

ETUDE DE L'INFLUENCE DES PARAMETRES DE COUPE SUR L'ENDOMMAGEMENT DES OUTILS DE COUPE EN TOURNAGE SEC

Fayçal BENTALEB¹, Idriss AMARA²

¹Département de Génie Mécanique - Faculté des Sciences Appliquées – Université de Ouargla
^{1&2}Laboratoire Ingénierie des Transports et Environnement – Faculté des Sciences de la Technologie
 Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie

Reçu le 10 Janvier 2012 – Accepté le 23 Novembre 2014

Résumé

Le travail présenté dans cet article vise à analyser l'usure et le mode de détérioration des outils de coupe en carbure métallique en tournage à sec. Il est fondé sur l'application d'un plan d'expérience et inclut le contrôle de l'usure de la face de coupe. Pour cela, des essais de chariotage ont été réalisés sur des éprouvettes en acier faiblement allié trempé F_K 20 MnCr5 usiné par des plaquettes en carbure revêtues de marque Sandvik (TNMG 16 04 08 PM).

Les résultats obtenus ont permis d'étudier l'influence des variables de coupe (vitesse de coupe, avance et profondeur de passe) sur les types d'usure, nous avons identifié plusieurs modes de détérioration des revêtements de carbures métalliques : abrasion, diffusion, échauffement superficiel, déformation plastique, fissuration, etc., ainsi que la formation d'une arête rapportée.

Mots clés : Tournage à sec, usure, mode de détérioration, paramètres de coupe, arête rapportée.

Abstract

The work presented in this article aims to analyze the wear and deterioration of the mode of cutting tools for metal carbide dry shooting. It is based on the implementation of a plan of experience and includes the control of the wear of the cutting face. For this, the stock removal tests were conducted on specimens tempered low alloy steel FK 20 MnCr5 machined by carbide inserts coated Sandvik brand (TNMG 16 04 08 PM).

The results were used to study the influence of cutting variables (cutting speed, feed and depth of cut) on the types of wear, we identified several modes of deterioration of metal carbides coatings: abrasion, diffusion, surface heating, plastic deformation, cracking, etc., and the formation of an added edge.

Key words : Dry Turning / wear / damage mode / Cutting parameters / up edge

ملخص

يهدف العمل المقدم في هذا المقال إلى تحليل التآكل و التدهور في أدوات قص المعادن بالخراطة الجافة. انه يقوم على تنفيذ خطة الخبرات ويشمل مراقبة تآكل وجه أداة القص. من أجل ذلك، أجريت الاختبارات على عينات من سبائك الصلب المقساة F_K 20 MnCr5 التي شكلت باستخدام صفائح كربونية مطلية تحمل علامة ساندفيك (TNMG 16 04 08 PM).

النتائج المحصل عليها سمحت لنا بدراسة تأثير متغيرات القطع (سرعة القطع، التقدم وعمق قطع) على نوع التآكل، لقد حددنا عدة طرق لتدهور أدوات القطع من نوع كربون معدني مطلي منها: كشط، نشر، تسخين سطحي، تشويه اللدن، تكسير وغيرها، مع ملاحظة تشكيل الحافة المضافة.

كلمات مفتاحية : خراطة جافة، تآكل، طريقة تدهور، متغيرات القطع، حافة مضافة.

L'objectif des travaux de recherche en fabrication mécanique a toujours été de trouver des solutions pour améliorer la productivité et la qualité des pièces usinées : faire le plus de pièces possible, le plus rapidement possible, en réduisant au mieux les coûts et les défauts de production [1].

L'interface outil-copeau est un lieu d'interactions complexes entre phénomènes mécaniques, thermique et physico-chimique. La surface de l'outil en contact avec le copeau subit diverses formes d'usures qui sont les résultats de mécanismes tels que l'adhésion, l'abrasion et la diffusion. La qualité des pièces produites dépend largement des conditions de coupe, et cette qualité est un paramètre important lors de la production des pièces mécaniques [2].

