

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

*Etude de l'influence du champ magnétique sur
les outils de coupe*

Devant le jury composé de :

Khaled Mansouri

Président

Boulifa Mohamed Elias

Examinateur

Djilani Necib

Encadreur

Présenté par :

- Bouaziz Imad eddine

- Lakhouesse Oussama

- Bedida Salem

2020-2021

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence du champ magnétique sur l'usure des outils de coupe et le comportement d'usure de l'outil en fonction de la vitesse de coupe à partir de la perte de masse durant les opérations de chariotage et la nature de l'usure. Lors de nos expériences, nous avons constaté l'existence d'une valeur critique de l'intensité du champ magnétique $H=19.15kA/m$, qui provoque une résistance non négligeable à l'usure et détermine sa nature (pour laquelle l'usure de l'outil de coupe est minimale et l'arête tranchante de l'outil de coupe est préservée). Par ailleurs, l'étude a montré que la présence du champ magnétique dans le contact d'usinage (contact magnéto-tribologique) modifie radicalement la nature de l'usure et la forme des copeaux d'usinage.

Mots clés : Usinage, chariotage, champ magnétique, outil de coupe, usure, vitesse de coupe.

Abstract

In this work, we studied the influence of the magnetic field on the wear of cutting tools and the wear behavior of the tool as a function of the cutting speed taken from the loss of mass during the stock removal operations and the nature of the wear. During our experiments, we noted the existence of a critical value for the intensity of the magnetic field $H = 19.15kA / m$, which causes non negligible resistance to wear and determines its nature (for which the wear cutting tool is minimal and the cutting edge of the cutting tool is preserved). In addition, the study showed that the presence of the magnetic field in the machining contact (magneto-tribological contact) modifies radically the nature of the wear and the shape of the machining chips.

Keywords: manufacturing, turning, Magnetic field, cutting tool, wear, cutting speed.

المخلص

في هذا العمل ، قمنا بدراسة تأثير المجال المغناطيسي على تآكل أدوات القطع وبنية أدوات القطع بدالة سرعة القطع و ذلك بناء على الضياع في الكتلة أثناء عملية الخراطة بدون تشحيم. خلال تجاربنا ، لاحظنا وجود قيمة حرجة لشدة المجال المغناطيسي تقدر $H = 19.15kA / m$ ، والتي تسبب مقاومة غير مهمة للتآكل والحفاظ على طبيعة التآكل (حيث يكون تآكل أداة القطع في حده الأدنى و أسلوب طبيعة الحد القاطع كذلك أيضا). بالإضافة إلى ذلك ، أظهرت الدراسة أن وجود المجال المغناطيسي في التلامس الميكانيكي أثناء عملية الخراطة (التلامس المغناطيسي الترابيولوجي) يغير جذريا طبيعة التآكل وشكل رائش التصنيع.

الكلمات المفتاحية: التصنيع، الخراطة الطولية ، الحقل المغناطيسي، أداة القطع، التآكل، سرعة القطع.

Fig. II.6. Usure dépouille.....	21
Fig. II.7. Usure en cratère.....	22
Fig. II.8. Illustration du phénomène de l'induction magnétique.....	23
Fig. II.9. Paramagnétisme.....	25
Fig. II.10. Ferromagnétique.....	25
Fig. II.11. Ferrimagnétique.....	26
Fig. II.12. Evolution des domaines magnétiques dans un matériau ferromagnétique soumis à champ magnétique croissant.....	28

CHAPITRE III

Fig. III.1. Bobine.....	33
Fig. III.2. Schématisation du dispositif de mesure d'intensité du champ magnétique appliqué à l'outil.....	34
Fig.III.3. Evolution de l'intensité du champ magnétique en fonction de courant.....	35
Fig. III.4. Schéma général du dispositif expérimental (tour à charioter, modèle : CDS6250B).....	35
Fig. III.5. Pièce à usiner XC48.....	36
Fig.III.6. Structure métallographique de l'acier XC48.....	37
Fig.III.7. plaquette de type triangle TNMG220408-VM PC5300 : (a) vue d'ensemble de la plaquette et (b) vue de détail de la plaquette.....	38
Fig.III.8. fixation de la plaquette amovible sur le porte-outil.....	39
Fig. III.9. Microbalance de type DHAUS.....	40
Fig. III.10. Microscope optique de type OPTIKA.....	41

CHAPITRE IV

Fig. IV.1. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification
 $H = 0 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_C = 3 \text{ min}$ et
 $m_i = 9.7519 \text{ g}$43

Fig. IV.2. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification
 $H = 11.24 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_C = 3 \text{ min}$ et
 $m_i = 9.7292 \text{ g}$43

Fig. IV.3. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification
 $H = 19.15 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_C = 3 \text{ min}$ et
 $m_i = 9.6235 \text{ g}$44

Fig. IV.4. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification
 $H = 32.73 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_C = 3 \text{ min}$ et
 $m_i = 9.5894 \text{ g}$44

Fig. IV.5. Etat initial de l'outil de coupe.....45

Fig. IV.6. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H= 0 \text{ KA/m}$.
 $a=1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $l_c = 305 \text{ mm}$46

Fig. IV.7. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H= 11.24\text{KA/m}$.
 $a=1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $l_c = 305 \text{ mm}$47

Fig. IV.8. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H= 19.15\text{KA/m}$.
 $a=1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $l_c = 305 \text{ mm}$48

Fig. IV.9. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H= 32.73\text{KA/m}$.
 $a=1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $l_c = 305 \text{ mm}$49

Fig. IV.10. Evolution de la morphologie des copeaux sur l'usure des outils de coupe :
 $V_c = 28 \text{ m/min}$: (a) $H = 0\text{KA/m}$, (b) $H = 11.24\text{KA/m}$, (c) $H = 19.15\text{KA/m}$,
(d) $H=32.73\text{KA/m}$50

Fig. IV.11. Evolution de la morphologie des copeaux en fonction de vitesse de coupe
 $V_c = 39 \text{ m/min}$: (a) $H=0\text{KA/m}$. (b) $H=11.24\text{KA/m}$, (c) $H=19.15\text{KA/m}$.
(d) $H=32.73\text{KA/m}$51

Fig. IV.12. Evolution de la morphologie des copeaux en fonction de vitesse de coupe
 $V_c = 176 \text{ m/min}$: (a) $H=0\text{KA/m}$, (b) $H=11.24\text{KA/m}$, (c) $H=19.15\text{KA/m}$.
(d) $H=32.73\text{KA/m}$52

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III

Tableau .III.1. Caractéristiques de la bobine et du fil de cuivre.....	33
Tableau .III.2. Valeur exprimant l'intensité du champ magnétique en fonction de courant électrique I.....	34
Tableau. III.3. Acier XC48.....	37
Tableau .III.4. Dimensions des plaquettes type triangle.....	38

Sommaire

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralités Sur l'usinage par enlèvement de matière.

- I.1. Introduction..... 3
- I.2. Tournage 3
 - I.2.1. Définition... 3
 - I.2.2. Principe de tournage..... 4
- I.3. Outil de coupe ... 4
 - I.3.1. Géométrie de l'outil de coupe 4
 - I.3.2. Différentes parties de l'outil ... 5
 - I.3.3. Classification des outils de coupe 5
 - I.3.4. Matériau d'outil de coupe 6
 - I.3.5. Caractéristiques des outils de coupe 6
- I.4. Différentes opérations de tournage 7
 - I.4.1. Chariotage 7
 - I.4.2. Dressage 7
 - I.4.3. Perçage 7
 - I.4.4. Rainurage 8
 - I.4.5. Chanfreinage 8
 - I.4.6. Filetage..... 8
- I.5. paramètres de coupe en tournage 9
 - I.5.1. Vitesse de coupe 9
 - I.5.2. Avance par tour..... 9
 - I.5.3. Profondeur de passe... 10
 - I.5.4. Lubrification... 10
- I.6. Mécanismes physiques de coupe 10
 - I.6.1. Zone de cisaillement primaire..... 11
 - I.6.2. Zone de cisaillement secondaire (zone d'écrouissage du copeau)..... 11
 - I.6.3. Zone de cisaillement tertiaire (zone d'écrouissage de la pièce)..... 11
 - I.6.4. Zone de compression de la pièce 12
- I.7. Processus de formation du copeau 12
 - I.7.1. Formation du copeau et ses types... 12
 - I.7.2. Copeau discontinu..... 13
 - I.7.3. Copeau cisailé 13
 - I.7.4. Copeau continu... 14
 - I.7.5. Copeau fragmenté... 14

Chapitre II : Tribologie des contacts outil-copeau-pièce et des contacts magnétiques.

- II.1. Introduction..... 15
- II.2. Définition de l'usure 5
 - II.2.1. zones d'usure en usinage 15
 - II.2.2. Influence des paramètres de coupe sur l'usure 16
 - II.2.3. Manifestation de l'usure 17
- II.3. Usure visible sur l'outil 18
 - II.3.1. Usure par déformation plastique de l'arête 18

II.3.2. Usure par écaillage de l'arête.....	19
II.3.3. Usure par arête rapportée ou copeau adhérent.....	20
II.3.4. Usure en dépouille.....	20
II.3.5. Usure en cratère.....	21
II.4. Critères d'usure.....	22
II.4.1. Critères directs.....	22
II.4.2. Critères indirects.....	22
II.5. Champ magnétique.....	23
II.6. Classification des milieux magnétiques.....	24
II.6.1. Diamagnétique.....	24
II.6.2. Paramagnétique.....	24
II.6.3. Ferromagnétique.....	25
II.6.4. Ferrimagnétique.....	26
II.7. Propriétés magnétiques des matériaux.....	27
II.8. Mouvement des domaines magnétiques.....	27
II.9. Principaux phénomènes.....	29
II.9.1. Mécanisme de l'aimantation des matériaux ferromagnétiques.....	29
II.9.2. Phénomène de magnétostriction des matériaux.....	30
II.9.3. Effet de variation du module d'Young.....	30
II.10. Effet du champ magnétique sur le comportement tribologique.....	31
II.10.1. Matériaux ferromagnétique.....	31

Chapitre III : Etude Expérimentale

III.1. Introduction.....	32
III.2. Etalonnage de l'appareillage.....	32
III.2.1. Bobine.....	32
III.2.2. Mesure d'intensité du champ magnétique.....	33
III.3. Conduite de l'essai.....	35
III.3.1. Description du travail expérimental.....	35
III.3.2. Matériau utilisé.....	36
III.3.3. Plaquettes utilisées.....	37
III.4. Evaluation de l'usure de la plaquette par la méthode de pesage.....	39
III.5. Analyses et observations.....	40
III.5.1. Microscope optique.....	40

Chapitre IV : Résultats et discussions.

