

**ETUDE ET MODELISATION DE
L'USURE D'UNE FRAISE A
SURFACER A PLAQUETTES
RAPPORTEES AMOVIBLES EN
CARBURE METALLIQUE**

L BOULANOUAR *
M BENGHERSALLAH*

Résumé

Nous présentons dans ce travail les résultats d'une recherche expérimentale, relative à l'étude et à la modélisation de l'usure des plaquettes en carbure métallique (P35), au cours du fraisage de face de l'acier XC18. Cette étude a permis la déduction de modèles mathématiques, exprimant la relation entre la durée de vie de la fraise et les éléments du régime de coupe ainsi que la relation entre l'usure frontale et le temps de travail, pour les différentes combinaisons du plan des expériences considéré. Les résultats et les modèles mathématiques obtenus ont été analysés et interprétés physiquement.

Abstract

**THE STUDY AND MODELLING OF WEAR FOR A REMOVAL PLAIN MILLING CUTTERS
IN METALLIC CARBIDE INSERTS**

In this work it is shown the experimental results of a research relating to the study and modelling of wear for metallic carbide inserts (P35), during plain milling the XC18 steel. This study has allowed the deduction of a mathematical models, expressing the relation-ship between the tool life and the cutting regime elements, as well as the relation-ship between the face wear and time of work, this is used for the various combinations of the considered experimental planning. Results of the obtained mathematical models, have been physically analyzed and interpreted.

Mots clés : Usure, plaquette, fraise, carbure métallique, modélisation.

Key words : wear, insert, cutter, metallic carbide, modelling.

Introduction

L'usure des outils est un processus de destruction de couches superficielles, qui conduit à la modification progressive de la forme et l'état de surface des pièces usinées. Elle affecte également la géométrie de l'outil, la température, les efforts de coupe, la précision d'usinage et la rugosité de la surface usinée. Elle se traduit avant tout par un arrachement de petites particules de métal de ses surfaces d'attaque et de dépouille principale et auxiliaire. L'usure suivant la surface d'attaque, caractérisée le plus souvent par la profondeur du cratère KT , est due à son frottement avec le copeau, alors que celle de dépouille principale et auxiliaire, caractérisée par les éléments VB_{max} , VB , VN , VC , VS ...etc. (Figure 1) est due au contact avec la surface de coupe et celle usinée de la pièce.

Il est à noter que l'usure des outils de coupe se manifeste dans des conditions de travail beaucoup plus difficiles que celles des pièces de machines. En effet la pression spécifique dans les surfaces de contact de pièces de machines ne dépassent pas quelques MPa et la température d'échauffement est inférieure à 100°C , alors que la pression spécifique dans les surfaces de contact de la partie active d'un outil est de l'ordre de 10^3 à 2.10^3 MPa et la température d'échauffement est de 100°C à 1000°C et plus [1,2].

Dans le processus de coupe et suite à l'action intensive et mutuelle entre les surfaces de contact de la partie active de l'outil et celle de la pièce à usiner, surgissent de grands efforts de coupe, de hautes températures et autres facteurs, qui provoquent l'apparition de l'usure sur les surfaces de la partie active de l'outil. Ceci conduit à la dégradation de la précision et de la rugosité de la surface usinée. En fonction des conditions de travail, l'usure des outils se manifeste d'une manière très variée. En règle générale, l'outil s'use suivant la surface d'attaque et les surfaces de dépouille. Néanmoins les conditions de travail (temps, propriétés physico-mécaniques de la matière à usiner et celles du matériau de l'outil, éléments du régime de coupe, liquide de lubrification et d'arrosage, rigidité du système MODOP...etc.), peuvent faire dominer tel ou tel type d'usure [1,3].