La coupe des métaux est un processus thermomécanique fortement couplé dans lequel les déformations plastiques, la chaleur et les phénomènes de frottement jouent un rôle critique en termes d'usure [3]. Ceux-ci ayant lieu dans une région très petite autour du nez de l'outil, les phénomènes liés à la tribologie de la coupe sont difficiles à étudier et à modéliser [4].

Le but de cet article est d'analyser le déroulement de la coupe lors du tournage à sec de l'acier Fk 20 Mn Cr5 avec un outil en carbure métallique revêtu de marque Sandvik (référence : TNMG 16 04 08-PM) afin de comprendre l'influence des phénomènes de collage sur la face de coupe et l'état de surface.

1. PRESENTATION DE L'EXPERIENCE

Les essais sur lesquels sont fondés ces modes de caractérisation sont, trop souvent, de nature statique. Or le comportement des plaquettes revêtues est très différent en dynamique. En conséquence, nous nous avons utilisé des techniques permettant d'enregistrer les variations dynamiques du comportement des revêtements, et caractériser le mode de détérioration de ces derniers [5].

L'objectif de notre étude est l'analyse de l'usure des plaquettes revêtues en carbure métallique. Il est donc indispensable de se fixer des conditions opératoires aussi reproductibles que possible et simple. C'est pourquoi on a choisi :

1.1. Matière usinée

La matière usinée est le Fk 20 Mn Cr 5 qui est un acier faiblement allié trempé avec des grains fins fréquemment utilisé dans l'industrie.

Tableau 1 : Caractéristique du matériau utilisé

Symbole	Composition				Traitements Thermiques	Re	R	A	Kcu	HB	Emplois
	C	Si	Mn	Cr							
20 Mn Cr 5	0.17	≤ 0.40	1.10	1.00	TH 850	≥ 80	95 ÷ 115	≥ 12	≥ 4	269 - 321	Pignon Différentiels Arbres
	÷ 0.22		1.40	1.30	RV 550						
					TH 850	≥ 90	115 ÷ 145	≥ 8	≥ 4	341 - 444	
					RV 200						

Cet alliage permet donc de se placer dans des conditions d'usinage représentatives de la réalité industrielle. Ces propriétés en usinage sont les suivantes (tableau 1).

1.2. Porte plaquette

Une forme d'outil porte plaquette fixe (figure 1) est adapté aux conditions de tournage (référence P PTGNR 16 16 H16).



Figure 1 : Porte plaquette P PTGNR 16 16 H16.

1.3. Plaquette

La plaquette (figures 2 et 3) choisie est réversible, de marque Sandvik (référence : TNMG 16 04 08-PM) comportant 3 arêtes de coupe par plaquette.

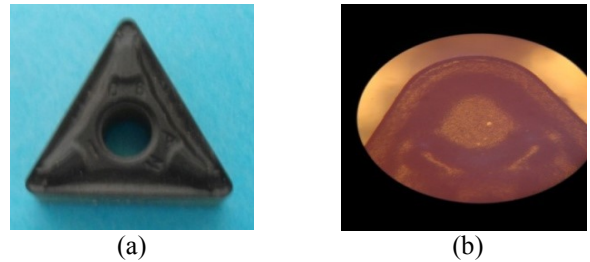


Figure 2 : Vue de la plaquette Sandvik TNMG 16 04 08-PM (a) Plaquette complète ; (b) Vue détaillée de la plaquette

1.4. Microscope

La mesure de l'usure de l'outil durant cet essai se fait grâce à un microscope (figure 3). L'acquisition d'image se fait à l'aide d'une caméra digitale camera power shot A95 de marque Canon.