IV.1. Evolution de l'usure de l'outil de coupe en fonction de la vitesse de coupe.....	42
IV.2. Observations métallographiques de l'usure des plaquettes.....	45
IV.2.1. Etat initial de l'outil de coupe.....	45
IV.2.2. Pour $H=0$ KA/m.....	45
IV.2.3. Pour $H=11.24$ KA/m.....	46
IV.2.4. Pour $H=19.15$ KA/m.....	47
IV.2.5. Pour $H=32.73$ KA/m.....	48
IV.3. Evolution de la morphologie des copeaux sur l'usure des outils de coupe.....	49

<i>Conclusion générale</i>	53
---	----

<i>Références bibliographiques</i>	54
---	----

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'opération de tournage joue un rôle très important dans l'industrie mécanique, dans laquelle les industriels cherchent à augmenter la productibilité tout maintenant un coût de production le plus bas possible. Ces deux objectifs sont limités par plusieurs paramètres dont la durée de vie de l'outil de coupe fait partie. Ceci a poussé les chercheurs à améliorer, d'une part la qualité de la matière de l'outil de coupe, et d'autre part, à minimiser l'effet négatif de la vitesse de coupe [1]. Ainsi, ce travail s'inscrit dans l'optique de chercher à améliorer la durée de vie des outils de coupe par un procédé peu connu des industriels qui consiste à appliquer à ces outils un champ magnétique durant l'usinage. La réduction de l'usure de l'outil de coupe se traduit soit par un choix optimisé de cet outil, soit par la section du matériau d'outil le mieux adapté, soit par l'emploi d'un matériau usiné le moins endommageant. Ce dernier doit répondre à une double contrainte. D'une part, une contrainte quantitative où il s'agit de réduire les coûts des pièces usinées. D'autre part, une contrainte qualitative où il faut obtenir des surfaces possédant des géométries et des microgéométries optimales.

L'étude présentée se rapporte à l'influence du champ magnétique sur les outils de coupe et sur le comportement d'usure d'un outil en carbure métallique en fonction de la vitesse de coupe durant les opérations de chariotage (usinage en tournage avec application d'un champ magnétique). Ainsi, ce travail s'inscrit dans l'optique de chercher à améliorer la durée de vie des outils de coupe par un procédé ; peu connu des industriels, qui consiste à appliquer à ces outils un champ magnétique durant les opérations de chariotage.

Le contenu de ce mémoire se divise en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre est consacré à la présentation du problème et à l'étude bibliographique concernant les généralités sur l'usinage par enlèvement de matière.

Dans le deuxième chapitre nous nous sommes intéressés à la tribologie des contacts outil-copceau-pièce et des contacts magnétiques.

La description du dispositif expérimental et les méthodes de mesures utilisées font l'objet du troisième chapitre.

Les résultats et les discussions ont été présentés dans le quatrième chapitre, à savoir les résultats de l'usure et les observations métallographique (optique).

Enfin, le travail est terminé par une conclusion générale.

I.1. Introduction

L'usinage est un ensemble de processus permettant de produire une pièce selon un chemin de fabrication bien défini. La découpe usinée est le moyen le plus fiable d'obtenir des pièces précises. A partir de pièces moulées, extrudées ou forgées par contre, le contre-processus est coûteux (machine, outils, hommes qualifiés) et lents [2].

L'enlèvement de matière ou le traitement mécanisé par des procédés traditionnels tels que le tournage, le fraisage et le meulage utilisent souvent des éléments de coupe (outil de coupe) dont la résistance et la géométrie sont définies et l'interaction entre la pièce et le matériau. Outil de coupe en mouvement relatif produit par dé-foil [3].

I.2. Tournage

I.2.1. Définition

Tournage concerne l'ensemble des opérations réalisées sur des tours. On réalise par ce type d'usinage toutes les surfaces de révolution, y compris les plans, lorsque la trajectoire du point générateur est située dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Dans le tournage conventionnel les outils de coupe ont une seule arête tranchante. La coupe est obtenue par engagement de cette arête dans la matière (Fig. I.1) [1].

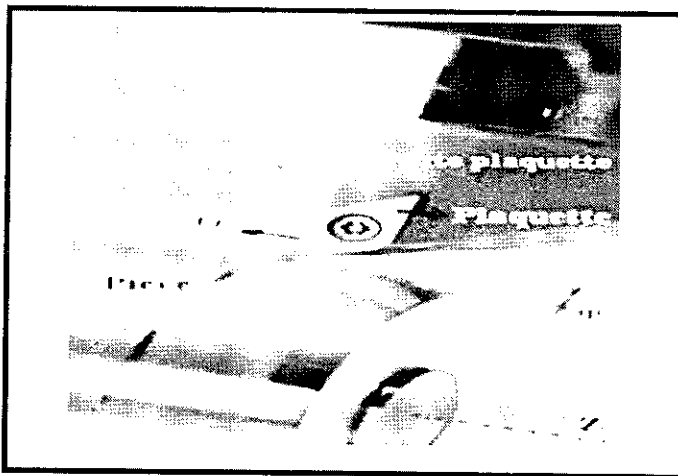


Fig. I.1. Opération de chariotage en tournage[4]

I.2.2. Principe de tournage

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de matière) mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce (Fig. I.2).

La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes) [4].

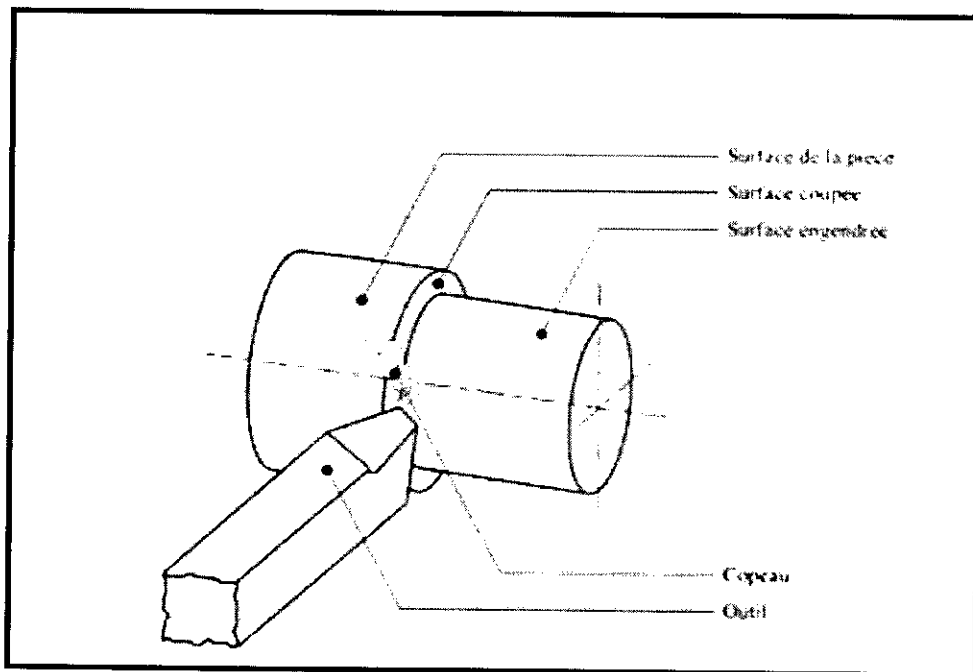


Fig. I.2. Principe de tournage

I.3. Outils de coupe

I.3.1. Géométrie de l'outil de coupe

L'outil de coupe est l'élément qui enlève la matière. Il existe une très grande variété d'outils de coupe, différents type de géométries, de matériaux et de revêtements. Un outil de coupe de tournage peut être caractérisé par une géométrie d'arête et une orientation dans l'espace définie par des angles de coupe normalisés [5].

I.3.2. Différentes parties de l'outil

Les parties principales (Fig. I.3) existantes sur un outil de coupe sont:

- **Le corps:** Il assure la liaison de l'outil avec le porte-outil, il est prismatique ou cylindrique.
- **La queue:** Pour les fraises, les forêts, on appelle "queue" l'élément qui permet la liaison de l'outil avec le porte-outil. La queue est cylindrique ou conique.
- **La partie active:** C'est la partie qui agit sur la pièce pour provoquer un enlèvement de métal. Elle est caractérisée par sa forme et son matériau.

La dureté de la partie active doit être plus grande que celle du métal à travailler [6].

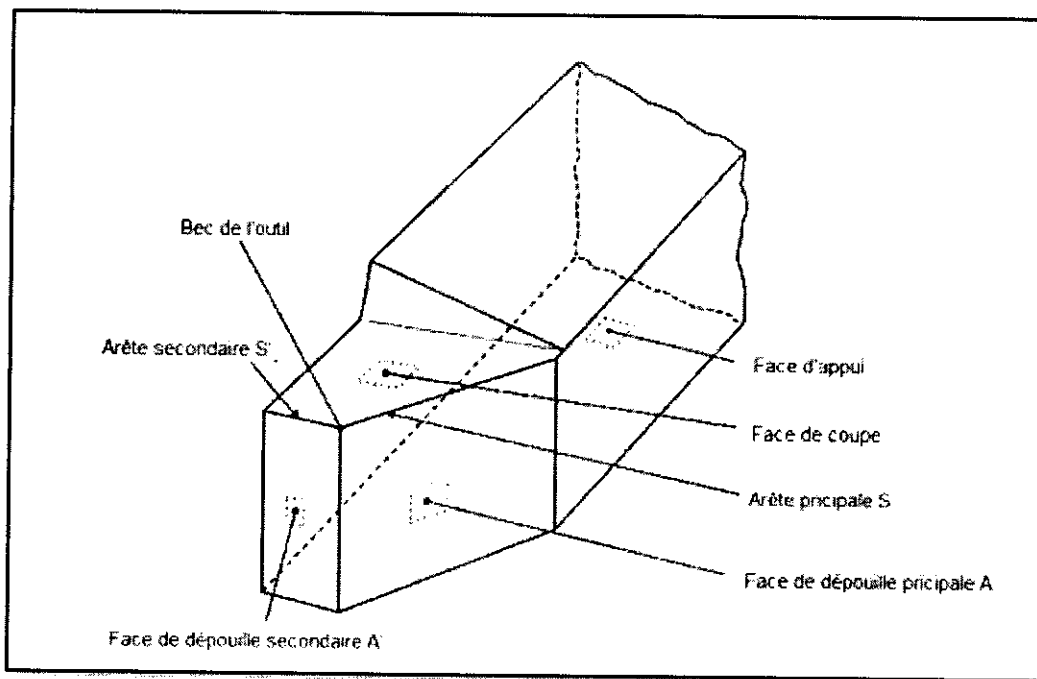


Fig. I.3. Faciès limitant la partie active de l'outil [3].

