



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 15598

To link to this article :

URL : <http://www.sfgp.asso.fr/publications/collection-recents-progres-en-genie-des-procedes/>

To cite this version : Ther, Olivier and Colin, Christophe and Yahiaoui, Malik and Paris, Jean-Yves and Denape, Jean and Gerbaud, Laurent and Dourfaye, Alfazazi *Elaboration de carbures cimentés à gradient de propriétés par imbibition réactive : Application aux inserts d'outils tricône pour le forage pétrolier et minier*. (2015) Récents Progrès en Génie des Procédés, vol. 107. pp. 1-9. ISSN 1775-335X

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Elaboration de carbures cémentés à gradient de propriétés par imbibition réactive : Application aux inserts d'outils tricône pour le forage pétrolier et minier

Ther Olivier^{a,b*}, Colin Christophe^b, Yahiaoui Malik^c, Paris Jean-Yves^c, Denape Jean^c, Gerbaud Laurent^d et Ourfaye Alfazazi^a

^aVarel Europe
14 Rue Gaillon, 75002 Paris

^bCentre des Matériaux – Mines ParisTech
10 rue Henri-Auguste Desbrières, 91003 Evry Cedex

^cUniversité de Toulouse, Laboratoire Génie de Production
47 Avenue d'Azereix, 65000 Tarbes

^dCentre de Géosciences – Mines ParisTech
35 rue Saint Honoré, 77300 Fontainebleau

Résumé

La gradation de carbure cémenté par le procédé d'imbibition réactive permet la génération d'importants gradients de dureté dans le volume de la pièce de l'ordre de plusieurs centaines de HV sur des dizaines de millimètres. Il devient alors tout à fait possible de surmonter la limitation imposée par l'antagonisme entre la dureté et la ténacité et donc de proposer des matériaux conçus pour des applications très abrasives et présentant de fortes sollicitations à l'impact.

La nuance initiale du matériau à graduer est le premier élément à prendre en compte pour l'imbibition réactive. Elle a en effet une forte influence sur les mécanismes d'imbibition et de revêtement réactif prenant place. Il est donc nécessaire d'adapter les cycles temps-température de traitement ainsi que les quantités de matériau d'apport et de revêtement en fonction du matériau de départ et du gradient recherché.

Des essais d'abrasion et de résistance aux chocs ont permis de démontrer la validité du concept avec un doublement à la fois de la résistance à l'abrasion et à l'impact de l'insert gradué par rapport au même carbure cémenté non traité.

Mots-clés : Carbure cémenté, matériau à gradient de composition, imbibition réactive, outils de forage

1. Introduction

Les carbures cémentés sont très utilisés dans l'industrie du forage pétrolier et minier, et dans l'usinage en tant que pièces résistantes à l'abrasion et à l'impact. En effet, ces matériaux possèdent un excellent compromis entre dureté et ténacité. Cependant, des conditions de plus en plus sévères, comme le forage profond pour l'industrie pétrolière ou la haute température pour la géothermie, rendent nécessaire le développement de tels matériaux encore plus performants. Ils doivent être à la fois plus tenaces mais également résister à des usures abrasives toujours plus intenses.

Afin d'améliorer conjointement ces deux propriétés antagonistes, l'idée la plus simple est de conserver les mêmes constituants dont les propriétés intrinsèques restent intéressantes puis d'introduire dans ce matériau un gradient de composition, *i.e.* un gradient de phase liante.

Le procédé d'imbibition réactive permet l'élaboration de carbures cémentés à gradient de composition sur des distances supérieures à la dizaine de millimètres. Ce procédé fait intervenir simultanément deux mécanismes de gradation, combinant l'imbibition et l'effet d'un revêtement réactif.

* Auteur/s à qui la correspondance devrait être adressée : other@varelintl.com

- L'imbibition permet l'enrichissement graduel en phase liante du cœur d'une pièce en carbure cémenté dense (Lisovsky *et al.*, 1972).
- Le rôle du revêtement réactif consiste à durcir graduellement la surface de ce même matériau à l'aide d'une fine précipitation de borures ternaires, aux dépens de la phase liante et des carbures cémentés sur des profondeurs millimétriques (Sorlier, 2009).

