

Influence des Paramètres de Coupe sur la Tenue du CBN 7020 Lors du Tournage Dur

Slimane BENCHIHEUB¹ et Lakhdar BOULANOUAR¹

¹Laboratoire de Recherche Mécanique des Matériaux et Maintenance Industrielle (LR3 M I)
Université Badji Mokhtar, BP12 Annaba 23000 Algérie.
slim_benchiheub@yahoo.fr

Résumé- Cette étude expérimentale a pour but d'évaluer les performances du matériau à outils de coupe CBN 7020 lors de l'usinage de l'acier de roulement 100 Cr6 trempé. La méthode retenue pour la réalisation de ces essais est celle des plans d'expériences, dans le but de déterminer l'influence des éléments de régime de coupe sur sa tenue et sur l'état de surface produit. Les résultats expérimentaux obtenus à la vitesse de coupe $V_c = 120$ m/mn montrent que l'outil CBN 7020 a conduit à un meilleur rendement en termes de durée de vie et de productivité et que les modes d'usures observés sont ceux de l'abrasion et de la diffusion. Par ailleurs le CBN 7020 a donné lieu à des états de surfaces ($R_a = 0,38$ à $1,04 \mu\text{m}$) comparables à ceux de la rectification ($R_a = 0,2$ à $1,1 \mu\text{m}$). Le traitement statistique des résultats a permis d'établir des modèles mathématiques permettant de prédire la durée de vie de ce matériau ainsi que la rugosité attendue, nécessaires pour l'optimisation et l'exploitation industrielles.

Mots clés : Usinage, Usure, Rugosité, Nitrure de bore cubique, Plan d'expériences.

I. INTRODUCTION

Le tournage des aciers durcis par trempe (dureté supérieure à 50 HRC) nécessite l'utilisation de matériaux composants ayant d'excellentes propriétés mécaniques et physiques. C'est l'avènement des outils comme les carbures micro-grains revêtus, les céramiques, les CBN et le diamant qui a rendu possible l'exploitation industrielle de cette technologie [1]. Ces derniers ont eu des performances relativement élevées en tournage pour leur substitution aux opérations de rectification [2] [3] [4]. Dans ce cas la sélection du matériau de coupe ainsi que ses éléments du régime de coupe est une phase délicate. De ce fait l'expérimentateur est confronté par le choix d'un plan d'expériences lui permettant de connaître l'influence des variables testées sur le phénomène étudié. Cette étude se propose de fournir les éléments nécessaires à la compréhension des mécanismes d'endommagement du matériau à outils de coupe moderne (CBN 7020) et d'en définir l'influence des éléments du régime de coupe sur la tenue et l'état de surface produit lors de l'usinage de l'acier 100 Cr6 traité.

II. MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Les essais ont été réalisés selon la méthode de planification des expériences [5] [6] [7] sur un tour parallèle SN 40 d'une puissance de 6,6 kW. Le traitement thermique des pièces a été

effectué au moyen d'un four d'une puissance de 4,5 KW et de température maximale 1100°C. Une sonde (thermomètre digital à 3° près d'incertitude) permet de vérifier l'homogénéité de la température à l'intérieur du four au cours du traitement. Un rugosimètre indiquant les différentes valeurs de la rugosité et un microscope optique à 5 μm de précision, doté de deux chariots à mouvements croisés ont été utilisés pour le suivi respectif de la rugosité et de l'usure.

Le matériau usiné est un acier à roulement 100 Cr6 [(1,41Cr, 0,96C, 0,22Si, 0,35Mn, 0,013S, 0,013P) %] trempé ayant une structure martensitique présentant des carbures du type M_7C_3 de taille 1 μm en grande proportion et des carbures secondaires du type M_3C en faible proportion [8]. Le traitement thermique de la pièce consiste à une trempe à 850°C (temps de chauffage et de maintien respectivement 45 mn et 60 mn) suivi d'un revenu à 200°C (temps de chauffage et de maintien respectivement 30 mn et 60 mn). Sa dureté est de 28 et 60 HRC avant et après traitement.