I.3.3. Classification des outils de coupe

On peut classer les outils en trois groupes:

1. Les outils simples à tranchant uniques: outil de Tournage et de Rabotage outil de Tournage et de Rabotage.
2. Les outils associés ou outils à arêtes multiples: outils fraise, forêt, alésoir, scie, lime etc..
3. Les outils-meules: ce sont des outils à arêtes multiples dont le mode d'action est un peu différent de celui des outils du 2^{ème} groupe[6].

I.3.4. Matériau d'outil de coupe

- Carbures métalliques

Les alliages composés de tungstène (60-90%), titane et tantale (1- 35%) et de cobalt ou nickel (5-15%), ainsi que d'autres matières en plus faibles quantités comme le molybdène ou le vanadium. La fabrication du métal dur est réalisée par frittage, on en fait généralement des plaquettes que l'on fixe sur le corps de l'outil par brasage, avec une vis ou aussi par bridage.

Certains outils de petites dimensions sont fabriqués entièrement en métal dur [1].

I.3.5. Caractéristiques des outils de coupe

Chaque dent des outils à tranchants multiples (fraise, forêt etc..) se comporte comme un outil élémentaire dont le modèle est l'outil prismatique de tournage ou rabotage. L'étude de la partie active de tous les outils passe par celle de l'outil prismatique.

les alliages composés de tungstène les alliages composés de tungstène les alliages composés de tungstène les alliages composés de tungstène les alliages composés de tungstène une liaison entre le porte outil d'une part et la pièce d'autre part (Fig. I.4) [6].

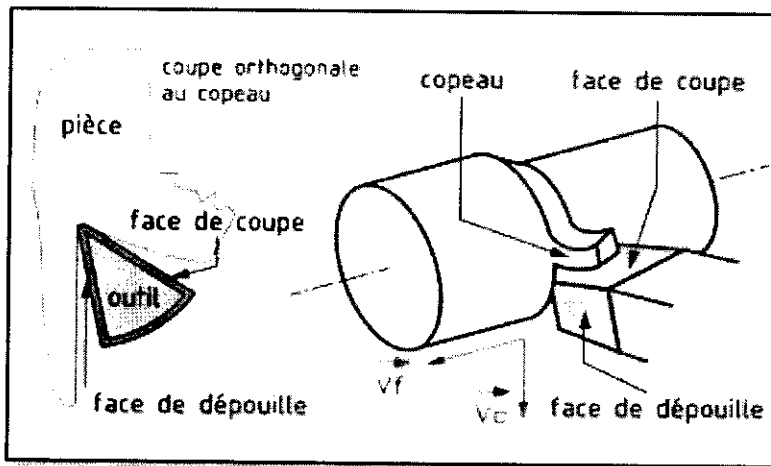


Fig. I.4. Phénomène de coupe [1].

I.4. Différentes opérations de tournage

I.4.1. Chariotage

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure(Fig. I.5) [4]. Ainsi, le chariotage est une opération consistant à usiner sur un tour un cylindre d'un certain diamètre par déplacement de l'outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce. Les paramètres de coupe sont l'avance (f), la profondeur de passe (a_p) et la fréquence de rotation (N).

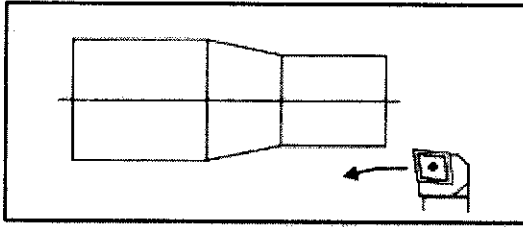


Fig. I.5. Chariotage.

I.4.2. Dressage

C'est une opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure (Fig. I.6).

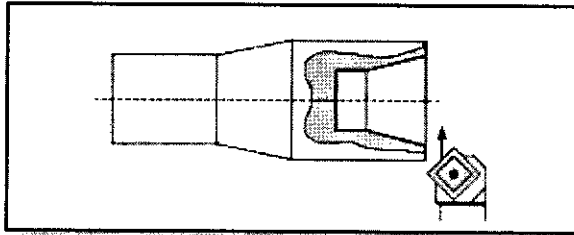


Fig. I.6. Dressage.

I.4.3. Perçage

C'est une opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forêt (Fig. I.7)

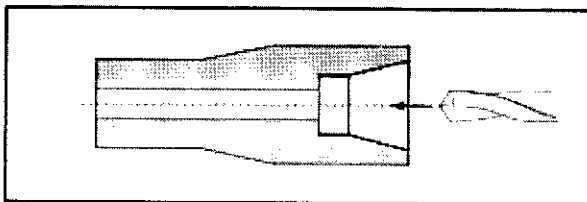


Fig. I.7. Perçage.

I.4.4. Rainurage

C'est une opération qui consiste à usiner une rainure intérieure ou extérieure pour le logement d'un Circlips ou d'un joint torique par exemple (Fig. I.8).

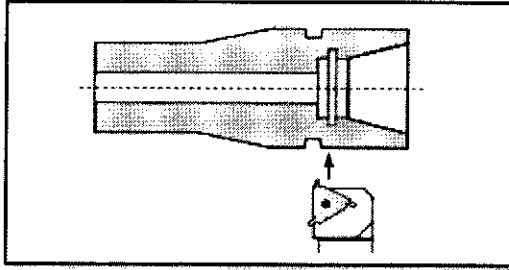


Fig. I.8. Rainurage.

I.4.5. Chanfreinage

C'est une opération qui consiste à usiner un cône de petite dimension de façon à supprimer un angle (Fig. I.9) [4].

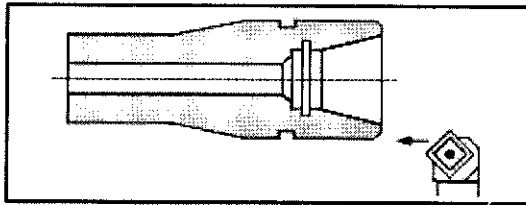


Fig. I.9. Chanfreinage.

I.4.6. Filetage

C'est une opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur (Fig.I.10) [4].

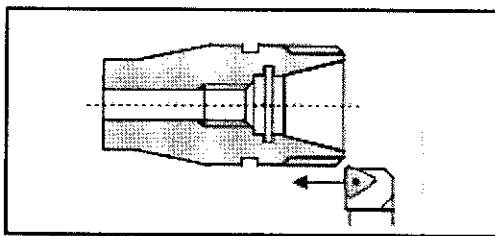


Fig. I.10. Filetage [4]

I.5. Paramètres de coupe en tournage

Les conditions de coupe mises en jeu pendant le tournage, hormis les caractéristiques de l'outil, sont:

I.5.1. Vitesse de coupe

Le choix de la vitesse de coupe (V_c) dépend de la nature de l'opération effectuée et du couple outil-matière (caractéristiques physiques et mécaniques du matériau usiné et du matériau usinant). En pratique, la vitesse de coupe est réglée par la vitesse de rotation de la pièce (notée N et exprimée en tour/mn). Cette vitesse dépend de la vitesse de coupe et du diamètre de la pièce à usiner. La relation reliant la vitesse de coupe et la vitesse de rotation est donnée par l'équation I-1

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (I-1)$$

Avec :

D : diamètre de la pièce exprimée en [mm],

V_c : vitesse de coupe [m/mn],

N : vitesse de rotation [tour/mn]

I.5.2. Avance par tour

L'avance correspond au déplacement de l'outil en fonction de la rotation de la pièce pendant la formation de copeau. L'avance est notée f et est exprimée en mm/tour. Comme pour la vitesse de coupe, en pratique, l'avance s'exprime en vitesse d'avance V_f . Cette dernière représente la vitesse à laquelle l'outil se déplace par rapport au bâti de la machine selon les axes longitudinal et transversal et en fonction du nombre de tours effectués par la pièce. Elle est donnée par l'équation I-2

$$V_f = f \times N \quad (I.2)$$

Avec:

V_f : vitesse d'avance exprimée en (mm/min) .

I.5.3. Profondeur de passe

La profondeur de passe représente la différence des rayons avant et après usinage (profondeur de la matière à enlever) (Figure. I.11). Elle est notée a_p et exprimée en mm. En coupe orthogonale, ce paramètre disparaît car il est confondu avec l'avance [5].

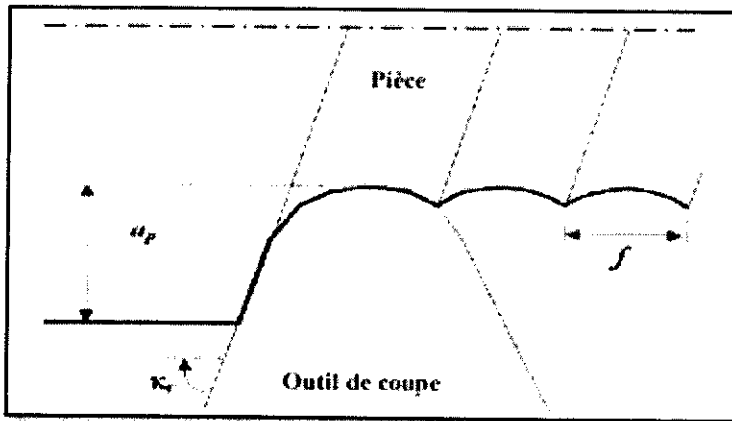


Fig. I.11. Définition de a_p et f en tournage [5].