Il est donc essentiel de maîtriser et comprendre ces deux procédés afin de choisir le matériau de départ adéquat ainsi que le cycle de traitement à utiliser.

Nous allons dans cette étude aborder les différents paramètres d'élaboration à prendre en compte ainsi que les bénéfices apportés par la gradation sur la tenue à l'abrasion et à l'impact d'insert en carbure de tungstène à liant cobalt WC-Co.

1.1 Imbibition

L'imbibition correspond à une migration de liquide provenant d'un réservoir (matériau d'apport qui est un cru de composition Co65) dans un système bi-phasé (solide/liquide), l'état solide/liquide étant atteint à haute température. Ce phénomène est différent d'un mécanisme de diffusion car le liquide migrant a une composition identique au liquide présent dans le matériau à graduer. L'imbibition est également différente du procédé d'infiltration qui implique un système triphasé (solide/liquide/gaz). D'après (Lisovsky, 1972), trois conditions sont nécessaires pour qu'un système biphasé présente un phénomène d'imbibition :

- un bon mouillage des grains du solide par le liquide,
- une dissolution partielle des grains du solide dans le liquide,
- le système doit présenter une absence d'angle dièdre d'équilibre $\gamma_{ss}/\gamma_{sl} > 2$.

Dans le cas où le rapport entre l'énergie interfaciale solide-solide sur solide-liquide est grand (supérieur à 2), la pénétration du liquide dans les joints de grains est possible car plus favorable énergétiquement pour le système.

Dans le procédé d'imbibition, la phase liquide en contact avec le carbure cémenté complètement dense s'écoule à travers les canaux de liquide de phase liante formés par les grains de WC. Il s'opère alors une reconstruction complète du squelette de WC au cours de la migration du liquide. Park *et al.* (1985) traitent ce phénomène en déterminant les configurations de minimisation de l'énergie solide-liquide par la variation l'angle dièdre du système solide-liquide et la teneur en liquide. Une approche similaire est utilisée par Delannay *et al.* (2005) qui expriment la variation de la force motrice de l'absorption du liquide par le système solide-liquide comme une fonction de la fraction volumique de liquide U et le nombre de coordination, n_c . Cependant, le murissement d'Ostwald avec une modification de la forme des grains, sans nécessairement un grossissement de grains, n'est pas une condition essentielle à la migration de liquide pendant le procédé d'imbibition (Sorlier, 2009). Par ailleurs, Colin indique que la force motrice de la migration du liquide dans la carbure cémenté complètement dense est la réduction de l'énergie interfaciale par accommodation de la forme des grains de WC (Colin *et al.*, 1996 ; Colin, 2007). Dans ce cas, les auteurs utilisent des temps de traitement de plusieurs heures pour l'assemblage de différentes nuances de WC-Co, ce qui permet l'accommodation de la forme des grains.

Généralement, les particules de WC ont une énergie interfaciales solide-liquide anisotrope. Le système atteint son minimum d'énergie pour une quantité de phase liante donnée qui lui permet d'adopter sa configuration d'équilibre. Tant que cette quantité de liquide n'est pas atteinte, une pression de migration existe dans le système. L'expression phénoménologique de cette pression de migration P_{mig} (MPa) établie par Lisovsky est :

$$P_{mig} = \frac{0,848}{d_{WC}} \left[\left(\frac{1-U}{U} \right)^{1/3} - 1,41U \right] \quad (1)$$

Dans laquelle U représente la fraction de liquide et d_{WC} (μm) la taille moyenne des grains de WC. Cette équation prédit que la pression de migration augmente lorsque la taille de grain et la fraction volumique de liquide diminue. La pression de migration devient nulle pour une fraction de liquide $U_m = 0,61$ qui correspond à une fraction massique de 32 % de Co. Ainsi, il n'est pas possible d'enrichir un WC-Co au-delà de 30 % en poids de Co.

