

## Soudage par explosion thermique sous charge de cermet poreux à base de TiC-Ni sur substrat en acier-comportement tribologique

### Welding of porous TiC–Ni based cermets on substrate steel by thermal explosion under load-tribological behaviour

Samia Lemboub, Said Boudebane et L'hadi Atoui

Département et Laboratoire de Métallurgie et Génie des Matériaux, Université Badji Mokhtar Annaba, BP. 12, Annaba 23000, Algérie

**Abstract.** Porous TiC-Ni based cermets were obtained by dispersion of carbides, oxides or borides particles in a nickel matrix thanks to the thermal explosion technique realized under a load of 20 MPa. The combustion of active mixtures (Ti-C-Ni- $A_n$  where  $A_n = Al_2O_3, MgO, SiC, TiB_2$  or WC) based on the titanium carbide reaction synthesis ( $\Delta H_f = -184$  kJ/mol), generates porous complex cermets. After the thermal explosion, a short maintenance under load at 1373 K of the combustion product, allows at the same time the cermets welding on a carbon steel substrate. The obtained cermets under these conditions preserve a porosity of about 25–35%. The relative density, hardness and tribological behaviour of the complex cermets depend on the additions nature ( $A_n$ ) in the starting mixtures.

**Résumé.** Dans ce travail, nous nous intéressons à l'élaboration de cermet à base de TiC-Ni par dispersion de particules de carbures, oxydes ou borures dans une matrice de nickel, grâce à la technique de l'explosion thermique sous une charge de 20 MPa. La combustion de mélanges actifs (Ti-C-Ni- $A_n$  où  $A_n = Al_2O_3, MgO, SiC, TiB_2, WC$ ), basée sur la réaction de synthèse de TiC ( $\Delta H_{f298K} = -184$  kJ/mole), génère des cermets complexes. Un court maintien sous charge du cermet à 1373 K, après l'explosion thermique, permet son soudage sur un substrat en acier XC55. Les cermets obtenus dans ces conditions demeurent poreux et conservent une porosité de l'ordre de 25–35 %. La densité relative du cermet, sa dureté et son comportement tribologique, dépendront de la nature de l'addition dans les mélanges de départ.

## INTRODUCTION

La dispersion de particules céramiques dans une matrice métallique est souvent utilisée pour l'obtention de matériaux sollicités à l'usure [1]. On a alors recours au frittage en phase liquide ou sous charge, de mélanges de poudres (constituant dur et du liant), préalablement compactés à froid [2]. La combustion auto-propagée offre une nouvelle variante d'élaboration de ces matériaux. Réalisée sous charge, la combustion en mode explosion thermique permet d'associer la formation du carbure de titane à la densification du cermet [3]. L'opération peut être réalisée aussi sur un substrat en acier ce qui assure simultanément l'assemblage du cermet et de l'acier.

## MATÉRIAUX ET TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

Chaque échantillon est constitué de carbure de titane (constituant dur) et du nickel (liant métallique). Des additions complexes (carbures, oxydes, borures) ont été également introduites dans la charge de départ.

Composition en poids de l'échantillon:

$$90 \%B + 10 \%(A_n)$$

Base du cermet : B = 60 %(Ti + C) + 40 %Ni Additions :

$A_n$  avec n = 0 (sans addition), 1 (+  $Al_2O_3$ ), 2 (+ MgO), 3 (+ SiC), 4 (+  $TiB_2$ ), 5 (+ WC)

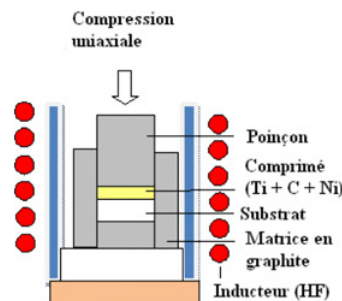
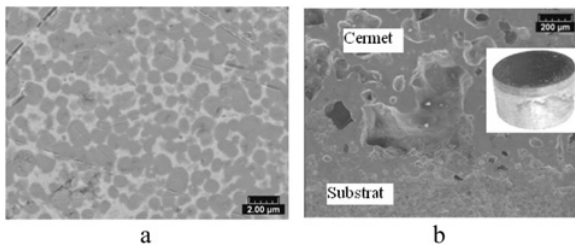


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental.

Après dosage et homogénéisation des mélanges actifs, des échantillons de diamètre 13 mm et hauteur 3 mm ont été confectionnés par compression uniaxiale à froid. La procédure de réalisation de la combustion des échantillons est décrite par la Figure 1.

Le comprimé est chauffé par haute fréquence (13 K/s) sous flux d'argon jusqu'à l'amorçage de l'explosion thermique, un effort de compression est alors appliqué à l'ensemble comprimé-substrat. Un maintien isotherme (1373 K) est assuré pendant 600–900 s.

Différentes techniques telles que la DRX, l'analyse métallographique, la microscopie à balayage, les mesures de densité et de dureté Vickers ainsi que les tests d'usure, ont été utilisées pour caractériser le produit de la combustion.