Figure 3 : Microscope optique pour la mesure d'usure

1.5. Rugosimètre et étalon de rugosité

Pour étudier les critères de rugosité R_a , R_t et R_z , nous avons utilisé un rugosimètre (2D) Mitutoyo, équipé d'une imprimante de profil de rugosité (figure 4. a). Ce dernier a été étalonné à l'aide d'un étalon de rugosité de $R_a = 2,97 \mu\text{m}$ et $R_{\text{max}} (R_y) = 9.4 \mu\text{m}$ (figure 4.b).



Figure 4 : (a) Rugosimètre MITUTOYO, (b) Etalon d'étalonnage du rugosimètre.

2. PARAMETRES DE COUPE

Les paramètres de la coupe sont, d'une part, des grandeurs qui caractérisent, les déplacements de l'outil et de la pièce usinée (paramètres de coupe cinématiques) et, d'autre part, les valeurs des surépaisseurs d'usinage et des dimensions de coupe (paramètres de coupe géométriques) [6] [7].

Les paramètres de coupes utilisées pendant l'expérience sont représentés comme suit:

- Plaquette P1: $f = 0.15$ (mm/tr) ; $a_p = 2$ (mm) et $V_c = 175$ (m/min).
- Plaquette P2 : $f = 0.15$ (mm/tr) ; $a_p = 2.5$ (mm) et $V_c = 175$ (m/min).

3. RESULTATS

3.1. Courbe P - T

La figure 5 représente l'évolution du poids des plaquettes P1 et P2 par rapport au temps d'usinage.

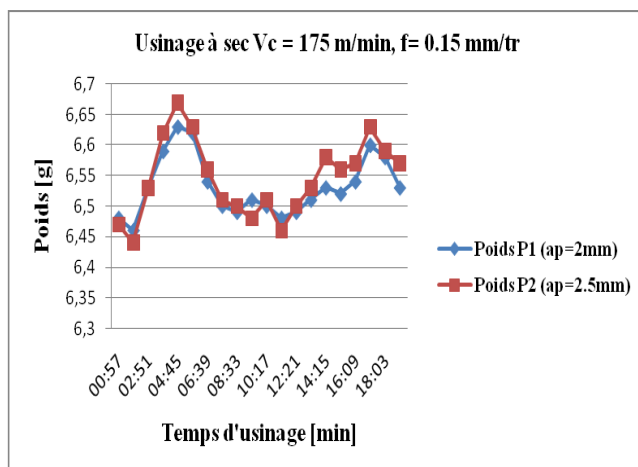


Figure 5 : Evolution du poids des plaquettes par rapport au temps d'usinage.

Nous remarquons que les deux plaquettes agissent de la même façon :

- Durant les deux premiers passes : Le poids des deux plaquettes diminue à cause de l'élimination des couches superficielles constituant le revêtement.
- De la 3^{ème} à la 5^{ème} passe : Le poids des deux plaquettes a augmenté, puisqu'il y a diffusion de la matière enlevée (copeaux) vers la plaquette, ainsi que des micros soudures qui se forment sur la face de coupe constituant l'arête rapportée.
- Après la 5^{ème} passe : Le poids des deux plaquettes a diminué ; c'est la conséquence de l'évacuation de l'arête rapportée.
- A la 15^{ème} passe : Le poids des deux plaquettes a augmenté ; puisqu'il y a constitution d'une deuxième arête rapportée.
- Après la 18^{ème} passe : Le poids des deux plaquettes a diminué ; c'est la conséquence de l'évacuation de la deuxième arête rapportée.

3.2. Analyse VB - T

La figure 6 représente l'évolution de la hauteur d'usure VB de deux plaquettes par rapport au temps d'usinage.

On obtient une faible détérioration au début de l'usure pour atteindre un palier plus ou moins long pendant lequel, la rugosité n'évolue pas avant la mort de l'arête.

L'usure n'est pas proportionnelle à la durée d'usinage, car plusieurs stades d'usure se succèdent.