I.5.4. Lubrification

Depuis longtemps, la lubrification est utilisée dans le milieu industriel car on lui reconnaît une double action bénéfique :

- elle favorise l'évacuation des calories,
- elle réduit les frottements de l'outil sur la pièce et du copeau sur l'outil

Les techniques nouvelles, qui ont été mises en place afin d'améliorer l'efficacité de la lubrification, sont influentes sur les conditions de coupe (projection sur les faces de coupe et de dépouille de l'outil, micro pulvérisation). Des études scientifiques ainsi que l'expérience industrielle ont montré que la lubrification modifie le comportement de formation du copeau, joue sur les efforts de coupe et donc sur la durée de vie de l'outil [7].

I.6. Mécanismes physiques de coupe

Un outil élémentaire animé d'un mouvement relatif par rapport à la pièce à usiner, attaque cette dernière par sa face de coupe. Le contact des deux corps provoque un cisaillement entre la pointe de l'outil et la surface libre de la pièce (Fig. I.12).

La formation du copeau s'effectue alors par cisaillement de la matière en amont de la pointe de l'outil. Deux surfaces vierges sont ainsi créées: la surface usinée de la pièce et la face extérieure du copeau.

Les interactions entre l'outil, le matériau à usiner et le copeau formé conduisent à la formation de quatre zones différentes qu'on peut distinguer ainsi [8].

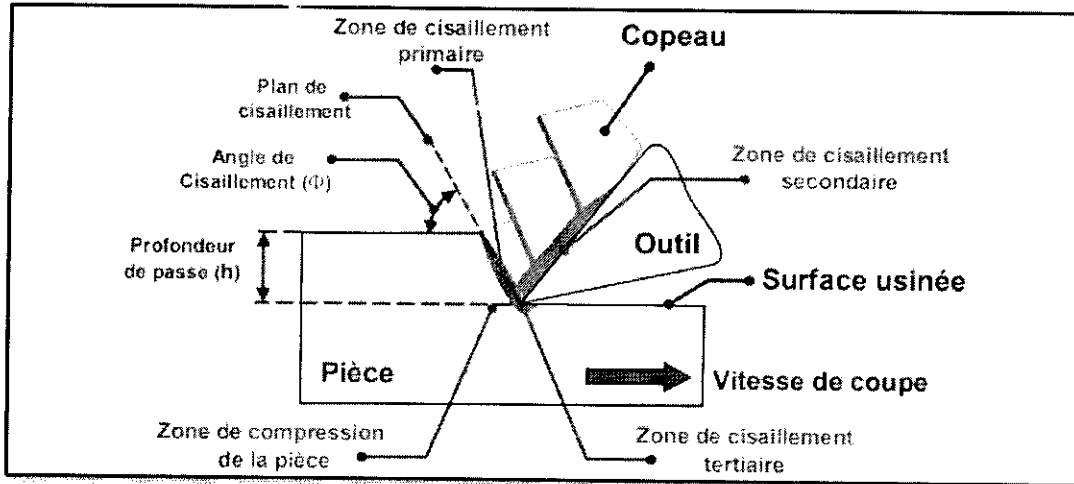


Fig. I.12. Géométrie de la formation du copeau en coupe orthogonale et zones de cisaillement[8].

I.6.1. Zone de cisaillement primaire

Aussi appelée zone immédiate de formation du copeau, elle s'étend de l'arête de coupe jusqu'à la surface libre du copeau. Dans cette zone, une déformation très intense a lieu et les grains constituant le copeau sont allongés suivant le plan de cisaillement faisant un angle Φ (angle de cisaillement) avec la surface usinée. Cet angle et l'épaisseur effective du copeau dépendent, entre autres, de la profondeur de passe, de l'angle de coupe et des propriétés du matériau usiné.

I.6.2. Zone de cisaillement secondaire (zone d'écrouissage du copeau)

Elle se situe à l'interface outil-copeau. C'est une zone de frottement qui est responsable entre autre de l'usure de la face de coupe de l'outil.

I.6.3. Zone de cisaillement tertiaire (zone d'écrouissage de la pièce)

C'est une zone de frottement entre la face de dépouille et la surface usinée, suite au retour élastique de la matière après le passage de la pointe de l'outil. Elle donne naissance à l'usure en dépouille de l'outil de coupe.

I.6.4. Zone de compression de la pièce

A cet endroit, l'outil exerce sur la matière un effort de compression intense. L'existence de cette zone est intimement liée à la géométrie de l'outil de coupe (rayon d'arête) [8].

I.7. Processus de formation du copeau

Au cours d'une opération d'usinage par enlèvement de matière, le processus de formation des copeaux implique de fortes interactions entre l'outil coupant et la matière usinée. Ce processus est directement conditionné par le comportement du matériau et du revêtement de l'outil, par le comportement du matériau de la pièce, par la géométrie de l'outil, et aussi par les conditions de coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance, la profondeur de passe, lubrification, etc.). Bien que n'étant pas exhaustive, cette liste évoque les principaux paramètres opérant dans le processus de formation des copeaux. Il est possible de passer d'une forme de copeaux continue à une forme discontinue ou segmentée en modifiant la vitesse de coupe (V_c), l'avance par tour (f), la géométrie de l'outil ou la nature du matériau usiné et/ou usinant [9].

I.7.1. Formation du copeau et ses types

Le métal enlevé de l'ébauche par un outil de coupe s'appelle copeau, la formation du copeau, processus physique complexe, qui s'accompagne de modifications cristallines, de déformations élastiques et plastiques, de rupture. Il donne par ailleurs lieu à un frottement important, à un dégagement de chaleur, à des microsoudures, à la formation d'une arête rapportée, à l'usure de l'outil.

La couche enlevée par l'action de l'outil subit une compression non libre s'accompagnant de déformations élastiques puis permanentes. Ces déformations aboutissent à la rupture par glissement de certaines couches par rapport à d'autres suivant des surfaces qui, en général, se confondent avec la direction des contraintes de cisaillement maximales.

Différentes microphotographies de la couche enlevée en fonction de l'épaisseur et du métal usiné. Les formes du copeau varient selon les métaux travaillés et les conditions de coupe. On distingue quatre types: discontinue, cisaille, continu, fragmenté (Fig.I.13).

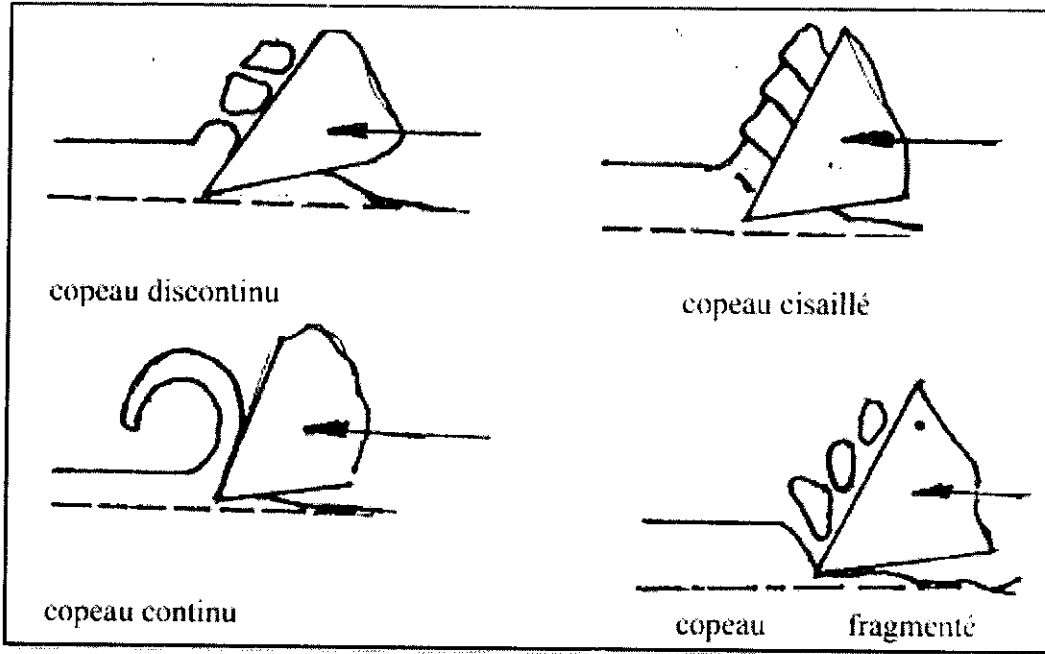


Fig. I.13. Classement des types du copeau.

I.7.2. Copeau discontinu

Il s'obtient par l'usinage des métaux durs et peu ductiles à faible vitesse de coupe. Il est composé d'éléments séparés, déformés plastiquement, peu liés ou pas liés du tout entre eux. Sous l'action du mouvement de coupe MC, l'outil pénètre progressivement dans la masse du métal et l'effort produit par sa face de coupe provoque des déformations élastiques d'abord, plastique ensuite.

A mesure que l'outil s'enfonce, les contraintes dans la couche à enlever augmentent. Lorsqu'elles atteignent la valeur correspondant à la charge de rupture, elles provoquent le glissement du premier élément suivant la surface de cisaillement.

I.7.3. Copeau cisailé

Le copeau cisailé s'obtient lorsque l'usinage de l'acier s'effectue à vitesse moyenne. La face du copeau en regard avec la face de coupe de l'outil est lisse alors que la face opposée porte des entailles bien marquées qui définissent la direction des surfaces de cisaillement des éléments qui, contrairement au copeau discontinu, sont fortement liés les uns aux autres. Un tel copeau soumis à la flexion se rompt. L'augmentation de la vitesse de coupe a donc pour effet de créer une liaison, au sien du copeau, entre les éléments apparaissant lors de la

formation du copeau discontinu. Si l'on augmente encore plus cette vitesse nous obtenons la formation d'un copeau continu.