En se basant sur ce bref aperçu, traitant la question de l'usure des outils de coupe, on constate que les principaux paramètres technologiques, tels que la précision d'usinage, la qualité de l'état de surface, le prix de revient, la productivité de travail...etc., sont en relation directe avec l'usure. Par conséquent l'étude approfondie de l'usure est une tâche d'une grande importance économique et technologique pour les entreprises de fabrication mécanique. C'est pourquoi dans cet article nous allons étudier expérimentalement le comportement à l'usure des pastilles en carbure métallique d'une fraise à surfacer, sous l'effet de la variation des

éléments du régime de coupe (Vitesse de coupe V , avance par dent f_z et profondeur de passe d) et du temps de travail, ainsi que la modélisation mathématique de l'usure en fonction du temps pour les différentes conditions de travail considérées.

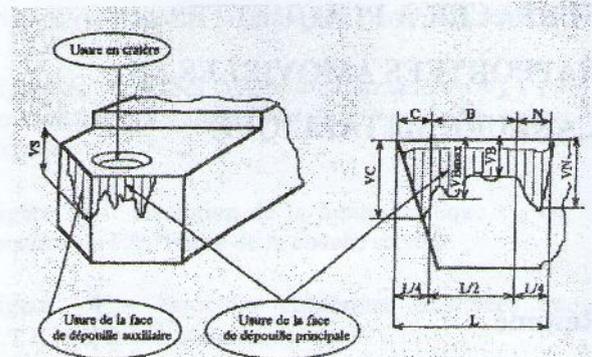


Figure 1- Eléments caractéristiques de l'usure.

Procédure expérimentale

Dans le but d'augmenter et satisfaire le caractère complexe et aléatoire du processus de coupe, les essais ont été réalisés d'après la méthode classique de longue durée, associée à celle de planification des expériences (Tableau 1) [4, 5, 6]. Les équipements utilisés pour la réalisation de cette étude ainsi que les conditions de travail sont les suivants:

Equipements utilisés

Machine-outil

Fraiseuse verticale, type 6H11, ayant une puissance sur la broche de 4,5 kW.

Outil de coupe

Fraise à surfacer ($\varnothing 100$ mm.) à plaquettes rapportées (08 dents) en carbure métallique (P35), ayant respectivement la géométrie et désignation suivante: $\alpha_0 = 11^{\circ}$, $\gamma_r = 75$, $\gamma_0 = 3^{\circ}$,

$\lambda = 3^{\circ}$ et SPMR 12 03 08 FR.

Matière à usiner

acier XC 18 avec les caractéristiques mécaniques suivantes: HRB = 77, $R_m = 59$ daN/mm², $\Delta l = 10\%$. Les éprouvettes sont de dimensions 300mm x 120mm x 98mm.

Appareil de mesure

Microscope d'atelier, modèle MMN-2, ayant une précision de 5 μm .

2.2 Conditions de coupe

* Les éléments du régime de coupe varient dans les intervalles suivants:

$V = (66 \div 154)$ m/min; $f_z = (0,019 \div 0,17)$

mm/dent et $d = (1 \div 2,5)$ mm.

* Les essais ont été effectués à sec.

L'usure admissible retenue est 0,35 mm pour VBmax et 0,15 mm pour KT.

$$V_T = \frac{690}{T^{1,016} f_z^{0,916} d^{-0,083}} \quad (1)$$

$$T = \frac{e^{6,432}}{V^{0,984} f_z^{0,901} d^{-0,082}} \quad (2)$$

Résultats des essais et leur traitement

Les résultats du suivi de l'usure de la fraise en fonction des différentes combinaisons du régime de coupe et du temps de travail sont exprimés graphiquement par la Figure 2. Le traitement graphique de ces résultats a permis la détermination des tenues (Tableau 1).

Le traitement statistique de ces résultats (Tableau 1) a permis la déduction des modèles mathématiques (1) et (2), exprimant la relation entre le paramètre de sortie (Tenue) et les paramètres d'entrée (éléments du régime de coupe). L'adéquation de ces modèles est exprimée par le coefficient de corrélation R, qui est en l'occurrence égal à 0,943.

