

INVESTIGATION EXPERIMENTALE SUR L'USURE DES OUTILS DE COUPE EN CBN LORS DU TOURNAGE DES PIECES DURES

Reçu le 06/12/2006 – Accepté le 04/11/2007

Résumé

Le tournage dur, est une technique d'usinage récente dans son utilisation. Il se présente comme une alternative à la rectification, souvent longue et coûteuse. Afin de maîtriser le tournage dur et de rentabiliser son utilisation industrielle il est nécessaire d'étudier les phénomènes physiques qui accompagnent cette technique d'usinage et de connaître les lois qui la régissent. Pour cela nous présentons dans ce travail les résultats d'une investigation expérimentale sur l'usure d'un outil en nitrure de bore cubique lors du tournage de l'acier X200Cr12 traité à 60 (HRC). En premier lieu, des essais d'usure de longue durée ont été planifiés pour élucider l'effet de la vitesse de coupe sur les différentes formes d'usure de l'outil CBN ainsi que l'étude des conséquences de l'usure sur la tenue et la productivité. Ensuite, une seconde série d'expériences a été dédiée à l'étude de l'impact de l'usure (VB) sur l'évolution de la rugosité des surfaces usinées. Les résultats montrent que le CBN présente une bonne résistance à l'usure malgré l'agressivité de l'acier X200Cr12 (60 HRC). La majeure partie de la chaleur générée lors de la coupe est principalement dissipée par le copeau. Au-delà de 240 m/min, le système usinant devient instable en produisant des étincelles et des vibrations importantes après quelques minutes d'usinage à cause de l'accroissement intensif du phénomène d'usure. Malgré l'évolution de l'usure jusqu'à la valeur admissible $[VB]=0.3\text{mm}$, la rugosité R_a n'a pas dépassé $0.85\mu\text{m}$. Au-delà de cette valeur, la rugosité subit une augmentation, mais elle reste fort acceptable ($R_a < 1.2\mu\text{m}$). Le traitement des résultats nous a permis de déterminer des modèles mathématiques pour la prédiction de la tenue en fonction de la vitesse de coupe.

Mots clés: tournage dur, CBN, usure, rugosité, tenue, acier dur.

Abstract

Hard turning is a machining technique recently used. It is presented in the form of an alternative to grinding, often long and expensive. In order to control hard turning and to make profitable its industrial use it is necessary to study the physical phenomena which accompanies this machining technique and to know the laws which there governs. We present in this work, experimental results of an investigation on the CBN tool wear during turning of X200Cr12 steel treated (60 HRC). Firstly, wear tests of long duration were planned to elucidate the effect of cutting speed on the various shapes of CBN tool wear as well as study of the wear impact on tool life and productivity. Then, a second series of tests was dedicated to study impact of wear (VB) on evolution of machined surfaces roughness. The results show that the CBN present a good wear resistance in spite of the aggressiveness of steel X200Cr12 (60 HRC). The major part of the heat generated during machining is mainly dissipated by the chip. Beyond 240 m/min, the machining system becomes unstable by producing significant sparks and vibrations after a few minutes of machining because of the intensive increase of wear phenomenon. In spite of wear evolution up to the acceptable value $[VB]=0.3\text{mm}$, roughness R_a did not exceed $0.85\mu\text{m}$. Beyond this value, roughness undergoes an increase, but it remains acceptable ($R_a < 1.2\mu\text{m}$). The treatment of obtained results enabled us to determine mathematical models for tool life prediction according to the cutting speed.

Keywords: hard turning, CBN, wear, roughness, behaviour, hard steel.

M.A. YALLESE
H. BOUCHELAGHEM
S. BELHADI
N. KRIBES
Laboratoire Mécanique et Structures - Faculté des Sciences de l'Ingénieur - Université de Guelma BP 401- Algérie

ملخص

الخراطة الصلبة هي تقنية تشغيل جديدة يمكن أن تعوض التخليج، عادة ما تكون هذه الأخيرة عملية طويلة و ثمينة. لاستيعاب مفهوم الخراطة الصلبة وللاستعمالها الصناعي بمراد ودية جيدة من الضروري دراسة الظواهر الفيزيائية التي ترافقها و معرفة القوانين التي تحكمها. لأجل هذا نقدم في هذا العمل نتائج لدراسة تجريبية حول تآكل أداة قطع من التبريد البوري المكعب أثناء خراطة الفولاذ X200cr12 المقسى إلى (60 HRC). في البداية، قمنا بتجارب تآكل طويلة المدى لإظهار تأثير سرعة القطع على مختلف أشكال التآكل لأداة القطع من CBN و كذلك دراسة تأثير التآكل على مدة حياة القلم و الإنتاجية. قمنا بعد ذلك بسلسلة ثانية من التجارب حول تأثير التآكل (VB) على تطوير حالة السطح للسطوح المشغلة. أظهرت النتائج بأن التبريد البوري المكعب له مقاومة جيدة للتآكل بالرغم من قسوة الفولاذ X200cr12. الجزء الأكبر من الحرارة المنتجة أثناء القطع يتسرب عموماً مع الرايش. ما فوق سرعة 240م/د، يصبح نظام التشغيل غير مستقر و ينتج عن ذلك شرارات و اهتزازات معتبرة بعد بعض دقائق من التشغيل هذا راجع إلى تضخم الكبير لظاهرة التآكل. بالرغم من تطور التآكل حتى القيمة الاسمية $(VB)=0.3\text{mm}$ ، حالة السطح R_a لا تتعدى 0.85 ميكرومتر . ما فوق هذه القيمة، حالة السطح تزداد لكنها تبقى مقبولة إلى حد كبير ($R_a < 1.2\mu\text{m}$). معالجة النتائج مكنتنا من انجاز نماذج رياضية لحساب مدة حياة القلم بدلالة سرعة القطع.