Cet acier est choisi comme un matériau à usiner car il présente approximativement 47% des matériaux thermiquement traités utilisés dans la fabrication des pièces [9]. Les essais de chariotages ont été réalisés sur des ébauches cylindriques en acier 100 Cr6 (AISI 52100) traité, de 57 mm de diamètre et de 350 mm de longueur. A cause de sa résistance élevée à l'usure, l'acier 100 Cr6 est préconisé surtout pour la fabrication de billes, de rouleaux, de bagues et de cages de roulements. Il est également employé dans la mise en forme à froid comme matrice de formage, cylindres de laminoirs et revêtement d'usure. Les plaquettes CBN nuance 7020 (57% CBN + 35% TiCN + 8% autres) sont un mélange de CBN et de TiCN à liant céramique engendrant une combinaison de résistance à l'usure et de stabilité chimique sous hautes températures, idéale pour le tournage des pièces dures. Ce genre de plaquette amovible de forme carrée est recommandé pour une coupe continue ou faiblement interrompue [10]. La désignation selon ISO du matériau à outil testé est : SNGA 12 04 08 S01020. Le porte plaquette utilisé est PSBNR2525M12 ayant la géométrie suivante : $X_r = 75^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$; $\lambda = -6^\circ$. Le rayon du bec utilisé est $R_\epsilon = 0,8$ mm [11].

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.I. USURE vb

Les essais réalisés ont permis l'obtention des résultats illustrés par les figures 1 et 2. Ils expriment respectivement le résultat de l'effet de l'usure V_b du matériau à outil testé à différentes vitesses de coupe et de l'effet de l'usure en fonction du temps à différentes combinaisons des éléments du régime de coupe du plan d'expériences ($N = 2^3$). Le suivi de l'évolution de l'usure a été effectué pour l'usure en dépouille (V_b). Chaque combinaison du plan a fait l'objet de deux répétitions. L'usure recommandée est $[VB] = 0,3$ mm.

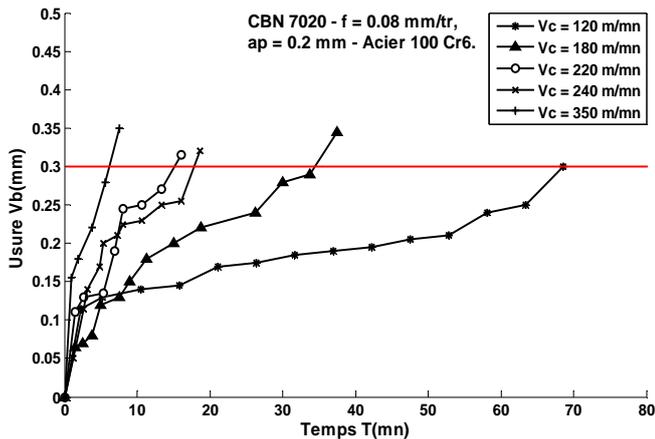


Fig. 1. Evolution de l'usure (V_b) du CBN 7020 en fonction du temps pour les différentes vitesses de coupe, $f = 0,08$ mm/tr, $ap = 0,2$ mm.

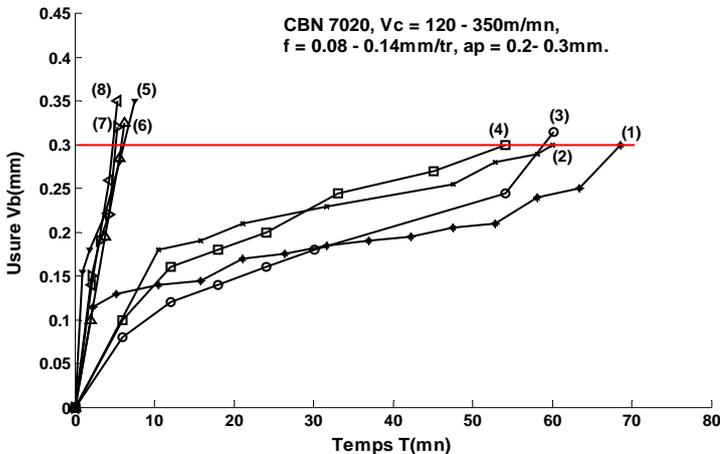


Fig. 2. Evolution de l'usure (V_b) du CBN 7020 en fonction du temps pour les différentes combinaisons du plan d'expériences.