1.2 Revêtement réactif

Le revêtement réactif correspond à la réaction entre un dépôt de nitrure de bore BN, déposé sur la surface de la pièce à graduer (Figure 1a), et sa phase liante à l'état liquide. Le BN est ensuite déstabilisé lors du passage à l'état liquide de la phase liante du WC-Co (Figure 1b). D'après Sorlier, cette déstabilisation entraîne la diffusion du bore dans le carbure cémenté à travers les canaux de liquide (Sorlier, 2009). Quand la teneur en bore dans la phase liante atteint sa limite de solubilité, la précipitation de borures de type WCoB prend place (Figure 1c). Sorlier ajoute que cette précipitation entraîne un excès de C dans le liquide qui diffuse alors de la surface vers le cœur entraînant par conséquent une migration de Co dans la même direction de façon analogue au procédé DP carbides. Cependant, dans nos cas, aucune phase graphite ou η -Co₃W₃C n'ont été détectée.

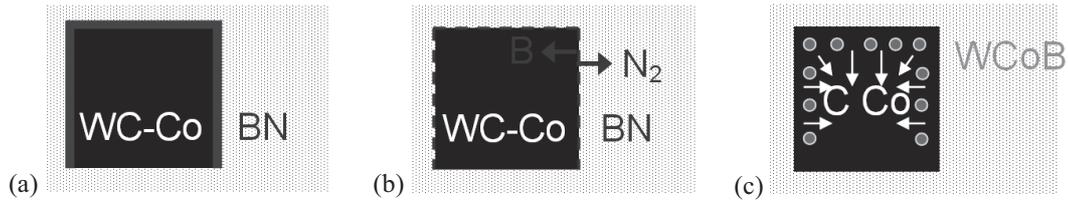


Figure 1. Mécanisme réactionnel du revêtement réactif proposé par (Sorlier, 2009)

2. Dispositif expérimental

2.1 Matériaux et élaboration

Les inserts WC-Co utilisés dans cette étude sont des inserts commerciaux frittés denses sous forme de cylindres tronconiques (Figure 2a).

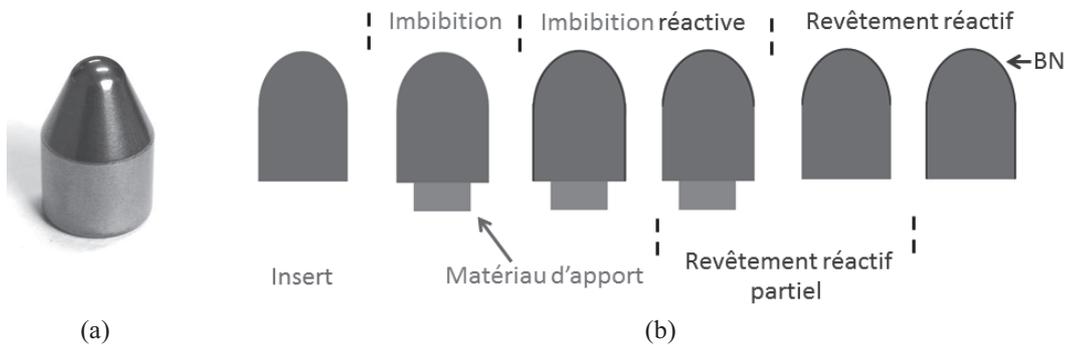


Figure 2. Photographie d'un insert tricône de géométrie considérée (a), schéma récapitulatif des différents procédés utilisés (b)

Les nuances étudiées, notées P1 et P2, sont définies telles que $d_{WC1} < d_{WC2}$ et $2X_{Co1} = X_{Co2}$ où d_{WC} est la taille moyenne des grains de WC et X_{Co} la teneur massique moyenne de Co.

Les traitements de gradation, imbibition, revêtement réactif ou imbibition réactive (Figure 2b) sont effectués à une température $T > T_s$ où T_s représente la température de solidus de la phase liante du carbure cémenté. Deux températures de traitement sont considérées telles que $T_2 > T_1 > T_s$. Le temps passé à l'état liquide t , c'est-à-dire lorsque $T > T_s$, est de l'ordre de quelques minutes. La durée des traitements varie entre t_1 et t_5 avec $t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5$. Les traitements thermiques sont réalisés sous atmosphère Ar-5vol.% H₂.

Pour les traitements d'imbibition et imbibition réactive, le matériau d'apport Co65 est de composition eutectique, à savoir possède 65 % en poids de Co et 35 % de WC, et est sous la forme d'un compact de poudres de masse m avec $m_1 < m_2$.