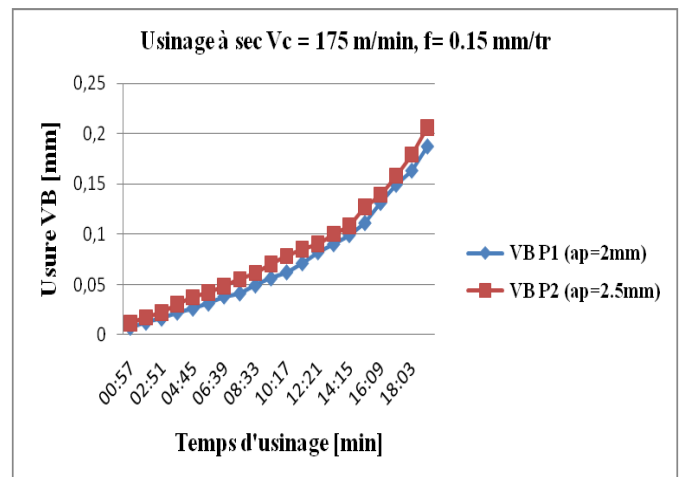


Figure 6 : Evolution de la hauteur d'usure par rapport au temps d'usinage.

On observe une 1^{ère} zone de rodage de l'arête avec uniquement l'usure en dépouille qui évolue rapidement.

Par la suite, l'usure est maîtrisée et c'est l'usure en cratère qui est observée sur la face de coupe de l'outil.

Enfin, l'outil se trouve dans une usure catastrophique ou l'usure mesurée par VB n'est plus maîtrisable, si l'usinage est prolongé on arrive à l'arrachement de l'arête de coupe.

3.3. Analyse R - Vu

Les figures (7, 8, et 9) présentent l'évolution de Ra, Rt et Rz en fonction de la quantité de matière usinée.

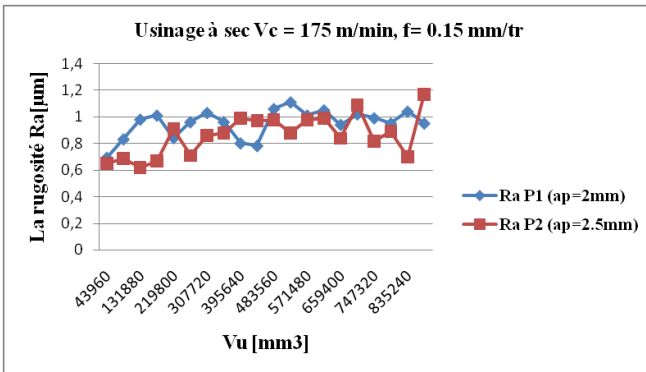


Figure 7 : Evolution de la rugosité Ra par rapport au volume des copeaux.

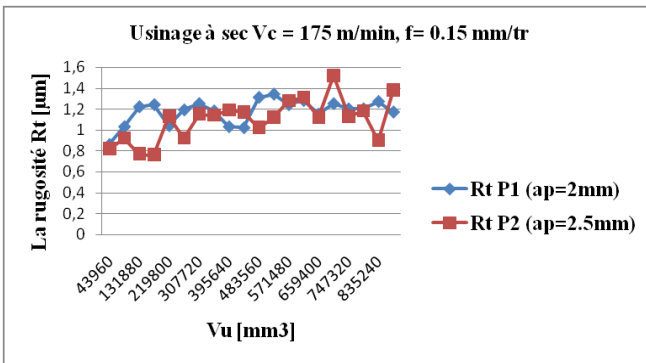


Figure 8 : Evolution de la rugosité Rt par rapport au volume des copeaux.