L'analyse de ces résultats montre que la vitesse de coupe a une influence significative sur l'usure du matériau de coupe testé (figure 1). En effet pour un ratio de vitesses de coupe égal à 1,5 et une plage de vitesses de coupe comprise entre (120-180 m/mn), la durée de vie du CBN 7020 diminue de 50%. On remarque que l'effet de la vitesse de coupe sur la durée de vie est plus prononcé pour les plages de vitesses élevées. Ceci s'explique par le fait que lorsqu'on travaille avec des vitesses de coupe plus élevées :

- Le système usinant devient instable en raison des grandes vibrations enregistrées lors de l'usinage.

- La température dans la zone de coupe augmente (notamment aux interfaces « copeau - surface d'attaque », et « pièce - surface de dépouille principale », ce qui favorise la manifestation des différents mécanismes d'usure de l'outil suite à la réduction de sa dureté.

Les micrographies prises au moyen d'un microscope à balayage électronique M.E.B à la vitesse 350 m/mn (figure 3) à différents agrandissements montrent une usure en dépouille V_b sous la forme d'une poche, qui est due au frottement de la surface en dépouille principale avec la surface de coupe de la pièce. La présence de rayures occasionnées sur la surface de dépouille sont dues essentiellement à l'abrasion des carbures M_7C_3 très durs présents dans la structure martensitique.

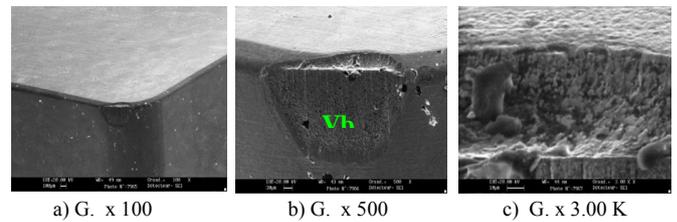
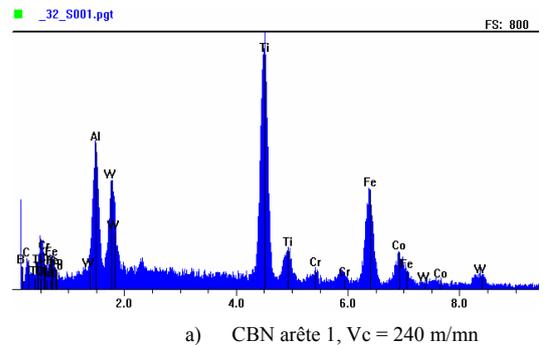
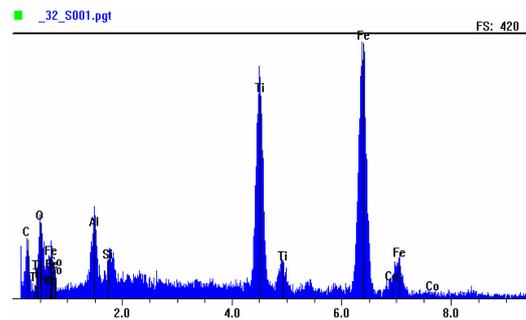


Fig. 3. Usure en dépouille V_b du CBN 7020 à $V_c = 350$ m/mn, $f = 0,08$ mm/tr, $ap = 0,2$ mm.

L'analyse ou la composition chimique sur la surface d'attaque au niveau du cratère (figures 4a 4b) a révélé la présence de plusieurs éléments chimiques tels que : le Ti, Al, W, Fe, Co, Cr, B, C, Si, O₂.



a) CBN arête 1, $V_c = 240$ m/mn



b) CBN arête 2, $V_c = 120$ m/mn

Fig.4. Spectrogramme d'un échantillon prélevé à la surface d'attaque. Sachant que le CBN 7020 est composé de (57% CBN + 35% TiCN + autres). La présence des éléments chimiques autres que

ceux du CBN 7020 témoignent le déroulement de l'un des mécanismes d'usure par « adhésion » ou par « diffusion » ou les deux à la fois

III.II. RUGOSITE Ra

Les résultats obtenus montrent que :

- la rugosité diminue puis tend à se stabiliser lorsque la vitesse de coupe augmente (Figure 5). Cette amélioration de l'état de surface s'explique par le fait que la matière usinée est peu ductile et les vitesses de coupe choisies sont élevées, ce qui ne favorise pas la formation de l'arête rapportée, (donc l'absence de dégradation de surface par adhésion de particules ou fragments du copeau sur la surface usinée).