Enfin pour les traitements de revêtement réactif et d'imbibition réactive, le BN est déposé de façon uniforme sur la surface de l'insert par spray. La quantité de revêtement est définie par une masse surfacique fixe $M_{S_{BN}}$.

2.2 Evaluation des gradients et tests mécaniques

Les traitements considérés n'entraînant pas de grossissement notable des grains de WC, les gradients de duretés générés dans les inserts sont évalués par micro-indentations sur l'axe de révolution. Les inserts sont donc préalablement découpés par électro-érosion puis polis au diamant jusqu'à $1\ \mu\text{m}$.

Le test de durée de vie à l'abrasion a été effectué au LGP ENIT à l'aide d'un tribomètre rotatif (Figure 3a). L'essai a été mis en place avec une charge nominale fixée à 264 N, pour un temps d'essai d'une heure, à une vitesse de $0,5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ sur une contreface en alumine dense et homogène. La résistance à l'usure est évaluée à l'aide du volume d'insert perdu durant le test (Yahiaoui 2015).

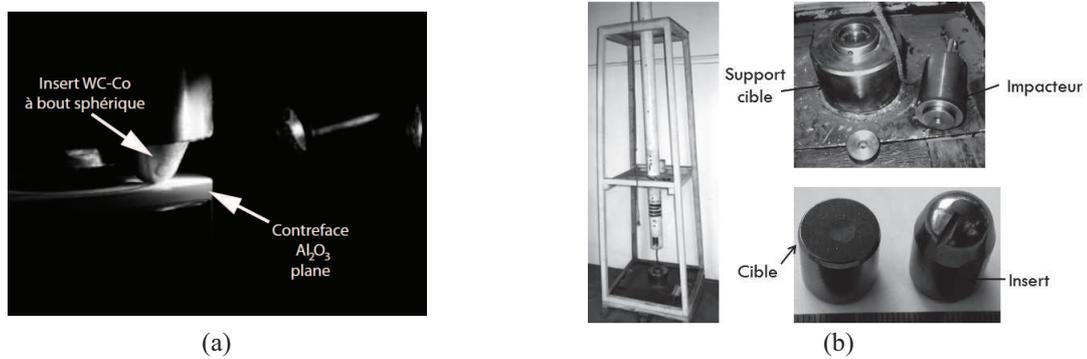


Figure 3. Tribomètre rotatif - Laboratoire Génie de Production de l'ENI Tarbes (a),
Installation de test à l'impact - Varel International (b)

Le test de résistance à l'impact consiste à impacter une cible cylindrique en carbure cémenté de nuance P2 non traité par l'insert à tester (Figure 3b). L'énergie d'un impact est estimée à environ 10 J. La résistance à l'impact correspond au nombre d'impacts subi par l'insert sans présenter de fissuration. Ce résultat est normalisé par la résistance maximale mesurée.

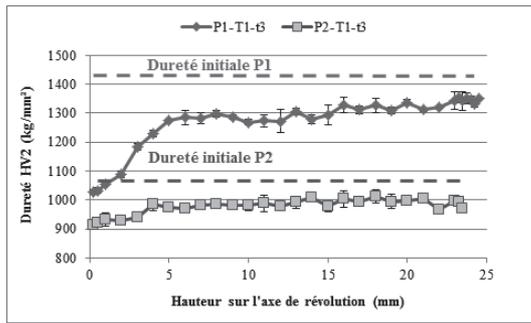
3. Résultats

3.1 Effet des paramètres des traitements de gradation sur le gradient généré

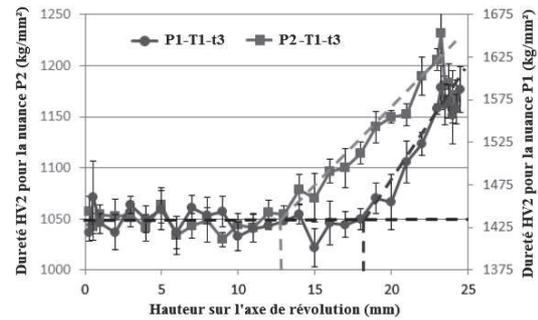
Les différents paramètres pris en compte lors de la gradation des inserts sont les suivants :

- la nuance de l'insert à graduer,
- le cycle température-temps,
- la quantité de matériau d'apport disponible,
- la quantité de revêtement BN.