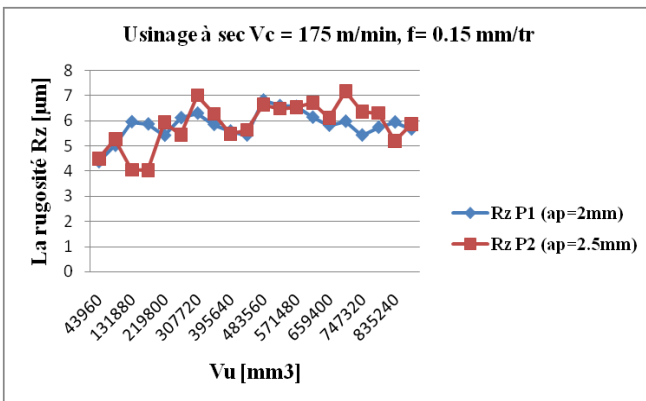


Figure 9 : Evolution de la rugosité Rz par rapport au volume des copeaux.

On constate que :

- De 0 à 393560 mm³ : L'état de surface de la pièce usiné avec la plaquette P2 est meilleur que celle usiné avec la plaquette P1 à cause de la constitution de l'arrêt rapportée.
- De 393560 à 659400 mm³ : L'état de surface des deux pièces est quasi identique à cause de l'élimination de l'arrêt rapportée.

- Au delà de 659400 mm³ : L'état de surface de la pièce usiné avec la plaquette P1 est meilleur que celle usiné avec la plaquette P2 à cause de la constitution d'un deuxième arrêt rapportée qui est plus remarquable à la plaquette P2.

3.4. Etude du contact outi-pièce

La quasi-totalité des essais a été réalisée dans le cadre du plan d'expérience. L'étude du contact outil-pièce a donc été faite à travers les plans d'expérience en suivant l'évolution des variables de sortie fortement dépendantes de ce contact. Usure en dépouille et usure en cratère.

3.4.1. Usure en dépouille

La variable de sortie décrivant l'usure en dépouille de l'outil est : V_B qui représente la hauteur maximum de l'usure en dépouille et qui sera un critère d'arrêt.

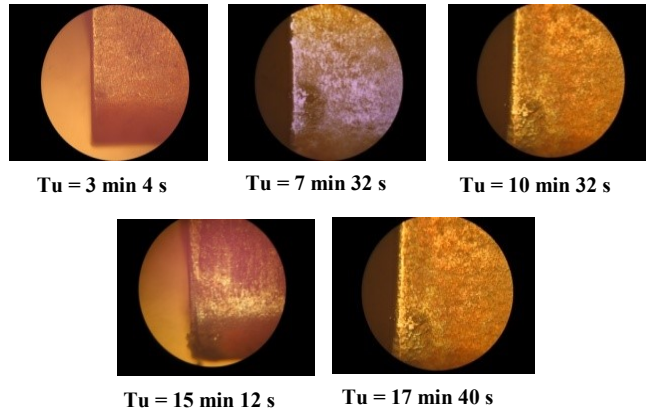


Figure 10 : Evolution de l'usure en dépouille de la plaquette P1

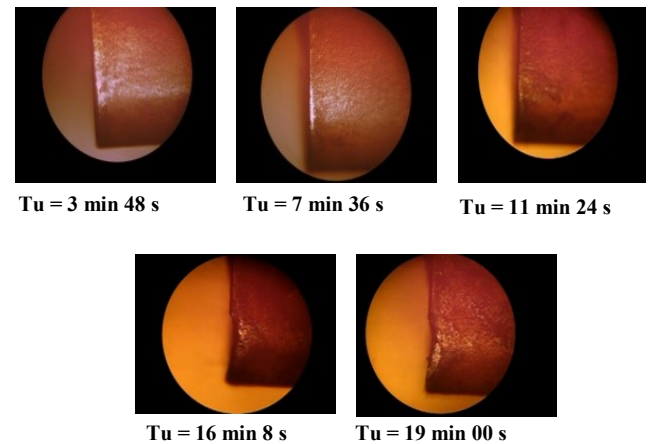


Figure 11 : Evolution de l'usure en dépouille de la plaquette P2

Si nous analysons les faciès d'usure sur la face en dépouille de deux plaquettes P1 et P2 (figures 10 ; 11), nous constatons deux mécanismes d'usures différentes :

1. Arête rapportée

Les surfaces de l'outil et du copeau ont une micro géométrie qui comporte des aspérités (figure 12). Compte tenu des effets de coupe imposés, des jonctions métalliques, véritables microsoudures se forme. Celles-ci sont rompues

en continu puisqu'il y a mouvement relatif du copeau et de l'outil. Ces jonctions sont plus résistantes que le métal voisin du copeau, donc les endommagements se produisent dans la masse du copeau et des fragments du copeau viennent adhérer sur l'outil, ce qui constitue une arête rapportée (figure 13).