الكلمات المفتاحية: الخراطة الصلبة – التبريد البوري المكعب – حالة السطح - الخشونة – التآكل – الصلب المقسى

Les outils de coupe s'usent parce que les surfaces d'usure (face de coupe et de dépouille) de l'outil doivent supporter des charges normales élevées et parce que le copeau et la pièce appliquent ces chargements lors de mouvements relatifs sévères par rapport aux surfaces d'usure [1]. Les actions de coupe et de frottement sur ces surfaces de contact augmentent la température du matériau d'outil, ce qui accélère l'usure physique et chimique de ce dernier [2, 3, 4]. Pour enlever de la matière à la pièce, ces mouvements et ces forces sont nécessaires, donc l'usure de l'outil est un problème majeur qui se pose aux industries de la fabrication mécanique et en particulier lors de l'usinage des matériaux durs [5, 6]. Malheureusement il y a de nombreuses variables à considérer, il n'est donc pas surprenant que l'expertise de l'usure des outils et les décisions de changement d'outil soient des problèmes difficiles. S'agissant d'un procédé de finition permettant d'obtenir des qualités proches de la rectification, le suivi de l'usure est primordial pour le respect des tolérances dimensionnelles, des états de surface, des tolérances géométriques. Par conséquent l'étude approfondie et continue de l'usure, notamment lors de l'usinage des aciers de hautes duretés, comme l'acier X200Cr12, avec des matériaux à outils de hautes performances (CBN et céramique) est une tâche d'une grande importance économique et technologique en productique mécanique [7, 8].

1. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Les expériences ont été planifiées conformément aux essais d'usure de longue durée [NF E66-505] [9] dans le but d'évaluer la durée de vie des outils CBN à différentes vitesses de coupe. Les opérations de chariotage, relatives aux essais d'usure ont été effectuées sur des éprouvettes rondes en acier traité de nuance X200Cr12, de 80mm de diamètre et de 400mm de longueur. Grâce à sa résistance élevée à l'usure, l'acier X200Cr12 est utilisé pour la fabrication des matrices et poinçons de découpage et d'emboutissage, filière d'étréage, galets profileurs, mollettes, outils à bois, peigne à rouler les filets [10]. Sa composition chimique est donnée comme suit : 2%C, 0.29%Mn, 0.31%Si, 0.011%P, 0.009%S, 1.41%Cr, 0.259%Ni. Les éprouvettes ont subi une trempe à 940°C suivie d'un revenu à 280°C ce qui a conduit à une dureté recherchée de 60HRC. Un tour de marque TOS TRENCIN, modèle SN40, d'une puissance de 6,6 kW sur broche a été utilisé pour les opérations d'usinage. Les plaquettes de coupe utilisées sont de désignation SNGA120408 T01020 et de composition chimique (57%CBN + 35%TiCN + 8% autres) (figure 1). Le porte outil est de désignation PSB NR2525K12 avec une géométrie de la partie active matérialisée par les angles suivants: $\chi_r = 75^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = -6^\circ$; $\lambda = -6^\circ$. Le suivi de l'usure a été effectué à l'aide d'un microscope optique du type HUND (W-AD), équipé d'une camera CCD. Un rugosimètre SurfTest 301 de marque Mitutoyo, équipé d'une imprimante de profil de rugosité a servi pour la mesure instantanée des critères de rugosités R_a , R_t et R_z pour chaque condition de coupe. Ce dernier est constitué d'une pointe de diamant (palpeur), avec un rayon de pointe de 5 μ m. Chaque palier de palpé est de 0,8mm ce qui donne une longueur totale de mesure de 4mm.

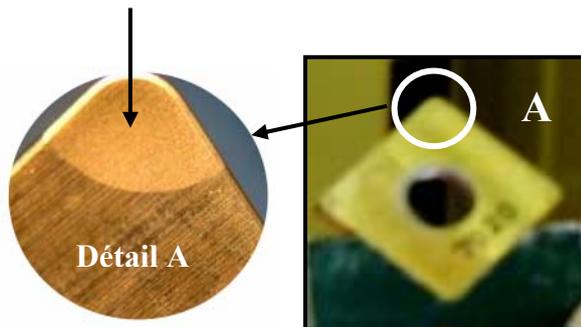


Figure 1 : Plaquette en CBN utilisée.

Les essais sont répétés trois fois et la mesure de rugosité est obtenue directement sur la machine et sans démontage de la pièce (figure 2).

Les essais d'usinage ont été réalisés sans lubrification avec une avance (f) de 0,08 mm/tr, une profondeur de passe (a_p) de 0,5mm et une vitesse de coupe (V_c) qui varie dans la plage 85 à 310 m/min.

La tenue de l'outil CBN a été déterminée sur la base d'une usure admissible $[VB]=0,30$ mm.

2. RESULTATS

2.1. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe

Les essais réalisés en tournage sont ceux d'usure de longue durée [Norme ISO 3685] et cela pour évaluer la tenue de l'outil utilisé à différentes vitesses de coupe. Ce type d'essai fournit des résultats fiables et proche de la réalité industrielle [11], [12].

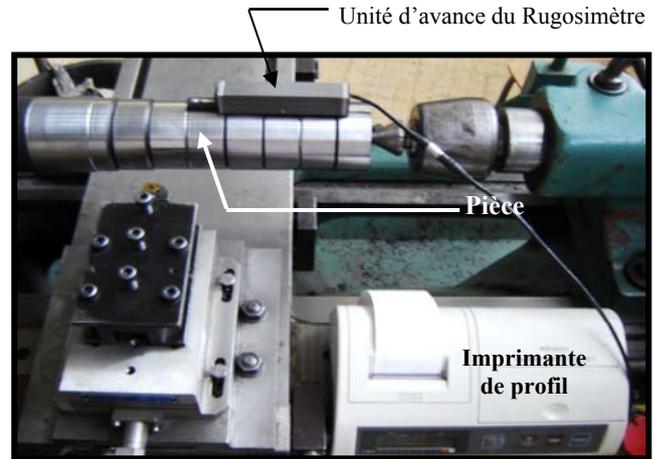


Figure 2 : Mesure de la rugosité sans démontage de la pièce.