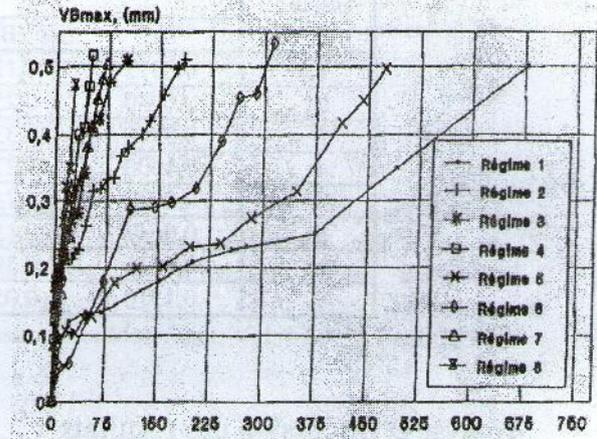


Figure 2- Evolution de l'usure VBmax en fonction du temps pour les huit combinaisons du plan des expériences

Tableau 1: Tenue en fonction des différentes combinaisons du plan des expériences

N° Essais	FACTEURS						PARAMETRE Tenue (T)
	Valeurs codifiées			Valeurs naturelles			
	X ₁	X ₂	X ₃	V	f _z	d	
1	-1	-1	-1	66	0,019	1	490
2	+1	-1	-1	154	0,019	1	90
3	-1	+1	-1	66	0,17	1	45
4	+1	+1	-1	154	0,17	1	30
5	-1	-1	+1	66	0,019	2,5	370
6	+1	-1	+1	154	0,019	2,5	220
7	-1	+1	+1	66	0,17	2,5	45
8	+1	+1	+1	154	0,17	2,5	22

La modélisation mathématique des résultats expérimentaux (Figure 2) de l'usure (VBmax) en fonction du temps (τ) pour les différentes combinaisons du plan des expériences a permis la

déduction des lois d'usure du type modèle de Granovsky [5].

$$VB \max = A \cdot \tau^B \cdot e^{D\tau}$$

Les valeurs des constantes (A) et des exposants (B et D) de ces modèles sont déterminées d'après la

méthode des moindres carrés. Elles sont portées sur le Tableau 2.

Tableau 2: Valeurs des constantes et des exposants des modèles de l'usure.

N° essais	Usure $VB_{max} = f(\tau)$			Coefficient de corrélation (R)
	Constante s	Exposants		
	A	B	D	
1	0,0572	0,120	0,001	0,979
2	0,0940	0,253	0,020	0,994
3	0,0940	0,330	0,002	0,998
4	0,1000	0,270	0,011	0,990
5	0,0072	0,745	-0,00018	0,983
6	0,0642	0,152	0,0022	0,993
7	0,0616	0,396	0,0064	0,994
8	0,1510	0,058	0,0365	0,989

Analyse et discussion des résultats

L'analyse des résultats de l'usure, montre que l'évolution de l'usure de chaque dent est en générale différente de celle des autres dents et ceci est presque valable pour tous les essais réalisés. Tout en notant que l'allure de la forme de la bande d'usure est presque la même pour toutes les dents. En effet l'usure est plus marquée au voisinage du bec, puis elle diminue tout en s'éloignant et elle finit par une nouvelle augmentation. Ce qui permet de conclure que la forme de la bande d'usure en fraisage évolue dans le sens inverse à celui du tournage [5, 6, 7 et autres]. La forme de la bande d'usure est ainsi car le bec de la dent de la fraise est soumis à des chocs cycliques, qui provoquent l'arrachement plus intense de particules au voisinage du bec. Autrement dit cette zone de l'arête tranchante est relativement plus sollicitée (chocs plus température). L'accroissement de la largeur de la bande d'usure vers la fin de la surface de contact (plaquette-pièce) est du d'une part à l'effet de la vitesse de coupe et d'autre part à l'érouissage de la surface à usiner.