I.7.4. Copeau continu

Sa formation apparaît lorsqu'on usine de l'acier par exemple à grande vitesse. Le copeau s'écoule alors en forme de longue bande sans les entailles caractéristiques du copeau cisailé.

Si, au niveau de l'arête de l'outil les phénomènes restent identiques, l'augmentation de la vitesse de coupe fait croître l'angle de cisaillement et le copeau, dans ses couches proches de la face de coupe, subit une déformation plastique supplémentaire due au frottement.

I.7.5. Copeau fragmenté

Il s'obtient lors de l'usinage de matériaux friables, fragiles tels que le bronze dur, la fonte... il est constitué l'élément isolée, de forme variée, pas liés ou très peu liés entre eux. Ce copeau ne subit qu'une faible déformation plastique et sa séparation de l'ébauche s'effectue le long de la fente adventive qui se ferme immédiatement selon la surface de cisaillement de configuration quelconque.

Les éléments du copeau quittent rapidement la face de coupe de l'outil. La rupture produit des efforts variables et la surface engendrée est rugueuse, arrachée [6].

II.1. Introduction

Les pressions accumulées, plus des élévations de la température localisées dans les zones de formation de copeau sont la source de phénomènes physico-chimiques très complexes. Ces derniers agissent sur l'outil et provoquent sa dégradation rapide, réduisant ainsi le temps de son état de service. Cet acte d'usure de l'outil est perceptible quand les conditions sont réunies, des déformations et températures élevées, ajouté aux sèbres contraints thermomécaniques. La ruine de l'outil est soutenues par différents types d'usure et sous l'effet de différents mécanismes [3].

II.2. Définition de l'usure

Un système tribologique est constitué de deux corps en contact dans une configuration donnée et du troisième corps produit à l'interface par usure. Ce troisième corps est généralement constitué des débris d'usure qui nous aident à interpréter le comportement du contact, Sous l'effet des sollicitations tribologiques, une surface subit des modifications et un endommagement.

L'usure est considérée comme la perte superficielle de matière d'un corps soumis à l'action du frottement. Dans l'air, l'existence d'un mouvement entre deux pièces en contact entraîne une modification géométrique des surfaces et crée un endommagement par attaque chimique. Les formes d'usure peuvent aller de l'usure douce régulière et contrôlable, à la détérioration brutale entraînant la mise hors service du mécanisme. La détérioration des surfaces dans les mécanismes est en général due à un ou plusieurs processus dont les principaux sont: l'usure adhésive, l'usure abrasive, l'usure corrosive et l'usure par fatigue. Ces phénomènes dépendent des conditions d'utilisation, des facteurs comme la nature des matériaux, la dureté relative du métal, la couche superficielle, la rugosité, etc. Selon les paramètres expérimentaux et les conditions de fonctionnement à l'interface, plusieurs types d'usure sont développés [10].

II.2.1. Zones d'usure en usinage

L'usure est une fatalité pour l'outil, il ne peut pas en échapper tant que le couple outil / pièce est en contact et en mouvement, il en résulte souvent une perte de matière par l'outil, donc il faut savoir, quand il faut s'arrêter pour changer d'outil ou d'arête. La figure

II.1 représente l'évolution de l'usure en fonction du temps de travail de l'outil, on distingue trois (03) zones de fonctionnements qui peuvent être identifiées comme suite :

- Zone I : Phase d'adaptation et de rodage de l'arête au régime de coupe : usure rapide.
- Zone II : Phase d'usure quasi-stationnaire à évolution linéaire.
- Zone III : Phase de l'accroissement rapide de l'usure, l'effondrement de l'arête est à prédire[3].

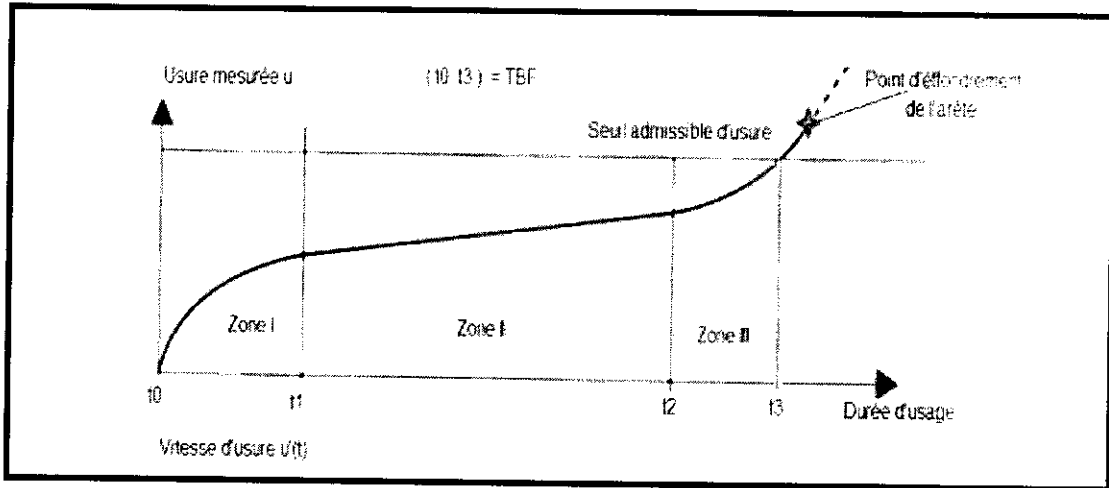


Fig. II.1. Evolution de l'usure en fonction du temps de travail de l'outil [3].

II.2.2. Influence des paramètres de coupe sur l'usure

On peut observer deux grands groupes de paramètres dans le processus de coupe. Le premier est formé par la matière usinée et les conditions de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe, lubrification).

- Vitesse de coupe :

La température de coupe étant croissante avec la vitesse de coupe, ce paramètre aura une très grande influence sur l'usure.

- Avance :

Les grandes avances font augmenter l'intensité des efforts de coupe, et diminuent la durée de vie de l'outil.

- Profondeur de passe :

La variation de la profondeur de passe modifie légèrement l'écoulement de la chaleur le long de l'arête tranchante, son influence reste modeste sur l'usure.

- Matériau usiné :

Son influence sur l'usure dépend de ses propriétés physiques (conductibilité thermique), de ses propriétés mécaniques (pression spécifique de coupe) et de ses propriétés chimiques (% de certains éléments d'addition).

- Lubrification :

Son influence intervient faiblement sur le coefficient de frottement pièce-outil et copeau-outil, mais permet la baisse de la température d'interface de la partie active de l'outil.

Le second groupe est formé par les paramètres physiques et mécaniques de l'outil (géométrie et composition du matériau de l'outil, dureté, effort et propriétés thermiques).

II.2.3. Manifestation de l'usure

L'observation de la partie active de l'outil fait apparaître des formes d'usure caractéristiques qui correspondent aux conditions dans lesquelles l'outil travaille, selon la nature des matériaux en présence (outil-pièce), selon les conditions extérieures dues à l'environnement et enfin selon le régime de coupe affiché (Fig. II.2), on peut rencontrer les diverses formes d'usure suivantes : Indices:

- KM : Distance du centre du cratère / pointe initiale de l'outil
- KT : profondeur d'un cratère
- KB : Largeur du cratère
- γ_c : Angle de cratérisation
- VB : Hauteur de l'usure en dépouille
- VN : profondeur d'entaille par rapport à l'arête de coupe initiale
- V_{BC} : Profondeur entre l'arête initiale et la zone usée
- SV : Profondeur entre l'arête initiale et la pointe de l'outil usée

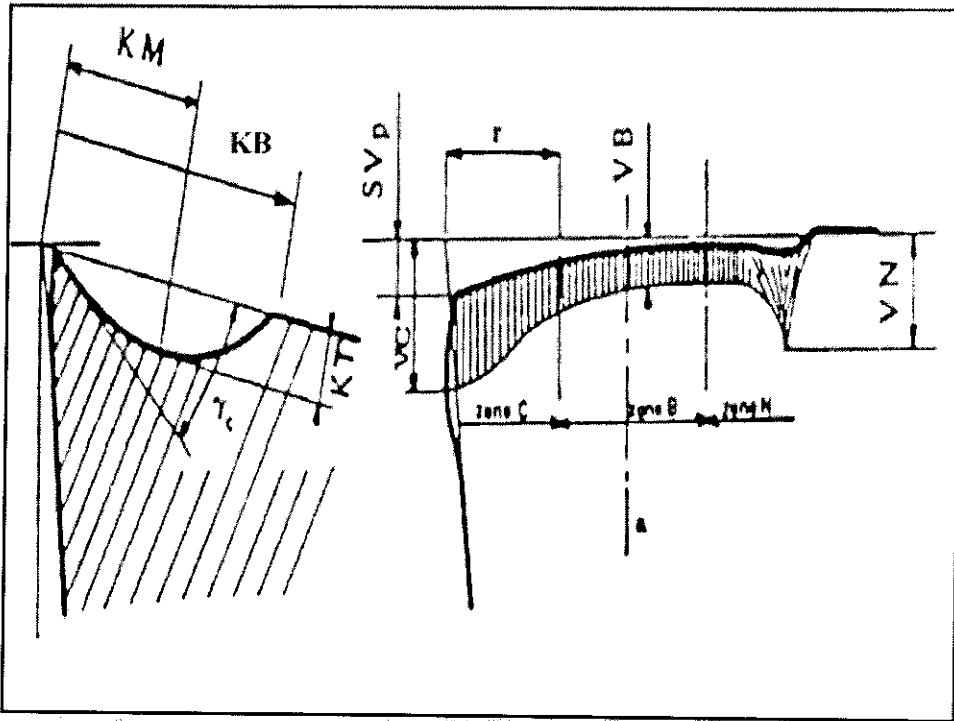


Fig. II.2. Formes d'usure de l'outil de coupe d'après la norme NFE 66 505.

II.3. Usure visible sur l'outil

II.3.1. Usure par déformation plastique de l'arête

Ce type d'usure est caractérisé par l'effondrement de l'arête tranchante. Si la température sur l'arête devient trop élevée. Celle-ci peut se déformer sous l'effet de la contrainte mécanique (Fig. II.3).