Les résultats de l'évolution de l'usure (frontale et en cratère) de l'outil CBN en fonction du temps et au sein d'une plage de six vitesses de coupe (85, 115, 150, 200, 240, 310) m/min, sont présentés sur les figures (3 et 4). L'analyse de ces figures montre que l'allure de l'usure obéit à la loi universelle de l'usure de n'importe quelle pièce mécanique (rodage, usure normale, usure accélérée).

Les résultats montrent aussi que la vitesse de coupe a une influence capitale sur l'usure. En effet avec l'augmentation de la vitesse de coupe, l'usure s'accroît d'une façon remarquable à partir de 115 m/min.

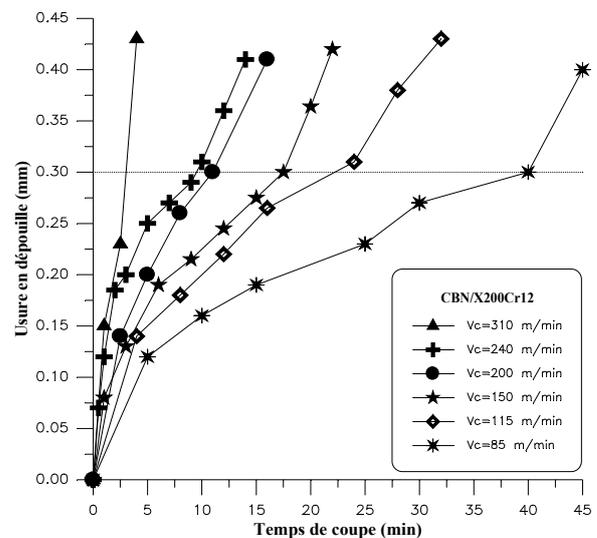


Figure 3 : Usure en dépouille (VB) en fonction du temps de coupe.

Cet accroissement de l'usure peut réduire considérablement l'étendue de la zone d'usure normale. Ceci est justifié par les essais réalisés avec les vitesses de coupe [85, 150 et 310] m/min. En effet à $V_c = 85$ m/min, la zone de l'usure normale s'étend sur une durée 35 min, alors que pour l'essai à $V_c = 150$ m/min, elle est d'une durée de 15 min. Enfin pour la vitesse de 310 m/min la zone d'usure normale est presque inexistante.

Concernant les courbes de la figure 4, l'allure de l'usure en cratère KT est relativement faible par rapport à celle de l'usure VB, à cet effet l'usure en dépouille est considéré comme critère principal de la durée de vie de l'outil [13].

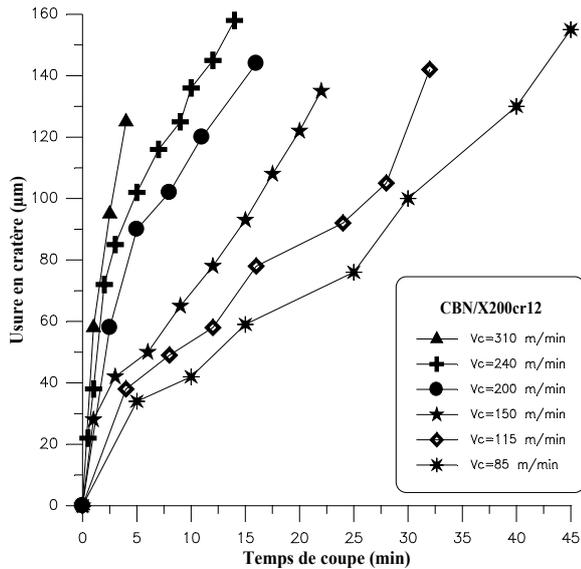


Figure 4 : Usure en cratère (KT) en fonction du temps de coupe.

2.2. Observations microscopiques de la morphologie de l'usure

Une observation microscopique serait plus intéressante et plus pratique pour le suivi de la morphologie de l'usure VB et KT en fonction du temps et à différentes vitesses de coupe.

- A la vitesse 85 m/min et 115 m/min, l'usinage se fait sans difficulté. L'usure sur la surface en dépouille est régulière, elle se manifeste au début par l'apparition d'une bande striée et brillante. Avec l'augmentation du temps d'usinage, la valeur de VB augmente, le copeau est fragmenté. On remarque à cette vitesse de coupe une stabilité du système usinant. L'usure en cratère se manifeste par une petite cuvette sur la surface d'attaque dès les premières minutes d'usinage et elle s'élargit avec le temps (figure 5a).
- Avec l'augmentation de la vitesse de coupe à 150 m/min, les sollicitations mécaniques et thermiques sur l'arête de coupe augmentent, on remarque après un temps de 3 min la formation sur la surface de dépouille des petites cannelures, celles-ci sont générées suivant le sens de la direction de la vitesse de coupe. A $t_2 = 17.5$ min d'usinage, l'usure VB évolue et augmente de largeur et devient irrégulière. Après 22 min de travail, l'usinage devient difficile et le copeau obtenu est de

couleur rouge vif, on observe l'apparition d'écaillages sur la surface d'attaque de l'outil suite aux contraintes élevées générées du processus de coupe. L'évolution rapide de VB et KT conduisent à la fin à l'effondrement du bec de l'outil CBN (figure 5b).