La figure 4 montre une forte dépendance du gradient obtenu à la nuance de l'insert de départ.



(a) I

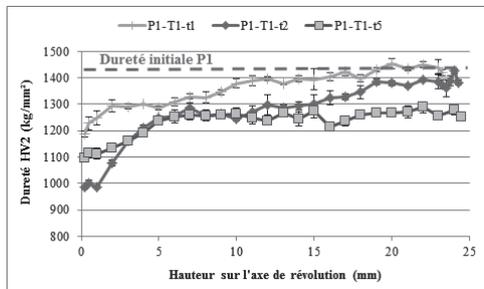


(b) RR

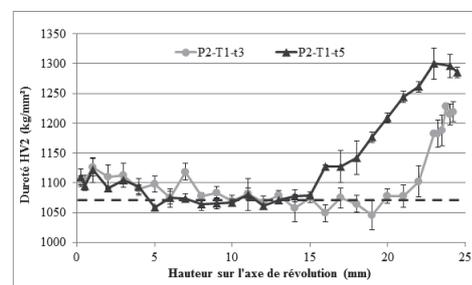
Figure 4. Evolution de la dureté sur l'axe de révolution de l'insert pour les nuances P1 et P2 lors d'un traitement de gradation pour imbibition (I) pour un matériau d'apport de masse m_2 , un temps de traitements t_3 à une température T_1 (a), Evolution de la dureté sur l'axe de révolution de l'insert pour les nuances P1 et P2 lors d'un traitement de gradation par revêtement réactif (RR) pour une quantité de revêtement de BN fixe M_s et un temps de traitements t_3 à une température T_1 (b).

Dans le cas de l'imbibition, pour des conditions de traitement identiques (température T_1 , temps de traitement t_3 et une masse de matériau d'apport m_2) l'amplitude du gradient généré diminue avec la taille de grain et la teneur en Co (Figure 4a). Ces observations traduisent une migration de liquide plus rapide lorsque la taille des grains augmente causant dans le cas de la nuance P2 une homogénéisation prématurée du gradient. Ceci est en parfait accord avec les résultats de Favrot montrant une vitesse de migration plus importante pour les nuances WC-Co à gros grains (Favrot, 1995).

Dans le cas du traitement de gradation par revêtement réactif (Figure 4b) la profondeur de migration augmente, passant de 6 à 12 mm pour respectivement les nuances P1 et P2, avec l'augmentation du libre parcours moyen, respectivement 0,4 et 1,1 μm , c'est-à-dire avec la teneur en Co et la taille moyenne de grains. Ce résultat est en adéquation avec le mécanisme de diffusion du bore dans la phase liante liquide.



(a) I



(b) RR

Figure 5. Evolution de la dureté sur l'axe de révolution de l'insert lors d'un traitement de gradation pour imbibition (I) pour un matériau d'apport de masse m_2 et pour des temps de traitements t_1 , t_2 et t_5 (a), Evolution de la dureté sur l'axe de révolution de l'insert lors d'un traitement de gradation par revêtement réactif (RR) pour une quantité de revêtement de BN fixe M_s et pour des temps de traitements t_3 et t_5 (b).

La figure 5 présente l'effet du cycle thermique sur le gradient généré. Dans le cas du procédé d'imbibition (Figure 5a), pour des temps passés à l'état liquide courts (inférieurs à t_2), il est observé une augmentation de l'amplitude du gradient consécutif à un enrichissement en phase liante de l'insert. La phase liante additionnelle provenant du matériau d'apport, nous observons pour des temps longs (t_5), une homogénéisation du gradient. Cette étape prend place après l'épuisement du matériau d'apport.

Dans le cas du procédé de gradation par revêtement réactif (Figure 5b), la profondeur de migration augmente avec le temps passé à l'état liquide (augmentation d'un temps t_3 à t_5). Ce résultat est également en accord avec le mécanisme de diffusion du bore dans la phase liquide.