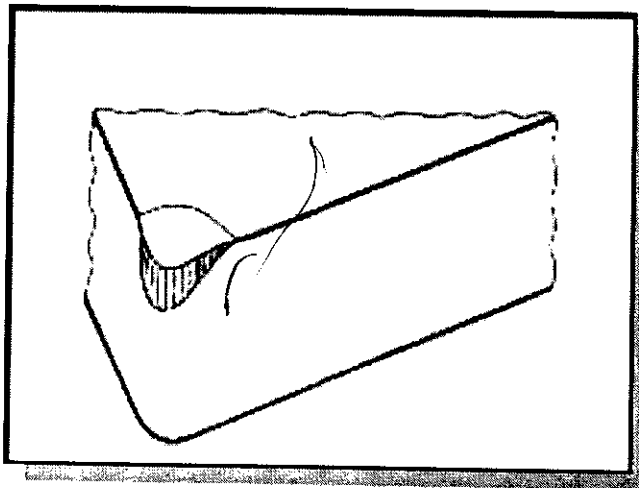


Fig. II.3. Usure par déformation plastique de l'arête.

Mesures correctives

- Choisir une nuance plus tenace,
- Utiliser une plaquette plus robuste et dotée d'un rayon de bec plus important,
- Choisir une géométrie brise-copeaux pour section de copeaux plus importante,
- Réduire l'avance et éventuellement aussi la profondeur de passe.

II.3.2. Usure par écaillage de l'arête

Se constate quand la fragilité de la nuance employée est trop grande en égard au travail à exécuter, ou également, quand l'outil subit des chocs thermiques. Des criques se forment perpendiculairement à l'arête de coupe et des particules de carbure sont arrachées progressivement de cette arête (Fig. II.4).

Mesures correctives

- Choisir une nuance plus tenace,
- Utiliser une plaquette présentant une géométrie d'arête plus stable,
- Réduire l'avance en début de coupe, en cas d'écaillage par impact de copeaux,
- Choisir une géométrie brise-copeaux différente,
- Modifier l'angle de direction d'arête de l'outil,
- Faire une préparation d'arête de coupe (rodage de l'arête de 0,04 mm par exemple).

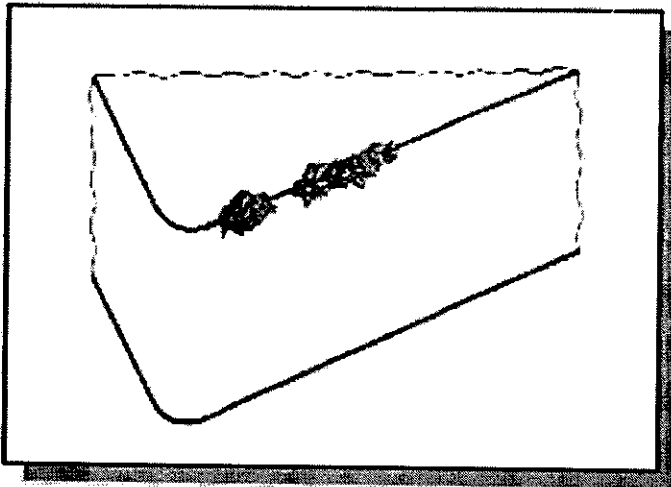


Fig. II.4. Usure par écaillage de l'arête.

II.3.3. Usure par arête rapportée ou copeau adhérent

Ce type d'usure est due à une température trop basse dans la zone de coupe, ce qui provoque un mauvais écoulement du copeau et celui-ci se soude à l'arête. Ce copeau adhérent entraîne un accroissement de la puissance nécessaire à la coupe, et une détérioration rapide de l'état de surface de la pièce (Fig. II.5).

Mesures correctives :

- Accroître la vitesse de coupe,
- Utiliser les métaux durs revêtus ou des cermets,
- Choisir une géométrie d'arête positive,
- Travailler avec lubrification.

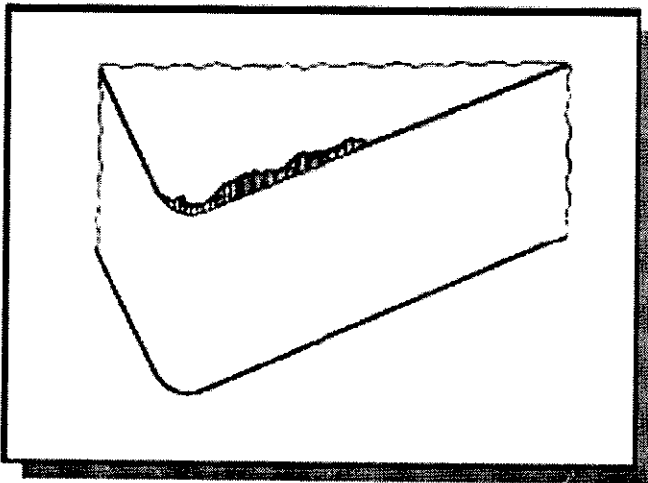


Fig. II.5. Usure par arête rapportée ou copeau adhérent.

II.3.4. Usure en dépouille

Il caractérise la durée de vie. Quand il est trop grand les efforts de coupe augmentent et l'état de surface est moins bon (Fig. II.6). C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée par une valeur d'usure admissible VB.

$$VB \text{ critique} = 0,6 \text{ mm en ébauche et } 0,3 \text{ mm en finition}$$

Cela est dû à une vitesse de coupe excessive ou à une mauvaise position angulaire de l'outil (face de coupe / pièce)

Mesures correctives :

- Choisir une nuance présentant une meilleure résistance à l'usure,
- Réduire la vitesse de coupe.

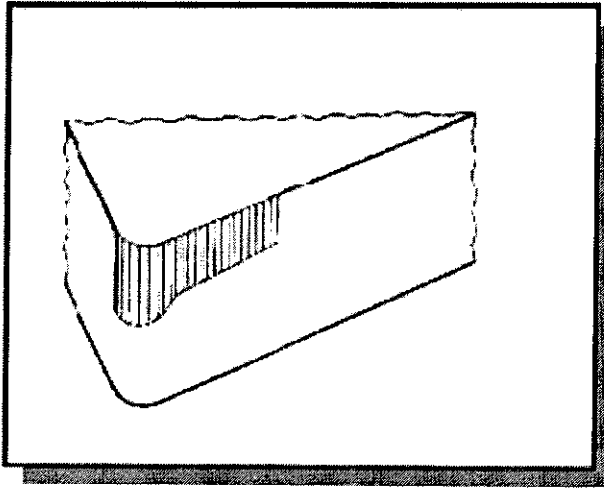


Fig. II.6. Usure dépolie.

II.3.5. Usure en cratère

C'est une usure en creux sur la face de coupe (Fig. II.7), elle est due de frottement du copeau sur la face de coupe de l'outil. Lors de l'usinage la température élevée à l'interface copeau-outil et les pressions de contact entre le copeau et l'outil, provoque une diffusion importante de la matière de l'outil vers le copeau par processus d'adhésion. Elle donne aussi une déformation plastique de la pointe de l'outil, caractérisée par processus S_{VP} et un renflement de la face de dépolie. L'usure est souvent constatée sur les outils en carbure métallique, elle provoque généralement la rupture de la pointe de l'outil.

$$\text{Valeur limite : } KT \text{ critique} = 0,06 + 0,3 f^2$$

La valeur critique est celle à partir de laquelle l'outil est considéré comme hors d'usage avec risque important de rupture de l'outil (f : avance par tour).

Mesures correctives

- Utiliser des nuances de métal dur revêtu,
- Choisir des plaquettes à géométrie positive
- Réduire la vitesse de coupe ou augmenter l'avance

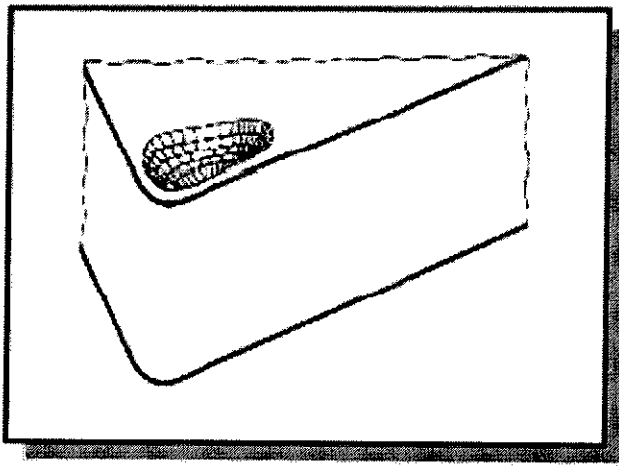


Fig. II.7. Usure en cratère.

II.4. Critères d'usure

Les critères usuellement utilisés pour des outils en carbures et notamment ceux recommandés par la norme en vigueur concernant l'usure des outils de coupe la norme, NF-E-66 505, se rangent en deux catégories décrites ci-dessous.

II.4.1. Critères directs

Ils sont basés sur l'évolution de l'usure (Fig. II.2) :

- Critère d'usure frontale, caractérisé par une largeur limite V_{limite} de la bande d'usure sur la face en dépouille de l'outil ;
- Critère de cratérisation, défini par la valeur limite de la profondeur du cratère $K_T \text{ limite}$, ou par la valeur limite du rapport de cratérisation K_T/K_M , ou par une valeur limite de l'angle de cratérisation α_c ;
- Critère de mort d'outil, utilisé principalement pour les outils en acier rapide ;
- Critère d'usure volumétrique ou massique caractérisé par la perte en poids de l'outil, mesurée par pesée ou à l'aide de traceurs radioactifs ;
- Critère basé sur les variations de cotes des surfaces usinées, actuellement utilisé pour la détermination de l'usinabilité des aciers.

II.4.2. Critères indirects

Ils sont basés sur la variation de certaines grandeurs physiques de la coupe en fonction de l'usure de l'outil de coupe. Par exemple :

- Les efforts et le travail spécifique de coupe,
- La rugosité de la surface usinée,
- La température à la pointe de l'outil [5].