- A la vitesse de 200 m/min, l'usinage au début est caractérisé par une stabilité, pas d'écaillage de la plaquette CBN sur la surface en dépouille et en cratère, le copeau obtenu est fragmenté de couleur rouge. A $t_1 = 2.5$ min l'usure en dépouille se manifeste par l'apparition d'une bande régulière (figure 5c). A $t_2 = 11$ min la valeur de VB augmente la largeur et les dimensions du cratère s'élargissent aussi. A la fin de l'usinage et après 16 min d'usinage, l'usure VB devient irrégulière avec l'apparition d'un petit effondrement sur la pointe de l'outil CBN.
- A la vitesse de 310 m/min et après 2.5 min d'usinage, on observe que le chanfrein de la plaquette subit une usure accentuée provoquée par l'élévation de la température et aussi un écaillage sur la surface d'attaque. Après 4 min, on remarque un petit effondrement du bec de l'outil. La fin de l'usinage est marquée par un écaillage sur la surface d'attaque, qui s'élargit dans la direction de la diagonale de la plaquette. A cette vitesse aussi, on remarque sur le flanc de l'outil et à la hauteur de l'usure VB des sillons (cannelures), résultat d'une haute usure abrasive (figure 5d) [16].

2.3. Influence de l'usure sur la tenue et la productivité

Le traitement graphique des résultats de l'usure en dépouille (VB) figure 3 en fonction du temps pour les différentes vitesses de coupe retenues a permis la détermination des différentes tenues de l'outil CBN. Il est à noter que la tenue (T) a été déterminée en se basant seulement sur l'usure en dépouille car la vitesse d'accroissement de celle-ci par rapport à celle de l'usure en cratère est nettement plus grande.

Les valeurs des tenues trouvées sont résumées dans la figure 6. Ces tenues sont déterminées à partir de deux critères d'usure admissible $[VB] = 0,3$ mm et $[VB] = 0,4$ mm.

L'analyse des résultats des tenues du CBN, montre que pour les vitesses de coupe [85 à 115] m/min et quand le rapport des vitesses est égal à 1.35, la durée de vie de l'outil chute de 45%. On remarque également qu'en travaillant avec les vitesses de coupe appartenant à une plage de vitesses [115 à 150] m/min et que cette dernière varie dans un rapport de 1.30 fois, la durée de vie chute de 23%. Pour les quatre autres plages de vitesses plus élevées [150 à 200], [200 à 240] et [240 à 310] m/min, les durées de vie correspondantes subissent des réductions de 36 %, 19 %, et 67 %. L'analyse des résultats montre aussi que la durée de vie est très sensible à la variation de la vitesse de coupe. Pour les plages de vitesses plus élevées [240 à 310] m/min, cet effet est encore plus significatif sur la durée de vie, on observe une chute de tenue de 67 %.

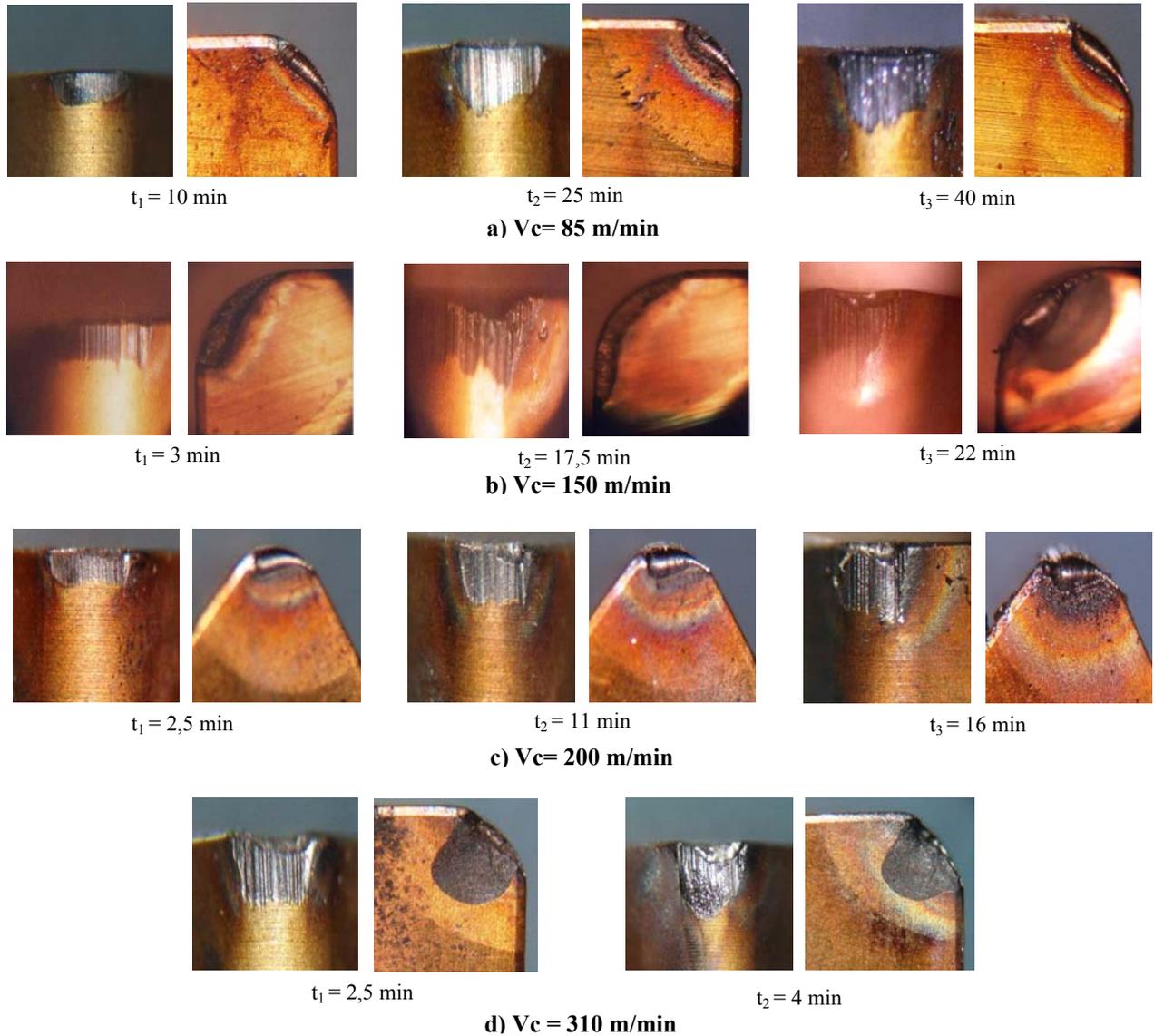
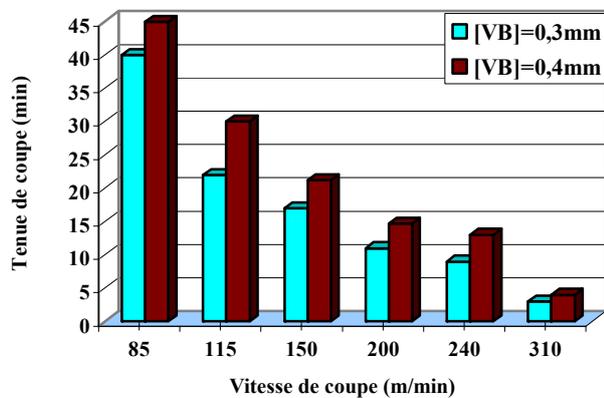