3.2 Effet de la gradation sur les tests d'abrasion et d'impact

Les inserts élaborés par imbibition réactive sont ensuite testés à l'abrasion et à l'impact (Figure 6). Le traitement par imbibition réactive permet une augmentation de la résistance à l'abrasion, avec une diminution par deux du volume usé pour l'insert P2 gradué (Figure 6a). L'insert de nuance P2 atteint alors des performances proches de celle de la nuance P1 (non traité) qui possède une teneur en phase liante deux fois plus faible ainsi qu'une taille moyenne de WC plus petite. Dans le cas de traitement par revêtement réactif, la formation de phases dures au détriment de la phase liante entraîne une diminution de la résistance aux chocs (Figure 6c). Dans le cas d'inserts gradués par imbibition réactive, l'augmentation de la teneur moyenne en phase liante dans le cœur de l'insert permet une augmentation de la résistance aux chocs malgré la formation de phases borures en surface de l'insert (Figure 6c). Cette augmentation est de 100 % dans le cas de l'insert P2 gradué par IR dans les conditions $P_2-T_1-t_3$.

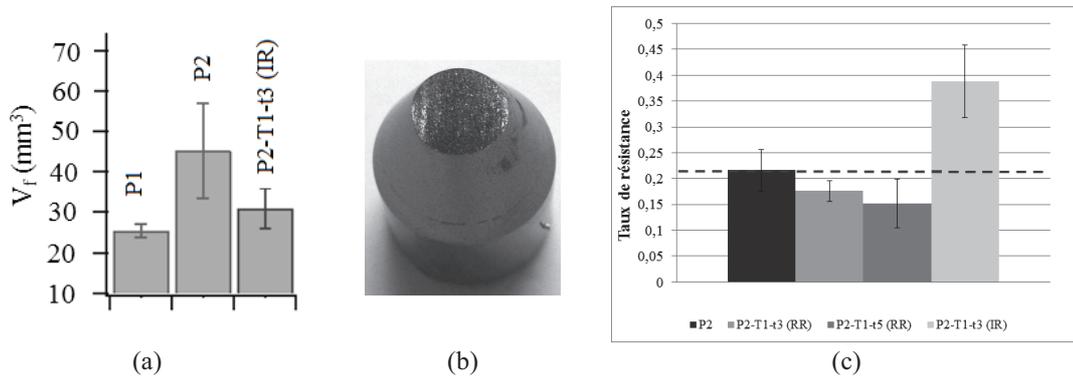


Figure 6. Evolution de la résistance à l'abrasion pour des inserts P1 et P2 traités par imbibition réactive avec un matériau d'apport de masse m_2 et une quantité surfacique de BN M_s (IR) respectivement dans les conditions température-temps T_1-t_4 et T_1-t_3 (a), Insert après essais d'usure (b) et évolution de la résistance à l'impact d'un insert de nuance P2 pour différents traitements de gradation de revêtement réactif (I) et d'imbibitions réactives (IR) avec un matériau d'apport de masse m_2 et une quantité de BN M_s

4. Interprétations et aspects novateurs

L'augmentation de la résistance à l'abrasion et à l'impact dans le cas de l'insert P2 traité par imbibition réactive est provoquée par l'augmentation de la dureté en surface de l'insert comprise entre 50 et 100 HV. Le cœur de l'insert est quant à lui enrichie en Co ce qui se traduit par une forte diminution de sa dureté interne. La figure 7 montre également la compétition, durant la gradation par imbibition réactive, de l'imbibition et du revêtement réactif.

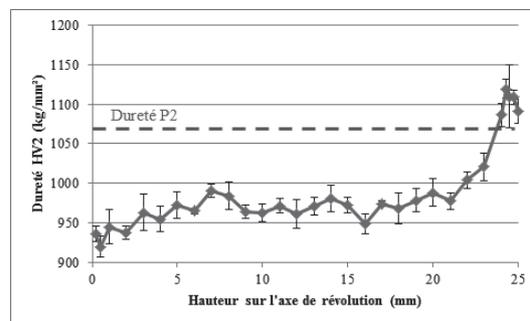


Figure 7. Evolution de la dureté sur l'axe de révolution d'un l'insert de nuance P2 après un traitement par imbibition réactive (IR) dans les conditions $T_1-t_3-m_2-M_s$.