II.5. Champ magnétique

D'un point de vue macroscopique, un champ magnétique créé par des aimants permanents ou un courant peut entraîner l'introduction du phénomène d'induction magnétique. Lorsqu'on considère un solénoïde constitué d'un fil électrique enroulé en hélice de façon à constituer une bobine, parcourue par un courant d'intensité I (Figure II.8.a) à air libre, le solénoïde crée un champ magnétique H_0 (A/m) lié au vecteur d'induction magnétique B_0 (Tesla) dont la relation est la suivante:

$$B_0 = \mu_0 H_0 \quad (II-1)$$

Avec $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ en H/m qui représente la perméabilité magnétique du vide. Maintenant lorsqu'on considère le même solénoïde, mais enroulé autour d'un matériau linéaire, homogène et isotrope (Figure II.8.b) la relation entre l'induction magnétique induite dans le matériau B et le champ d'excitation créé par le solénoïde H_0 (μ la perméabilité magnétique caractéristique du matériau en H/m) est donnée par :

$$B = \mu H_0 \quad (II-2)$$

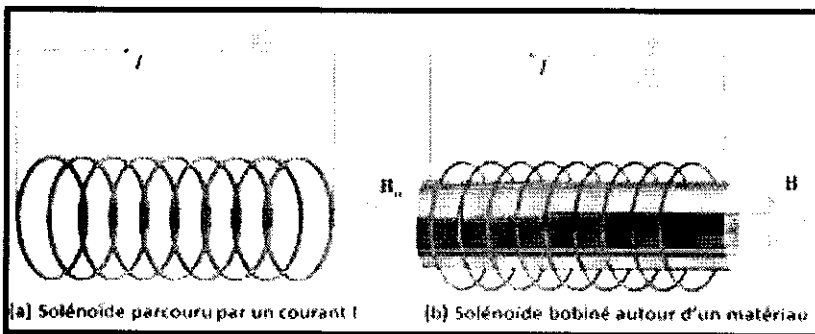


Fig. II.8. Illustration du phénomène de l'induction magnétique.

L'induction magnétique B peut être réécrite en fonction du vecteur d'aimantation M , qui est définie comme étant le moment magnétique par unité de volume. Elle s'exprime en A/m (même dimension qu'un champ magnétique).

Elle est sous la forme suivante :

$$B = \mu_0(H_0 + M) = \mu H \quad (II-3)$$

II.6. Classification des milieux magnétiques

Les paramètres qui permettent de pouvoir classer les différentes catégories des matériaux magnétiques sont la susceptibilité et la perméabilité relative. Ainsi, on peut les distinguer en cinq familles :

- Diamagnétiques
- Paramagnétiques
- Ferromagnétiques
- Ferrimagnétiques et antiferromagnétiques

II.6.1. Diamagnétique

Le diamagnétisme est un phénomène de très faible intensité magnétique. Il est engendré par une modification des orbitales électroniques due à l'application d'un champ magnétique extérieur. Il disparaît dès que ce champ cesse d'agir. La susceptibilité χ est faible (donc $\mu_r \approx 1$) et négative. Le moment magnétique induit est extrêmement faible et est orienté dans le sens contraire au champ appliqué. Le comportement est alors similaire à une spire créant un courant qui s'oppose au champ:

D'où le signe négatif de χ . Le diamagnétisme est présent dans tous les matériaux, mais son poids dans l'état d'aimantation totale est très faible par rapport aux autres types d'aimantation.

II.6.2. Paramagnétique

Chaque atome des matériaux paramagnétiques possède un moment magnétique dipolaire. En absence du champ magnétique extérieur, ces matériaux ne présentent aucune aimantation (nulle), car les dipôles magnétiques de leurs atomes sont orientés de manière arbitraire. En présence d'un champ magnétique, le matériau paramagnétique s'aimante et se déplace dans les zones où le champ est fort. c'est-à-dire que les moments magnétiques atomiques s'alignent partiellement dans la direction où le champ magnétique est grand. ce qui conduit à une aimantation positive et une susceptibilité positive. La susceptibilité χ est

faible (donc $\mu_r \approx 1$) et indépendante de H. Le corps paramagnétique est une fonction décroissante de la température à cause de l'agitation thermique (Fig. II.9).

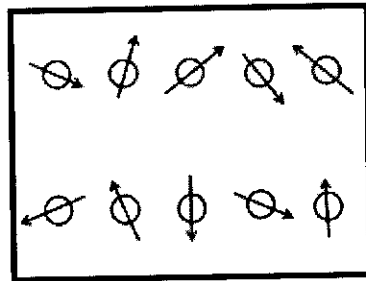


Fig. II.9. Paramagnétisme

II.6.3. Ferromagnétique

Le ferromagnétisme se caractérise par un magnétisme résultant de l'alignement de moments magnétiques permanents, ces moments étant orientés parallèlement les uns aux autres par une interaction mutuelle (Fig. II.10). Les matériaux ferromagnétiques restent fortement aimantés, même lorsqu'on supprime tout champ magnétisant ; ils présentent une aimantation spontanée. En effet, le moment magnétique des matériaux ferromagnétiques résulte des moments magnétiques de spin engendrés par leurs électrons, dont la somme n'est pas nulle ; les atomes adjacents du matériau interagissent par paires pour produire des moments de spin dont la somme contribue à leur alignement, même en l'absence d'un champ extérieur.

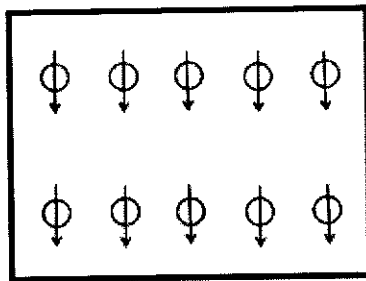


Fig. II.10. Ferromagnétique

Les matériaux ferromagnétiques se différencient des matériaux paramagnétiques qui ne conservent pas leur aimantation à champ nul. La susceptibilité χ est élevée ($\mu_r \gg 1$), positive et variable avec l'excitation magnétique.

Il existe deux sous-catégories, à savoir les ferromagnétiques durs (que l'on appelle aimants permanents) et les ferromagnétiques doux. L'aimantation de saturation M_s diminue lorsque la température s'élève (retour à une distribution aléatoire des moments magnétiques) et s'annule à la température critique de Curie T_c du matériau. Au-dessus de cette température, un matériau ferromagnétique cesse d'être ferromagnétique pour devenir paramagnétique ; leur susceptibilité suit alors la loi de Curie-Weiss.

Les matériaux ferromagnétiques ont aussi une température de Curie T_c , au-dessus de laquelle ils deviennent paramagnétiques, leur susceptibilité suit, alors, la loi de Curie-Weiss.

II.6.4. Ferrimagnétique

Le ferrimagnétisme est une propriété magnétique de certains corps solides. Dans un matériau ferrimagnétique les sous-réseaux des moments magnétiques sont différents. En effet dans la structure cristalline de ces matériaux, on peut distinguer deux sous-réseaux A et B, les moments magnétiques des sous-réseaux A et B ne sont pas égaux (sont opposés en direction, - ais de valeurs différentes), l'interaction d'échange est négative, comme dans les antiferromagnétiques et le comportement magnétique se traduit par une aimantation spontanée similaire aux ferromagnétiques (Fig. II.11).

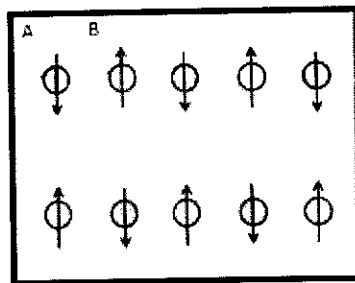


Fig. II.11. Ferrimagnétique

Le ferrimagnétisme présente donc des similitudes avec le ferromagnétisme. Les matériaux ferrimagnétiques présentent de nombreuses caractéristiques des matériaux ferromagnétiques : aimantation spontanée, température d'ordre, hystérésis et rémanence. Toutefois, ferro- et ferrimagnétiques sont très différents au niveau de l'ordre magnétique. Les matériaux ferrimagnétiques, appelés aussi ferrites, sont caractérisés par une susceptibilité magnétique $\chi \cong 10^3$. Par exemple, l'évolution de $1/\chi$ présente une augmentation rapide au voisinage de la température de Curie [11].

II.7. Propriétés magnétiques des matériaux

Une meilleure compréhension des caractéristiques magnétiques est obtenue par l'étude des structures intérieures des matériaux. Les propriétés magnétiques d'un matériau sont attribuables au spin des électrons et à leur mouvement orbital autour du noyau. Etant donné qu'une charge électrique en mouvement engendre un champ magnétique H autour d'elle-même, les électrons qui tournent sur eux-mêmes (spin) et autour du noyau (orbital) forment de petits dipôles magnétiques; ces dipôles peuvent réagir à l'application d'un champ magnétique extérieur, de la même manière que les dipôles électriques réagissent à l'application d'un champ électrique. Le mouvement d'un électron autour du noyau d'un atome engendre un moment magnétique intrinsèque. En présence d'un champ magnétique extérieur. Un atome n'apparaîtra magnétique que lorsqu'il y a un déséquilibre de spins des électrons. La moitié des éléments chimiques purs ne sont pas concernés par ces caractéristiques magnétiques car presque cinquante pour-cent des éléments chimiques ont un nombre pair d'électrons de valence. Par ailleurs, dès lors qu'ils sont intégrés dans un édifice poly atomique (molécule, cristal pur, composé et alliage), seulement un petit nombre d'atomes sont porteurs d'un moment magnétique permanent.

Un grand nombre d'éléments du tableau périodique portent un moment magnétique à l'état d'atome isolé alors qu'à l'état solide pur, la plupart sont diamagnétiques. L'établissement de la liaison chimique perturbe les orbites électroniques responsables du magnétisme. La majorité des ions sont exemptés parce qu'un ion a des électrons dégagés ou acceptés. En conséquence, quelques éléments ont des spins d'électron déséquilibrés pour avoir un moment magnétique. Parmi eux, le fer, le cobalt et le nickel ont un magnétisme prononcé [10].