Figure 5 : Micrographie de l'usure VB et KT à différentes vitesses de coupe $f = 0.08 \text{ mm/tr}$ et $a_p = 0.5 \text{ mm}$.



Cette chute de tenue aux grandes vitesses de coupe s'explique par la présence des températures élevées générés du processus de coupe et qui règnent à la pointe de l'outil, ce qui favorise les différents mécanismes d'usure (abrasion et diffusion) et par conséquent la capacité de coupe de l'outil diminue.

Ceci s'explique aussi par le fait que lorsqu'on travaille avec des vitesses de coupe élevées, les sollicitations mécaniques et thermiques sur l'arête de coupe augmentent. Les frottements et les pressions élevées qui s'exercent à l'interface copeau-outil et outil-pièce provoquent l'usure [14], [15] et [16].

La figure 7 illustre le volume du copeau produit durant l'usinage de l'acier X200Cr12 à différentes vitesses de coupe pour les deux critères d'usure $[VB]=0.3 \text{ mm}$ et 0.4 mm . Il ressort de ces résultats que la vitesse de coupe 85 m/min conduit à un meilleur rendement $V=136 \text{ cm}^3$ pour $[VB]=0.3 \text{ mm}$ et $V=153 \text{ cm}^3$ pour $[VB]=0.4 \text{ mm}$.

La valeur minimale du volume de copeau produit est observée à la vitesse de 310 m/min avec $V = 37.2 \text{ cm}^3$ pour le critère $[VB]=0.3 \text{ mm}$, et $V=49.6 \text{ cm}^3$ pour $[VB]=0.4\text{mm}$.

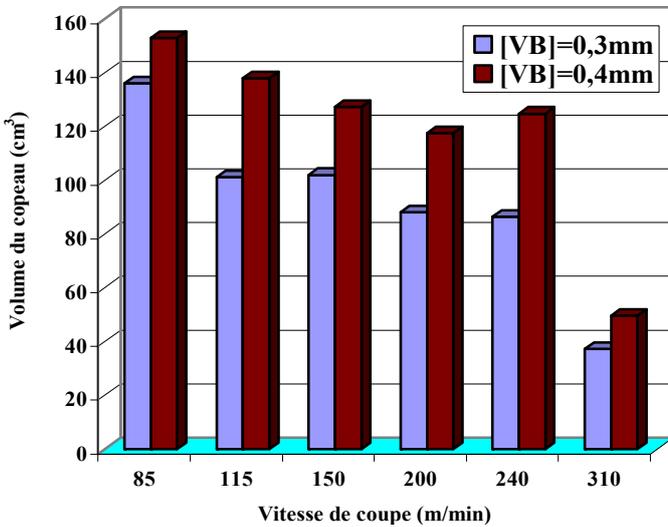


Figure 7 : Volume du copeau produit à différentes vitesses de coupe.

2.4 Influence de l'usure sur la rugosité

Les figures 8 et 9 illustrent les résultats de l'évolution de la rugosité en fonction du temps de coupe pour la vitesse de coupe 115 et 160 m/min.

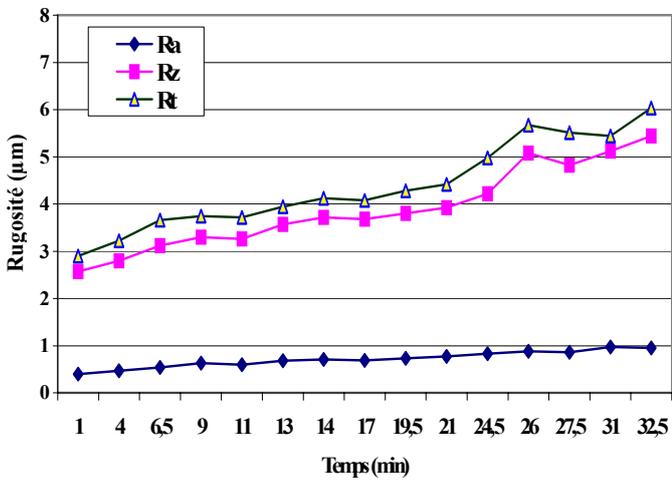


Figure 8 : Évolution de la rugosité en fonction du temps à : $V_c = 115 \text{ m/min}$; $f = 0.08 \text{ mm/tr}$; $a_p = 0.2\text{mm}$.