La profondeur de migration de la phase liante est reliée par Lisovsky au temps passé à l'état liquide de la façon suivante :

$$l_{mig} = \sqrt{\frac{2K_p}{\eta} \Delta P_{mig} t}$$

(2)

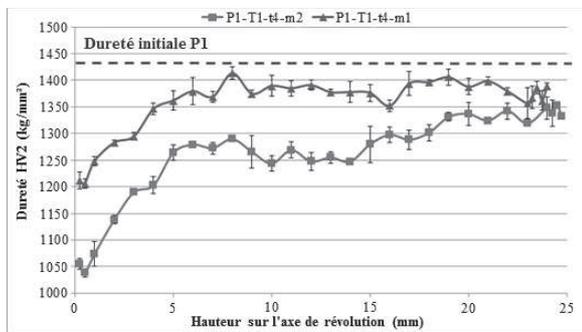
Avec K_p le coefficient de perméabilité du matériau à graduer et η la viscosité dynamique du liquide. Les termes P_{mig} et K_p étant des fonctions dépendantes de la fraction volumique de liquide et de la taille moyenne des grains de WC, la profondeur de migration s'exprime alors :

$$l_{mig} \propto \sqrt{d_{WC}} \cdot \sqrt{h(U)} \cdot \sqrt{t} \quad (3)$$

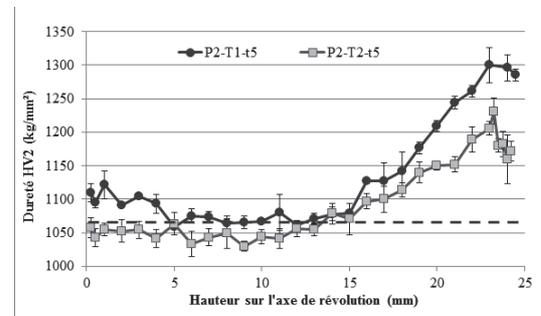
avec

$$h(U) = \left[\left(\frac{1-U}{U} \right)^{1/3} - 1,41U \right] \cdot \left(\frac{U}{1-U} \right)^2 \quad (4)$$

Les équations (2), (3) et (4) montrent ainsi qu'il est nécessaire de modifier le temps passé à l'état liquide en fonction de la nuance sélectionnée afin de limiter l'enrichissement en phase liante dans la partie supérieure des inserts. Il est également primordial d'adapter la quantité de matériau d'apport afin de contrôler l'amplitude du gradient généré (Figure 8a). En effet, la figure 8a montre que dans le cas de l'imbibition, la diminution de la quantité de matériau d'apport, en passant d'une masse m_2 à m_1 , pour des conditions de traitement identiques, entraîne une homogénéisation prématurée du gradient ainsi qu'une diminution de l'amplitude de ce dernier.



(a) Imbibition



(b) Revêtement Réactif

Figure 8. Evolution de la dureté sur l'axe de révolution d'un l'insert de nuance P1 pour une quantité de matériau d'apport variant de m_1 à m_2 lors d'un traitement de gradation pour imbibition (I) pour un temps de traitements t_4 à la température T_1 (a), Evolution de la dureté sur l'axe de révolution de l'insert lors d'un traitement de gradation par revêtement réactif (RR) pour une quantité de revêtement de BN fixe M_s et pour un temps de traitements t_5 et un température variant de T_1 à T_2 (b)

La figure 7 présente une diminution de la dureté à l'extrême surface de l'insert traité par imbibition réactive. Cette diminution est provoquée par une quantité insuffisante de BN, provoquant un épuisement de la source de bore. La figure 8b présente la simulation de ce phénomène par l'augmentation de la température de traitement, le mécanisme de gradation par revêtement réactif étant piloté par un mécanisme de diffusion. Ainsi, la quantité de BN initialement déposée est identique pour les deux traitements. La température de traitement T_2 est sélectionnée de façon à induire la consommation totale du revêtement BN avant la fin du traitement thermique. Il en résulte, dans le cas où la quantité de BN se trouve en défaut, une diminution importante de la dureté en surface correspondant à une diminution de la quantité de phases borures formées. Dans le même temps, une augmentation de la profondeur de diffusion du bore est observée passant d'environ 10 à 15 mm pour respectivement les conditions de température T_1 et T_2 . Il apparait donc que dans le cas d'un défaut de source en BN, la diffusion du bore dans la pièce se poursuit par une dissolution des phases borures préalablement formées. Il est par conséquent nécessaire d'adapter la quantité de BN déposé au cycle thermique ainsi qu'à la nuance de l'insert à graduer.