Des grains de la matière sur la face de coupe

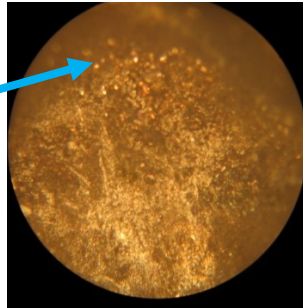
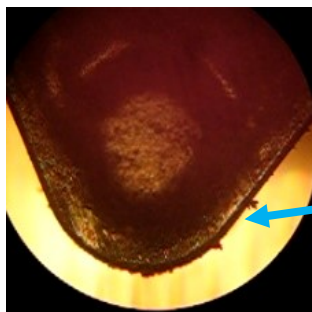


Figure 12 : Diffusion de la matière dans la plaquette.



Formation de l'arête rapportée

Figure 13 : Arête rapportée

2. Usure par abrasion

Elle est caractérisée par la formation de bandes striées dans la direction du copeau le long de la face de coupe. Ce sont les particules dures qui sont à l'origine de cette usure. De micro copeaux sont ainsi arrachés à l'outil par ces éléments durs qui sont sans cesse renouvelés au cours de l'usinage (figure 14). Cette usure est dominante quand le contact à l'interface outil copeau est essentiellement du glissement.

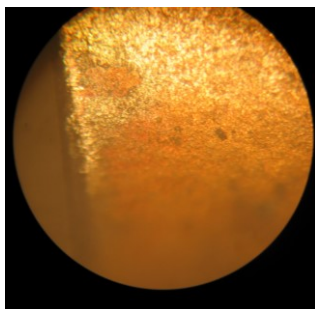


Figure 14 : Usure par abrasion

34.2 Usure en cratère

La variable de sortie mesurée décrivant l'usure en cratère de l'outil est : KT qui représente la profondeur maximum de l'usure en cratère sur la face de coupe (figure 15).

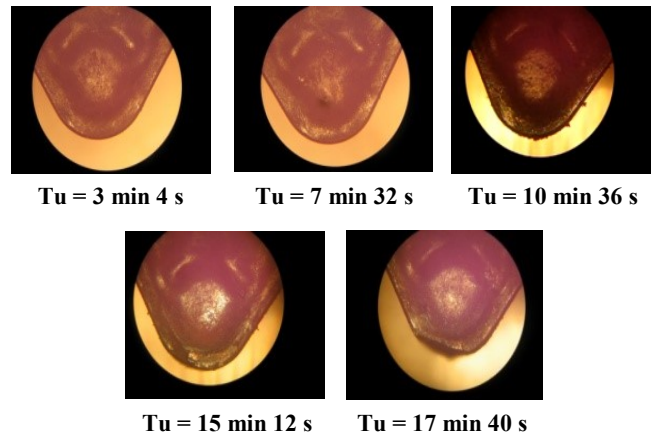


Figure 15 : Evolution de l'usure en cratère de la plaquette P1.

Si nous analysons les faciès d'usure sur la face de coupe, nous constatons que pendant le début d'essai, l'usure dominante est l'arête rapportée tandis que l'usure en cratère est presque nulle (figure 16).