L'analyse des résultats montre que la valeur de la rugosité pour les critères (Ra, Rz, Rt) n'est pas stable et uniforme pendant la coupe, mais elle subit une évolution en fonction du temps d'usinage. Ce dernier est étroitement lié avec l'usure. Alors on peut dire que l'endommagement superficiel des facettes et des arêtes tranchantes de la partie active de l'outil conduit à la dégradation de l'état de surface du matériau usiné.

L'analyse des courbes montre aussi que le CBN assure un bon état de surface durant un temps d'usinage considérable. A la vitesse de coupe de 115 m/min et après un temps de coupe de 32.5 min la rugosité Ra n'a pas dépassé la valeur de $1\mu\text{m}$, de la même manière, avec une vitesse de coupe plus élevée $V_c=160 \text{ m/min}$ et après un temps de coupe de 20 min la rugosité Ra n'a pas dépassé la valeur de $1\mu\text{m}$.

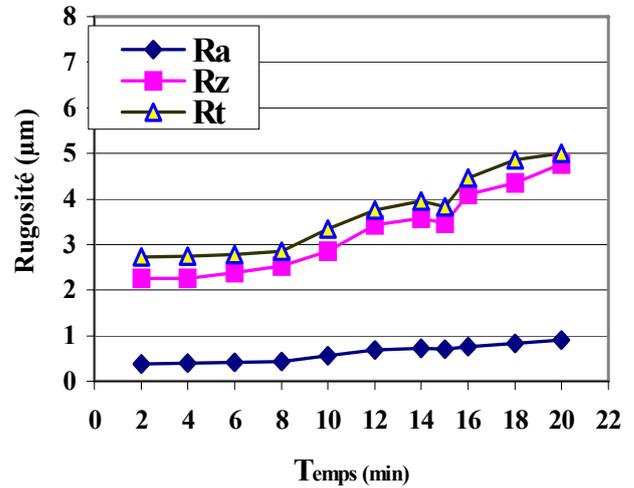


Figure 9 : Évolution de la rugosité en fonction du temps à : $V_c = 160 \text{ m/min}$; $f = 0.08 \text{ mm/tr}$; $a_p = 0.2\text{mm}$

3. DISCUSSION

3.1 Modèles de la tenue en fonction de la vitesse de coupe

Le traitement des résultats de la tenue par la méthode des moindres carrées, a permis l'établissement des modèles de la tenue en fonction de la vitesse pour $[VB] = 0.3$ et 0.4mm (tableau 1).

Les modèles mathématiques déterminés (tableau 1), montrent la relation entre la vitesse de coupe et la durée de vie de l'outil. Ils permettent donc de déterminer la durée de vie de l'outil en fonction de la vitesse de coupe souhaitée. D'après ces modèles, on peut dire que la vitesse de coupe a une influence majeure sur la durée de vie de l'outil. Il est très clair que son augmentation entraîne une diminution de la tenue de l'outil CBN. Il est à noter aussi que ces modèles mathématiques sont un moyen très utile pour l'élaboration des abaques et pour une éventuelle étude d'optimisation de processus de coupe. Les coefficients de détermination des modèles trouvés sont élevés et convergent vers l'unité, ce qui traduit la bonne corrélation avec les résultats expérimentaux.

Tableau 1 : Modèles mathématiques de la tenue obtenus.

Matériau de coupe	Modèles de Taylor sous deux formes $[VB] = 0.3 \text{ mm}$	Modèles de Taylor sous deux formes $[VB] = 0.4 \text{ mm}$
CBN7020	$V T^{0.561} = 700$ $R^2 = 0.991$	$V T^{0.603} = 915$ $R^2 = 0.986$
	$T = \exp^{11.667} V^{-1.781}$	$T = \exp^{11.296} V^{-1.657}$

A partir des modèles trouvés (tableau 1), on peut tracer les droites de Taylor, pour les deux critères d'usure [VB]=0.3 et 0.4mm et cela sur une échelle bi logarithmique (figure 10). L'intérêt économique de ces droites est très important, car elles permettent de déterminer les tenues de l'outil testé lors de l'usinage de l'acier X200Cr12 à n'importe quelle vitesse de coupe choisie et cela pour une gamme de vitesses de coupe comprise entre 85 et 310m/min.

3.2 Détermination des modèles de l'usure en fonction du temps

A partir des courbes de l'usure en fonction du temps pour différentes vitesses de coupe (figure 3) et on utilisant la méthode de moindre carrée, on peut déterminer les modèles mathématiques qui expriment la relation entre l'usure VB et le temps de coupe pour quatre vitesses de coupe. Les modèles obtenus sont présentés sur la figure 11 et les différents coefficients de détermination obtenus varient de 0,97 à 0,99.

3.3 Modèles de la rugosité en fonction du temps

En se basant sur les courbes de la rugosité en fonction du temps d'usinage figures (8 et 9), on peut déterminer les modèles mathématiques des différents critères de rugosité en fonction du temps (tableau 2) sous la forme du modèle suivant :

$$R_i = K. e^{a(t)} \quad (1)$$

Tableau 2 : Modèles mathématiques de la rugosité en fonction du temps d'usinage.