5. Conclusions

Cette étude montre qu'il est possible d'augmenter à la fois la résistance à l'abrasion et à l'impact à l'aide d'une structure graduée. Les paramètres du premier ordre pour maîtriser les gradients formés sont :

- la nuance du carbure cimenté à grader,
- la température et le temps du cycle thermique,
- la quantité de matériau d'apport disponible,
- la quantité surfacique de revêtement BN.

Dans le cadre des essais laboratoires effectués, les gains de durée de vie se révèlent importants avec à la fois un doublement de la résistance à l'abrasion et de la résistance à l'impact.

Références

- Colin, C., Favrot N., Barbier G. et Delannay F., 1996, Migration d'un liquide eutectique dans des carbures cimentés WC-Co complètement denses de façon à réaliser des matériaux à gradient de composition. *Les traitements des poudres et leurs conséquences*, volume 30, pages 1-7. SF2M.
- Colin, C., 2007, Procédé d'assemblage de deux blocs en matériau dense ou non dense constitué de particules dures dispersées dans une phase liante : application à des outils de coupe ou de forage, *brevet fr 2 914 207*.
- Delannay, F., Pardoën D., et Colin C., 2005, Equilibrium distribution of liquid during liquid sintering of composition gradient materials, *Acta Materiala*, 53, 1655-1664.
- Favrot, N., 1995, *Etude des différentes étapes de l'élaboration de structures graduées en WC-Co : compactage à froid, frittage, homogénéisation*, PhD thesis, Ecole des Mines de Paris.
- Lisovsky, A. et Babich M., 1972, Redistribution of molten cobalt in powder metallurgical WC-Co hard alloys, *Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 11, 124-128.
- Park, H. et Yoon D., 1985, Effect of dihedral angle on the morphology of grains in a matrix phase, *Metallurgical Transactions*, A16, 923-928.
- Sorlier, E., 2009, *Développement d'un procédé de graduation des carbures cimentés WC-Co basé sur l'imbibition, amélioration de la durée de vie des taillants de forage*, PhD thesis, Ecole des Mines de Paris.
- Ther, O., 2014
- Yahiaoui M., Denape J., Paris J-Y., Colin C., Dourfaye A. ,2015, Wear mechanisms of WC-Co drill bit inserts against alumina counterface under dry friction: Part 1 - WC-Co inserts with homogenous binder phase content *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 48, 245-256.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche (ARN-09-MAPR-441690) pour le financement cette recherche au travers du projet PROFOR (Nouveau Procédé d'élaboration d'outils à gradient de propriétés pour le FORage de roches abrasives en conditions sévères).

Elaboration of graded cemented carbide by reactive imbibition: Application to roller cone for oil and mining industries

THER Olivier^{a,b*}, COLIN Christophe^b, YAHIAOUI Malik^c, PARIS Jean-Yves^c, DENAPE Jean^c,
GERBAUD Laurent^d et DOURFAYE Alfazazi^a

^aVarel Europe

14 Rue Gaillon, 75002 Paris

^bCentre des Matériaux – Mines ParisTech

10 rue Henri-Auguste Desbrières, 91003 Evry Cedex

^cUniversité de Toulouse, Laboratoire Génie de Production

47 Avenue d'Azereix, 65000 Tarbes

^dCentre de Géosciences – Mines ParisTech

35 rue Saint Honoré, 77300 Fontainebleau

* All correspondance should be sent to: other@varelintl.com

Abstract

Cemented carbide gradation by reactive imbibition involves huge gradient generation in the whole part volume. These gradients would achieve several hundred HV on several tens millimeters. With this kind of gradation, it's possible to go beyond the hardness-toughness antagonism and elaborate some material to resist to very abrasive conditions and impact solicitations.

Initial cemented carbide grade is the first element to be taken into account for the reactive imbibition process. The grade would have strong influence on imbibition and reactive coating mechanism. It's necessary to adapt thermal treatment, the amount of imbibiting material and quantities of BN coating in order to elaborate the gradient.

Abrasive test and impact testing show an improvement by 2 of both properties after reactive imbibition treatment compared to the same non treated cemented carbide.

Keywords : Cemented carbide, FGM, reactive imbibition, drilling tool