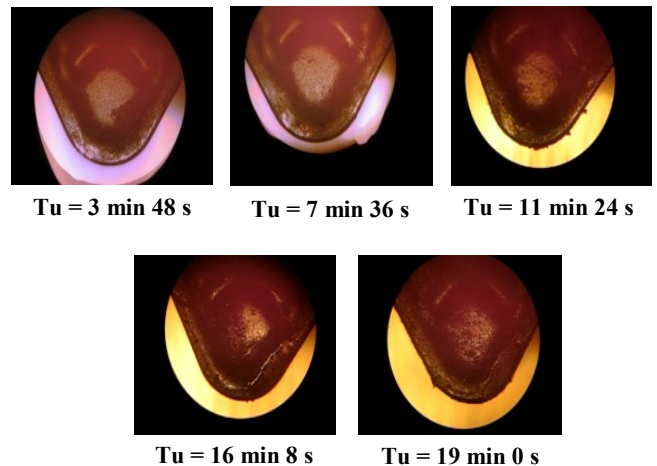


Figure 16 : Evolution de l'usure en cratère de la plaquette P2

C'est seulement qu'au début de la 2^{ème} passe qu'apparaît cette usure qui est due à la diffusion de la matière enlevée (copeaux) vers la face de coupe de l'outil, cette usure est caractérisée par la profondeur de cratérisation KT qui vaut 15 [μ m] après 19 Min d'usinage.

CONCLUSION

Le travail présenté ici vise à analyser l'usure et le mode de détérioration des outils de coupe en carbure métallique lors d'une opération de chariotage d'une ébauche, en tournage à sec.

Dans les zones de forte pression sur l'arête de coupe, la détérioration est manifeste dès la première passe. Les revêtements qui ont une épaisseur de dépôt très faible, de l'ordre de quelques microns, sont donc éliminés de l'arête initiale de l'outil dès les premières secondes d'usinage. Malgré cette altération des conditions de travail qui tendraient à uniformiser les comportements des revêtements et à le rapprocher de celui de l'outil non revêtu, ceux-ci

gardent leurs caractéristiques et leurs apports distinctifs dans l'usinage. Nous avons toujours observé l'émergence des revêtements sur la face de dépouille, aux limites des zones d'usure. On doit en déduire que cette présence suffit à modifier les conditions de coupe. La formation de cratère, sur la face de coupe de l'outil, en arrière de l'arête de coupe, a pu être observée à compter de la deuxième passe d'où s'est manifestée la détérioration effective des arêtes de coupe et la durée de vie a été atteinte, juste avant que se manifeste la cratérisation par frottement du copeau sur l'outil. Par contre, nous avons identifié plusieurs modes de détérioration des revêtements de carbures métalliques : abrasion, diffusion, échauffement superficiel, déformation plastique, fissuration, etc., ainsi que la formation d'une arête rapportée.

REFERENCES

- [1] M. Rami. Etude de l'évolution des caractéristiques des plaquettes de coupe en tournage à sec. Mise en place de critère d'aide à la décision du changement de plaquette. Application cas de l'ébauche de turbines de pompage. Thèse de doctorat soutenu le 11/02/2011 à l'université de Toulouse- France.
- [2] K. Bouacha. Comportement du couple outil-matière lors de l'usinage des matériaux durs. Thèse de doctorat soutenu le 11/01/2011 à l'université de 08 Mai 1945 Guelma- Algérie.
- [3] L. Gautier. Etude des mécanismes d'endommagement des outils carbure WC-CO par la caractérisation de l'interface outil copeau application à l'usinage à sec de l'alliage d'aluminium aéronautique AA2024 T351. Thèse de doctorat soutenu en décembre à l'école Nationale supérieure d'Arts et Métiers Centre de Bordeaux-France.
- [4] H Gokkaya, M Nalbant. The effects of cutting tool geometry and processing parameters on the surface roughness of AISI 1030 steel. *Materials and Design*.
- [5] 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 soutenu en 2001 à l'INSA de Lyon- France.
- [6] Y. Schoefs, S. Fournier, J. C. Léon, Production mécanique, Edition Delagrave, 1994, France.
- [7] Outils de tournage. Sandvik Coromant, 2000, p A248-249.