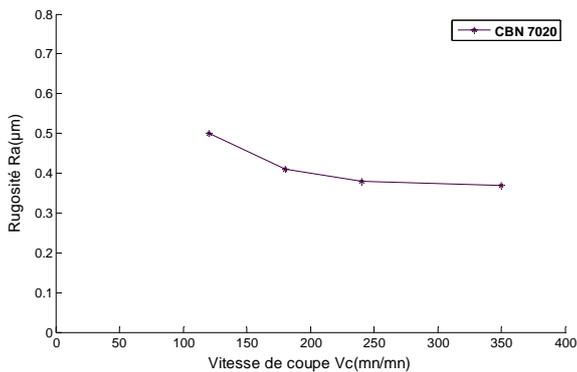


Fig.5. Evolution de la rugosité Ra de l'acier 100Cr6 trempé en fonction de la vitesse de coupe à $V_b = 0,3$ mm ($f = 0,08$ mm/tr, $a_p = 0,2$ mm).

Ceci confirme que l'outil travaille dans des conditions plus agréables à des vitesses de coupes plus élevées.

- Le CBN 7020 (figures 6) assure un bon état de surface ($R_a = 0,38$ à $1,04$ µm) comparativement à la rectification ($R_a = 0,2$ à $1,1$ µm) [12] [13].

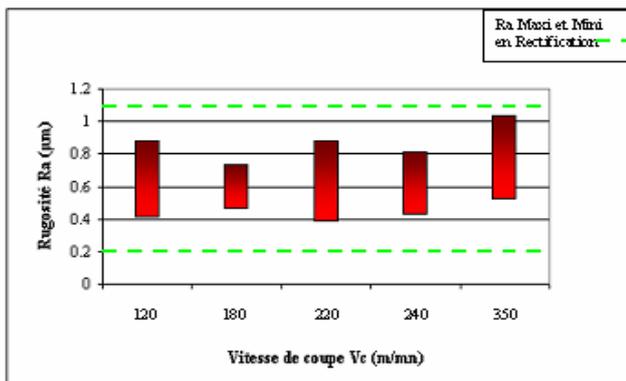


Fig.6. Comparaison de l'état de surface obtenu à différentes vitesses de coupe entre le tournage dur et la rectification pour le CBN 7020 ($f = 0,08$ mm/tr, $a_p = 0,2$ mm).

III.III. MODELES MATHÉMATIQUES OBTENUS

Le traitement statistique des résultats a permis de déduire les modèles mathématiques (Tableau 1), exprimant la relation fonctionnelle entre la durée de vie T et l'état de surface Ra produit sur les éléments du régime de coupe.

TABLEAU I
MODELES MATHÉMATIQUES OBTENUS LORS
DE L'USINAGE DE L'ACIER 100 Cr6

Paramètres	CBN 7020 / Modèles			
	Unifactoriel	R ²	Multifactoriel	R ²
Durée de vie T (mn)	$T = e^{16,01} \cdot V_c^{-2,46}$	0,97	$T = e^{13,87} \cdot V_c^{-2,22} \cdot f^{-0,29} \cdot a_p^{-0,22}$	0,97
Rugosité Ra (µm)	$R_a = 1,85 \cdot V_c^{-0,28}$	0,87	$R_a = e^{1,49} \cdot V_c^{-0,28} \cdot f^{0,33} \cdot a_p^{0,08}$	0,79

Où R² : représente le coefficient de détermination.

