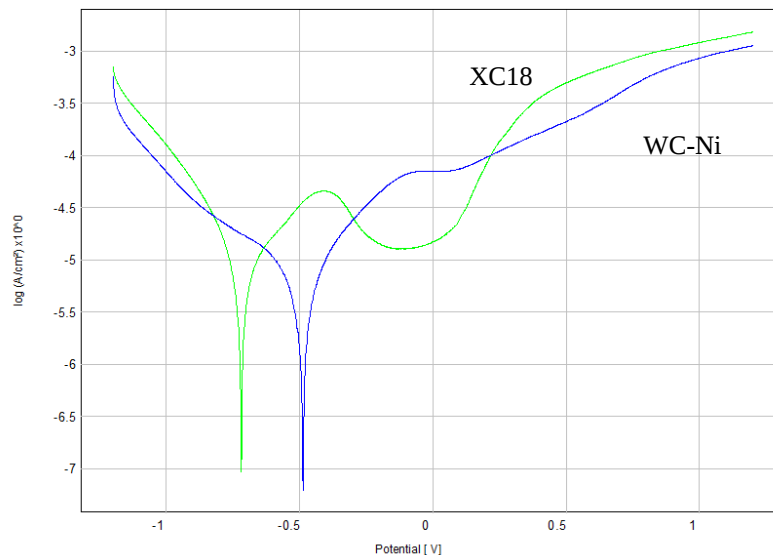


Figure 8 : courbes potentiodynamiques des échantillons XC18 et WC-Ni

Conclusion

Se basant sur les résultats microstructuraux, mécaniques et électrochimiques trouvés, nous pouvons conclure :

- Le comportement mécanique des échantillons ayant une couche d'accrochage est meilleur en termes de dureté et continuité de matière.
- Nous avons constaté une petite baisse de dureté le long des interfaces des échantillons ayant une couche d'accrochage, traduite par une baisse des contraintes.
- La température atteinte lors du rechargement a causé une décarburation partielle des particules du WC
- Les essais électrochimiques nous ont permis d'évaluer le comportement de l'acier et du rechargement dans un milieu de NaOH de pH = 11. La résistance de ce dernier vis-à-vis la corrosion est meilleure que celle du substrat, avec une faible vitesse de corrosion.

Références :

- [1] D. allou 'Élaboration et caractérisation d'un Bi-Matériau AIS 4130- ENiCrFe-3 obtenu par rechargement . Application : vanne d'obturation de tête de puits de pétrole ', Thèse de magister , LSGM USTHB. Algeria . 2014.
- [2] GRM 'Revêtements anti-usure pour une plus longue durée de vie, Guide de la Réparation et Maintenance par Soudage, ESAB, 2e édition, 2003, pp 3-39.
- [3] S. Buytoz, M. Ulutan, and M. M. Yildirim, "Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings," Applied Surface Science, vol. 252, pp. 1313–1323, 2005.
- [4] Shipway, P.H., McCartney, D.G., Sudaprasert, T., 2005. Sliding wear behaviour of conventional and nanostructured HVOF sprayed WC–Co coatings. Wear 259, 820–827