Matériau de coupe	Vitesse de coupe (m/min)	Avance (mm/tr)	Profondeur de passe (mm)	Modèles mathématiques	Coefficient de détermination R ²
CBN 7020	115	0.08	0.2	Ra=1.4479. e ^{0.0547t}	R ² =0.922
				Rt=2.5682. e ^{0.0491t}	R ² =0.959
	160	0.08	0.2	Ra=0.3218. e ^{0.0531t}	R ² =0.962
				Rt=1.8866. e ^{0.0455t}	R ² =0.962

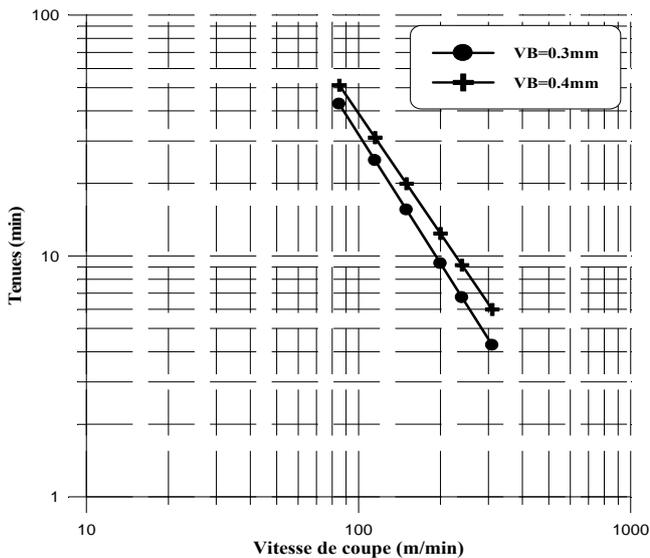


Figure 10 : Droite de Taylor déduit par le modèle pour [VB] = 0.3 et 0.4 mm.

Ces modèles sont très utiles pour l'évaluation de la rugosité en fonction temps et de l'évolution de l'usure. L'augmentation de ces derniers conduit à la dégradation de l'état de surface. Les coefficients de détermination trouvés sont tous élevés R² > 0.92.

CONCLUSION

Les résultats des essais réalisés dans cette étude débouchent sur les conclusions suivantes :

1- Le phénomène d'usure le plus distingué est l'usure par abrasion. Ce phénomène se manifeste par l'apparition de cannelures (stries) sur la face en dépouille de l'outil. L'usure par abrasion est due à l'arrachement des particules de l'outil par les particules dures constituant le matériau usiné.

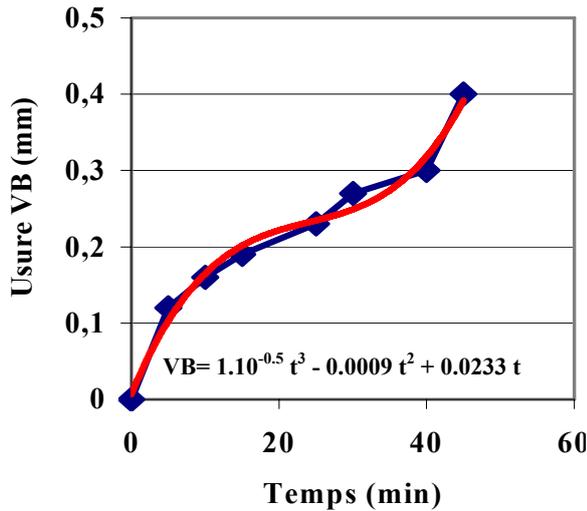
2- Aux vitesses de coupe [85-115-150-200], l'usure de l'outil CBN se manifeste par l'apparition d'une bande striée et régulière sur la surface en dépouille et la formation d'un cratère sur la surface d'attaque. Avec le temps, on remarque une augmentation de l'usure VB et KT se qui conduit à un effondrement du bec de l'outil à cause de l'usure combinée de (VB) et (KT). Aux vitesses de coupe élevée [240-310] l'effondrement du bec de l'outil se fait aux premières minutes d'usinage et on remarque un émoussement et un recul de la pointe de l'outil. Cette usure mérite par conséquent une attention particulière puisqu'elle affecte la surface usinée et la précision dimensionnelle.

3- Les vitesses de coupe supérieures à 240 m/min ne sont pas recommandées à cause de l'usure rapide de l'outil. Cela a pour effet de donner des durées de vie trop courtes, non intéressantes sur le plan industriel. Par conséquent, le domaine de vitesse entre [85 et 240]m/min peut être considéré comme un domaine optimal d'exploitation des outils CBN face à l'acier fortement allié X200Cr12 traité à 60 HRC.

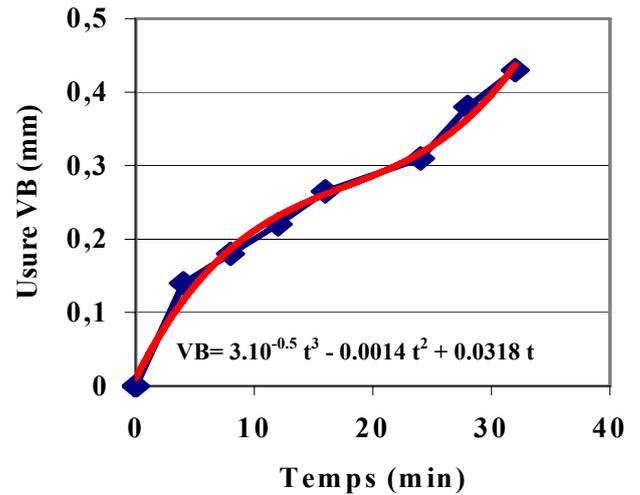
4- L'usure est l'un des facteurs à considérer, puisque son évolution endommage et dégrade l'état de surface des pièces. Malgré l'évolution de VB jusqu'à 0.3 mm, la majorité des valeurs enregistrées de Ra n'ont pas dépassé la valeur de 1 µm.