L'analyse des courbes d'usure (Figure 2) et des valeurs de la tenue (Tableau 1), montre que la vitesse de coupe a l'influence la plus marquée sur l'usure, suivie par l'avance et enfin la profondeur de passe. Ce degrés d'influence est justifié aussi par les valeurs absolues des exposants du modèle. (1). L'explication réside dans le fait qu'avec l'augmentation de la vitesse et l'avance, la température dans la zone de coupe augmente, ce qui accélère le processus de l'usure et par conséquent la tenue diminue. La faible influence de la profondeur de passe s'explique probablement par l'amélioration des conditions

d'évacuation de la chaleur de la zone de coupe (surface de contact augmente).

Les modèles exprimant la relation entre l'usure et le temps de travail sont en bonne corrélation avec les valeurs de l'usure, relevées expérimentalement. L'analyse des valeurs absolues des coefficients (A) et des exposants (B et D) de ces modèles (Tableau 2) pour les différents régimes de coupe, montre qu'elles ne sont pas constantes, mais elles sont fonction des éléments du régime de coupe.

5. Conclusions

Les principales conclusions tirées de cette étude sont :

- 1) Il a été établi que l'usure des dents de la fraise, malgré qu'elles travaillent dans les mêmes conditions, se manifeste différemment d'une dent à l'autre.
- 2) La morphologie de la bande d'usure en fraisage, évolue dans le sens inverse à celui du tournage
- 3) Il a été établi expérimentalement que l'usure suivant la surface en dépouille auxiliaire est importante et elle peut influencer l'usure générale de l'outil.
- 4) Des modèles mathématiques, exprimant la relation entre la durée de vie et les éléments du régime de coupe ainsi que l'usure et le temps de travail, ont été déduits.
- 5) En tenant compte de l'influence indirecte des éléments du régime de coupe sur les coefficients et les exposants du modèle de Granovsky, celui ci peut être élargi.

6) Les modèles obtenus sont nécessaires d'une part pour l'établissement des abaques et d'autre part pour les études éventuelles d'optimisation et laprédiction de l'usure, notamment dans la production en grande série et de masse.

Bibliographie

[1] **Popov S.** Coupe des métaux", Technica, Sofia, 1975.

[2] **Boulanour L., Khéhana M. & Belhadi S.,** Comportement à l'usure des plaquettes en carbure métallique P25, face à l'acier XC 30", 4ème Séminaire National de Mécanique, ENSET d'Oran, les 25 et 26 Avril 1995.

[3] **Andonov I. & Boulanour L.,** "Analyse morphologique de l'usure des pastilles non-réaffutables en carbure métallique, en tournage", Gabrovo, Bulgarie, 1985.

[4] **Adler Y. P. & Markova E. V.,** "Planification des expériences pour rechercher les conditions optimales", Naouka, Moscou, 1971.

[5] **Boulanour L.,** "Analyse statistique et orientations pour la prédiction de l'usure des outils de tour", Symposium Républicain, Varna, Bulgarie, 1985.

[6] **Boulanour L., Belhadi S. & Lahreche T.,** The effect of High Speed Steel tool lathe geometry on tool life" The Bulletin of "Cercle d'Etudes des Métaux", Tome XVI, n°13, pp. 25.1 - 25.10, St.-Etienne, Nov. 1996.

[7] **Mathon P.,** Usinabilité et lois générales de l'usinage des aciers et des fontes", Mécanique Matériaux Electricité, n° 246-247, 1970.

[8] **Cutard T., Viatté T., Feusier G. & Benoit W.,** High temperature mechanical behaviour of various cermets and hardmetals", The Bulletin of Cercle d'Etudes des Métaux" Tome XVI, n°13, , pp. 11.1 - 11.17, St.- Etienne, Nov. 1996.

[9]. **Maamar M., Girot F., Joubert F. & Lartigau J. P.,** Etude de l'usure des outils de coupe lors de l'usinage d'un composite (AS7G06+15% de SiC particulaire)" Mécanique Industrielle et Matériaux, Vol. 47-N°3, Sept. 1994.

* Institut de Genie Mécanique - Uniiversite d'Annaba