L'analyse de ces modèles montre que :

- la durée de vie est inversement proportionnelle à l'augmentation des éléments du régime de coupe et que la vitesse de coupe (V_c) a le degré d'influence le plus important sur la durée de vie, suivie de l'avance et enfin par la profondeur de passe ;
- la rugosité est proportionnelle à l'augmentation de l'avance et à la profondeur de passe et inversement proportionnelle à la vitesse de coupe ;
- L'adéquation des modèles obtenus est estimée par le coefficient de détermination R².

REFERENCES

L'étude menée sur la tenue du matériau de coupe (CBN 7020) et sur l'état de surface produit lors de l'usinage de l'acier 100 Cr6 a permis de tirer les principales conclusions suivantes :

- ✓ L'acier 100Cr6 trempé (60 HRC) est très difficile à usiner, d'où la nécessité d'un matériau à outil de coupe ayant des capacités de coupe très élevées.
- ✓ Les modes d'usure observés sont ceux d'abrasion, une usure régulière au début sur la surface en dépouille et de diffusion un cratère sur la surface d'attaque.
- ✓ L'analyse des courbes de suivi de l'usure en fonction du temps montre que l'allure de cette dernière obéit à la loi universelle de l'usure de n'importe quelle pièce mécanique. A la vitesse de coupe 120 m/min, le CBN 7020 a conduit à un meilleur rendement en terme de durée de vie.
- ✓ L'influence de l'avance et celle de la profondeur de passe sur la tenue sont peu significatives par rapport à la vitesse de coupe.
- ✓ Avec l'augmentation de la vitesse de coupe, la rugosité de la surface usinée diminue tout d'abord rapidement puis lentement tout en se stabilisant aux grandes vitesses.
- ✓ L'avance est le facteur prépondérant sur la qualité de la surface usinée, tandis que la profondeur de passe a exprimé une influence peu significative. Par conséquent si on veut augmenter la productivité, il est préférable d'augmenter la profondeur de passe au lieu de l'avance tout en gardant les mêmes valeurs de la rugosité.
- ✓ Le CBN 7020 permet d'obtenir des états de surfaces ($R_a = 0,38$ à $1,04$ µm) compris dans les limites de la rugosité obtenue par la rectification ($R_a = 0,2$ à $1,1$ µm).

REFERENCES

-
- [1] Sofotec. L'internationale du Tournage Dur, *Machine Production* 738, 15/03/01
 - [2] H. Schultz. State of the art of high speed machining, First french and german Conference of *high speed machining*, pp 1-7, 1997.
 - [3] G. Schneider jr. Cutting tool applications, Chapitre 1, *Prentice-Hall Publication*, pp 2-65, 2002.
 - [4] G. Poulachon, A. Moison. Performance evaluation on hardened steel-PCBN tool pair in high speed turning, *Matériaux et Techniques* 1-2, pp 23-24, 2003.
 - [5] B. Clement, Design and analysis of experiments, *Genistat Conseils Inc*, 2000.
 - [6] V.V. Nalimov, N.A. Tschernova, Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nikh experimentov, *Nayouka*, Moscou 1965.
 - [7] K.M. Fedosov, Planification des expériences, Ed. *Soudostroegné*, Leningrad 1978.
 - [8] G. Poulachon, B.P. Bandyopadhyay, I.S. Jawahir, S. Peulpin, E. Seguin. The influence of the microstructure of hardened Steel on the wear of PCBN cutting tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 43, pp139-144, 2003.
 - [9] G. Poulachon, Aspects phénoménologiques, mécaniques et métallurgiques en tournage des aciers durcis. *Thèse de doctorat*, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Cluny France, pp.38, 1999.
 - [10] F. Bagur, Matériaux pour outils de coupe, *Techniques de l'ingénieur*, Traité de génie mécanique. BM 7080, 1990.
 - [11] M. Remadna, Le comportement du système usinant en tournage dur, Application au cas d'un acier trempé usiné avec des plaquettes CBN. *Thèse de doctorat* INSA-LYON, France, pp.191-192, 2001.
 - [12] F. Gelskopf, Y. London, E. Duc. Usinage à grande vitesse, Polycopies ENS Cachan, *LURPA*, décembre 1999.
 - [13] A. Chevalier. Guide du dessinateur industriel, *Hachette Technique*, 2005.