**Figure 2.** a) Micrographie au MEB de l'échantillon  $E_0$ . b) Image MEB en rétrodiffusion du cermet  $E_0$  et vue générale de l'échantillon.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Densité des cermets

Le produit de la combustion réalisée dans ces conditions expérimentales demeure poreux. La densité relative est de l'ordre de 70 % dans le cas de l'échantillon contenant  $TiB_2$  contre seulement 55 % pour l'échantillon de base (sans addition). Les ajouts dans le mélange de départ améliorent la densité du matériau après combustion-compression.

### Résultats de diffraction X

Les résultats de l'analyse par diffraction des rayons X ont confirmé le déroulement de la réaction exothermique et la formation de  $TiC$ . D'autres phases, particulièrement des intermétalliques de type Ni-Ti, issues de l'interaction entre le titane et le nickel, ont été mises en évidence. La présence de l'intermétallique NiAl montre que la température générée par le pic exothermique dépasse les 1973 K et engendre une réduction partielle de l'alumine par le graphite contenu dans le mélange actif. Du fait des mêmes conditions de température, on note aussi, la formation des composés complexes et  $MgAl_2O_4$  et  $Ti_3SiC_2$  respectivement pour les compositions  $E_2$  et  $E_3$ . Des pics de faible intensité d'oxydes de titane et de graphite libre ont été identifiés sur l'ensemble des spectres de diffraction.

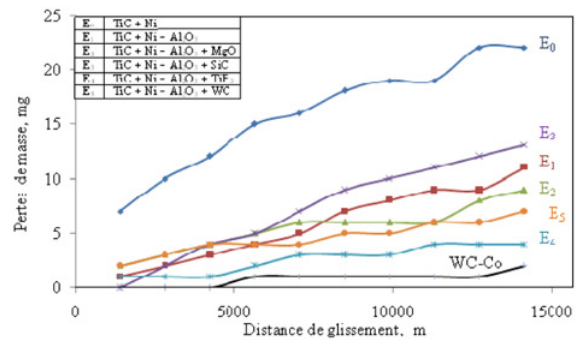
### Analyse métallographique

Les investigations au microscope à balayage ont révélé que la microstructure des cermets est formée principalement du carbure de titane dispersé dans une matrice de nickel (Fig. 2a).

La présence d'autres composés modifie la morphologie du cermet, comme l'apparition de réseau de particules de  $TiC$  ( $E_2$ ) ou de ségrégation de l'alumine, phénomène lié à la mauvaise mouillabilité de l'alumine par le nickel liquide. Dans tous les cas, le cermet demeure poreux (Fig. 2b).

### Dureté

Les mesures de microdureté prises dans la masse métallique des cermets ont révélé une grande dispersion des résultats, selon que l'empreinte est faite dans la phase dure, dans le liant métallique ou à proximité immédiate d'un pore. Les valeurs minimales de la microdureté  $H_{\mu}$



**Figure 3.** Courbes des pertes de masse des cermets lors du test d'usure en contact linéaire.

oscillent entre 2500 et 5500 MPa pour l'ensemble des compositions, par contre, les valeurs maximales dépassent localement 30000 MPa, comme dans le cas de l'ajout du carbure de tungstène ( $E_5$ ).

### Comportement tribologique des cermets

Les résultats des tests tribologiques (Fig. 3) ont montré que l'ampleur et le caractère de l'usure en contact plan ou linéaire, dans des conditions sévères ou modérées, dépendront essentiellement de la nature des phases dispersées et de la porosité du matériau. La dégradation de la surface des cermets se fait selon plusieurs mécanismes et passe de l'écaillage-fissuration de la matrice métallique à l'usure par abrasion (cas des carbures) ou au détachement des particules (cas des oxydes), selon le degré de mouillabilité des phases dures par le nickel liquide durant le pic exothermique. Une porosité résiduelle modérée peut réduire sensiblement les effets du troisième corps par piégeage des particules de ce dernier dans les pores.

Pour toutes les compositions étudiées, le coefficient de frottement évolue en fonction de la distance de glissement mais ne dépasse guère 0,3. La présence du graphite libre dans la structure du produit final de la combustion peut jouer le rôle de lubrifiant et réduire ainsi le frottement.

Aucun décollement du cermet n'a été observé durant les essais d'usure, ce qui atteste de la bonne adhérence du cermet au substrat métallique.

### Références

- [1] E.A. Levashov, E.S. Mishina, O.V. Melochkin, D.V. Shtansky, J.J. Moore, M.I. Fadeev, Structure and properties of dispersion-strengthened with nanosized particles refractory hard material TiC-Ni-alloy, Science and tech. of advanced materials 4 (2003) 221–228.
- [2] Hwan-Cheol Kim, In-Jin Shon, Jin-Kook Yoon, Jung-Mann Doh, Z. A. Munir, Rapid sintering of ultrafine WC-Ni cermets, Int. Journal of Ref. Metals and Hard Mat. 24 (2006) 427–431.
- [3] S. Boudebane, S. Lemboub, S. Graini, Effect of binder content on relative density, microstructure and properties of complex cemented carbides obtained by thermal explosion-pressing, Journal of alloys and compounds 487 (2009) 253–242.