5- La qualité des surfaces obtenues lors de l'usinage avec l'outil en CBN est comparable à celles obtenus en rectification. Cet avantage présente un atout économique, puisqu'il nous permet de réduire les phases de fabrication des pièces (ébauche, demi finition, finition) sur une même machine outil). Il est clair que le tournage dur est un procédé d'usinage qui réduit considérablement le prix de revient en ayant une bonne précision d'usinage.

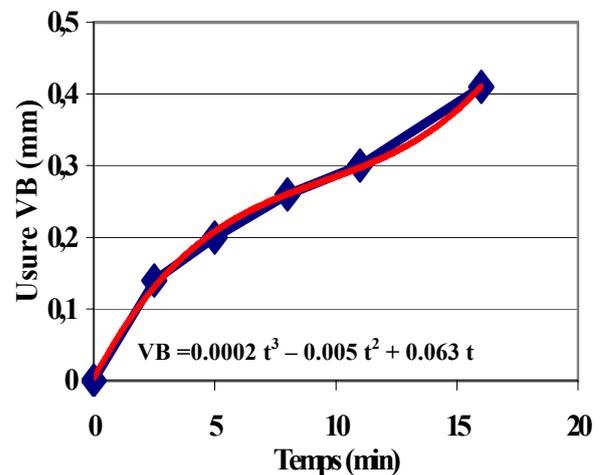
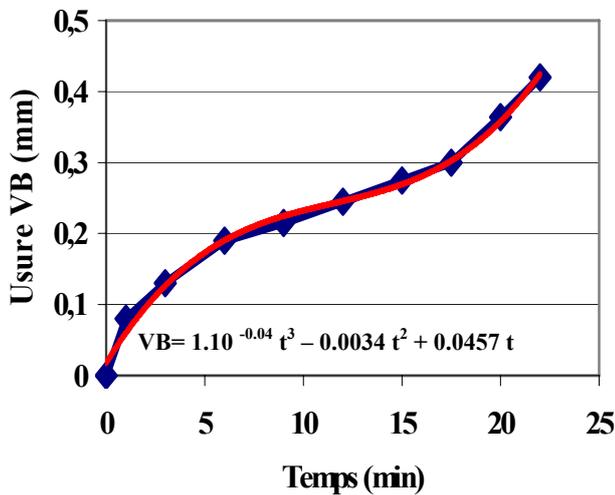
6- La détermination des modèles mathématiques de la tenue, usure et la rugosité présente un intérêt industriel important, puisqu'ils permettent la détermination des conditions d'usinage optimales et l'élaboration des abaques.



a) $V_c = 85$ m/min



b) $V_c = 115$ m/min



REFERENCES

- [1]-Poulachon G., Aspects phénoménologiques, mécaniques et métallurgiques en tournage CBN des aciers durcis. Thèse de doctorat de L'ENSAM de cluny, 1999.
- [2]-DAWSON.T.G; machining hardened steel with polycrystalline cubic boron nitride cutting tools Georgia institute of technology 2002.
- [3]-Remadna.M, «Le comportement du système usinant en tournage dur. Application au cas d'un acier trempé usiné avec des plaquettes CBN (Nitrure de Bore Cubique)», Thèse, INSA-Lyon, 2001.
- [4]-Shigley, Joseph E.; Mischke, Charles R.; Mechanical Engineering Design, Mc Graw- Hill; 1989.
- [5]- Poulachon.G, Usinabilité des matériaux difficiles : application aux aciers durcis. Techniques de l'ingénieur. BM7048.200
- [6]-Hug J. L., Tournage des métaux durs, Machine de production, N° 110 pp 17-19, 1995.
- [7]-Yallesc.M.A, Boulanouar.L et Chaoui.K, Usinage de l'acier 100Cr6 trempé par un outil en nitrure de bore cubique, Revue Mécanique et industries, volume 5, N°4, pp355-368, 2004.
- [8]-Nother A.T, Heath J.P, Usinage des métaux ferreux de grande dureté à l'aide de l'amborite, Matériaux et Techniques, N°386, pp 301, 1981.
- [9]-Norme Internationale ISO 3685-1977 (F), Tool-life testing with single-point turning tools, PP.5-15, première Edition 1977.
- [10]-Yallesc.M.A, Rigal J.F, Chaoui.K et Boulanouar.L, The effects of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 Steel (60HRC). Journal of engineering Manufacture, Proceedings of the ImechE part B, Vol. 219, pp.35-55, (2005). [11]-Bodart .E, « Une méthode rapide de mesure de l'usinabilité et les essais de longue durée » CIRP ANNALES, pp.261-263, 09/1990,

- [12]-Bedrin.C; Roumesy.B., Usinage par outil coupant Fascicule 1-2, INSA Lyon 1989.
- [13]-Bouchelaghem H, Étude de l'impact des conditions de coupe et de l'usure sur les différents paramètres technologiques en tournage dur, mémoire de magister, université de Guelma 2006.
- [14]-KÖning W et al., "Machining of hard materials", Annals of the CIRP, pp.417-427, 1984.
- [15]-Kevin Y. Chou C., Evans J. and Barash M.M, Experimental investigation on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel, Journal of Materials Processing Technology, V134, Issue 1.1, pp 1-9, March 2003.
- [16]-Zimmerman, M., Lahres, M., Viens, D.V., Loube, B.L., " investigation of the wear of cubic boron nitride cutting tools using Auger electron spectroscopy and X-ray analysis by EPMA", wear, vol. (207) pp.(241-249), 1997.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein des laboratoires LMS dans le cadre d'un projet de recherche autorisé par le Ministère Algérien de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique sous le code J2401/03/80/06 (Université de Guelma). Les auteurs remercient le MESRS pour l'aide financière à l'acquisition du rugosimètre, le matériel de microscopie et le matériau de coupe CBN.