II.8. Mouvement des domaines magnétiques

En l'absence d'un champ magnétique extérieur, les moments magnétiques des domaines de Weiss sont orientés de façon chaotique et le corps est non aimanté (Fig. II.12.a), c'est à dire que l'aimantation globale est nulle. Lorsque le corps est placé dans un champ magnétique externe H_0 de faible valeur, les domaines orientés favorablement par rapport au champ extérieur vont croître au détriment des autres domaines (Fig. II.12.b). Quand le champ magnétique extérieur appliqué est plus intense, les moments magnétiques s'alignent dans le sens du champ et les domaines orientés défavorablement disparaissent. Quand on arrive

jusqu'à ce que l'aimantation ne puisse plus s'accroître, on dit que le matériau est aimanté à saturation (Fig. II.12.c).

a) En l'absence du champ magnétique extérieur H_0 , la résultante de l'orientation magnétique d'un matériau ferromagnétique est nulle.

b) Lorsqu'on applique un champ H et que celui-ci augmente, les domaines favorablement orientés par rapport à H croissent aux dépens des autres domaines. Il y a déplacement des parois de Bloch.

c) A la valeur de saturation H_s , il n'existe plus dans le matériau qu'un seul domaine ferromagnétique

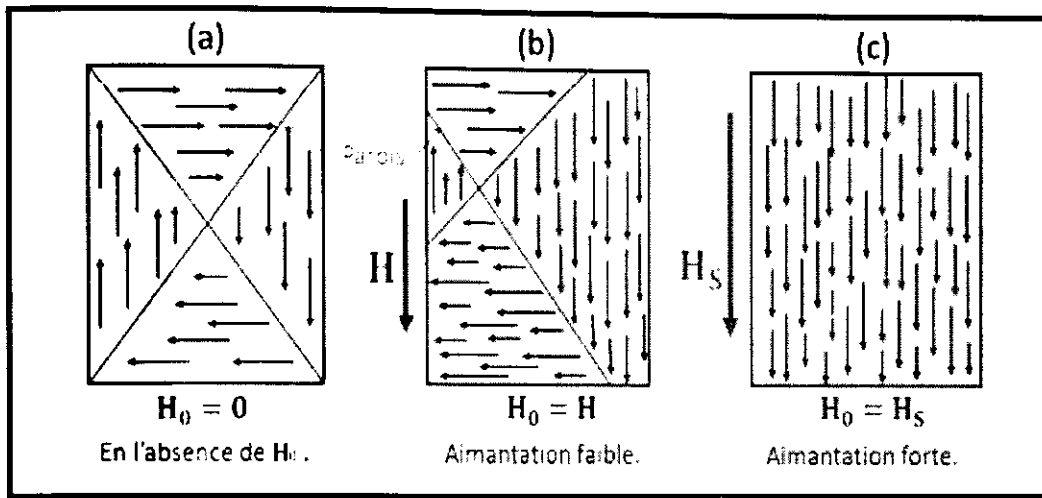


Fig. II.12. Evolution des domaines magnétiques dans un matériau ferromagnétique soumis à champ magnétique croissant.

Le mouvement des parois des domaines magnétiques peut être dérangé, lorsqu'il y a variation de l'aimantation aux bas champs, par la présence de défauts. Ces défauts sont des imperfections du réseau cristallin du matériau (soit des précipités ou des dislocations, des joints de grain métallurgiques, des corps étrangers, des contraintes mécaniques différentes, des trous...) et peuvent provoquer la réduction de la perméabilité et l'augmentation des pertes magnétiques.

On peut citer trois principaux phénomènes qui se produisent au niveau du mécanisme d'aimantation lorsque l'intensité du champ magnétique successivement appliquée :

- Premier cas : lorsque le mouvement élastique des parois de domaines se produit aux bas champs magnétiques et qu'on est en présence d'une aimantation spontanément réversible du matériau. On observe une augmentation de l'énergie totale du système, lorsqu'il y a mouvement des parois, mais que ce mouvement ne permet pas de franchir la barrière de

potentiel créée par le défaut où est ancrée la paroi. Cela entraîne que, lorsque le système n'est plus soumis à l'application du champ, il retourne naturellement à l'état initial.

- Deuxième cas : il s'agit du mécanisme d'aimantation, lorsqu'on a le mouvement irréversible des parois de domaines provoquant le franchissement de certaines barrières de potentiel. Cela fait que lorsqu'on retire le champ magnétique appliqué, on ne retrouve pas la même répartition en domaines. Il existe un nouvel état métastable qui explique l'apparition d'une aimantation moyenne non nulle sous champ nul. Cette aimantation est qualifiée de rémanente.
- Troisième cas : c'est quand le mécanisme d'aimantation se produit lorsque le corps ne comporte que des domaines possédant une composante alignée avec les directions d'aimantation facile des cristaux les plus proches de la direction du champ. L'augmentation du champ magnétique appliqué cause alors une rotation de l'orientation de l'aimantation à l'intérieur de ces domaines pour s'aligner avec le champ magnétique appliqué [11].

II.9. Principaux phénomènes

II.9.1. Mécanisme de l'aimantation des matériaux ferromagnétiques

Lorsque les solides cristallins ferromagnétiques ne sont pas aimantés, le cristal de ce matériau est divisé normalement en domaines polarisés à saturation. Ils possèdent, spontanément, en chacun de leur point intérieur, une intensité d'aimantation non nulle. Celle-ci provient de l'existence dans leur structure de porteurs de moments magnétiques et l'on établit que ces moments magnétiques élémentaires sont ceux des spins électroniques. Le moment magnétique du matériau est égal à la somme vectorielle des moments magnétiques de chacun de ses domaines. Il peut être nul dans un matériau à l'état initial, par compensation de chaque moment magnétique au voisinage. Il augmente si le matériau est soumis à un champ magnétique mais diminue et s'annule si ce matériau est porté à des températures suffisamment élevées. Sous l'influence d'une interaction s'exerçant principalement entre voisins, ces moments magnétiques élémentaires ont tendance à prendre une orientation commune. Celle-ci est différente d'un domaine à l'autre. Un état d'équilibre s'établit, correspondant à une valeur minimale de l'énergie globale de ces électrons. A une température donnée, il se forme différents domaines, dits domaines de Weiss, contenant chacun des moments magnétiques élémentaires de même orientation. Les dimensions habituelles de ces différents domaines sont de l'ordre de 10 à 100 μm . Cependant, dans le cristal parfait et pur, les tailles de ces domaines peuvent être plus importantes. La zone qui sépare deux domaines contigus est appelée « paroi

de Bloch ». L'épaisseur d'une paroi est de l'ordre d'une centaine d'intervalles inter atomiques, et dans cette faible épaisseur la direction des moments élémentaires se modifie de proche en proche pour coïncider aux deux extrémités avec les directions propres aux domaines correspondants.

Dans le cas général où le champ magnétique appliqué fait un angle quelconque avec l'axe de facile aimantation du matériau, la variation d'aimantation s'effectue avec déplacement de parois et rotations simultanées des moments. Ce mécanisme a lieu jusqu'à un champ seuil pour lequel le matériau est devenu mono domaine.

II.9.2. Phénomène de magnétostriction des matériaux

Une contrainte mécanique appliquée à un matériau ferromagnétique provoque une variation de l'aimantation par action sur les domaines magnétiques. Inversement, l'aimantation introduit une déformation en supplément de la déformation créée par élasticité. La magnétostriction est la propriété que présentent les substances ferromagnétiques de changer de dimensions lorsqu'elles s'aimantent.

II.9.3. Effet de variation du module d'Young

Lorsque l'on applique une contrainte à un matériau ferromagnétique, celle-ci provoque une variation d'aimantation qui s'introduit en supplément de la déformation créée par élasticité. Ce phénomène correspond à une modification des constants élastiques du matériau, donc de son module d'Young E . Le module E est toujours réduit quel que soit le signe du coefficient de magnétostriction à saturation λ_s du matériau ferromagnétique doux. Ce matériau présente un alignement des moments magnétiques pour une très faible contrainte à champ nul. Pour une contrainte nettement supérieure à celle saturant l'aimantation, ΔE tend vers zéro. C'est-à-dire que la déformation relative magnétostrictive $(\frac{\Delta l}{l})_m$ est négligeable par rapport à la déformation relative élastique $(\frac{\Delta l}{l})_e$ lorsque la déformation relative totale $\frac{\Delta l}{l}$ est exprimée par la somme de $(\frac{\Delta l}{l})_m$ et $(\frac{\Delta l}{l})_e$. Le changement ΔE est important pour la zone de champ où les domaines magnétiques sont mobiles [10].

II.10. Effet du champ magnétique sur le comportement tribologique

Matériaux ferromagnétique

Le champ magnétique joue un rôle important sur le comportement tribologique des métaux, en découvre l'effet du champ magnétoplastique qui traduit une modification considérable de la plasticité des métaux en présence d'un champ magnétique. Cet effet magnétostatique se manifeste sous deux formes opposées. En effet, le champ magnétique peut conduire à un durcissement des cristaux et donc du métal appelé effet magnétoplastique positif. Mais il peut aussi conduire à un adoucissement des cristaux dit effet magnétoplastique négatif. De plus, la nature de l'effet magnétoplastique négatif dépend essentiellement des propriétés magnétiques des métaux [5]. C'est dans ce contexte rentre l'étude présentée par les étudiants. Cette étude concerne l'influence du champ magnétique sur les outils de coupe.

III.1. Introduction

L'opération de tournage joue un rôle très important dans l'industrie mécanique, dans laquelle les industriels cherchent à augmenter la productibilité tout maintenant un coût de production le plus bas possible. En 1987, V. J. Al Shits [12] a étudié l'effet du champ magnétique sur l'usure des outils de coupe, l'auteur a montré que l'effet de l'application de ce champ magnétique se traduit par une modification considérable de la plasticité des métaux, appelé magnétoplastique. En effet, le champ magnétique peut conduire à un durcissement des cristaux et donc du métal appelé effet magnétoplastique positif. Mais il peut aussi conduire à un adoucissement des cristaux dit effet magnétoplastique négatif. De plus, la nature de l'effet magnétoplastique négatif dépend essentiellement des propriétés magnétiques des métaux [12].

En 2003, 2004 et 2006, El MANSORI [13,14,15], a montré que l'effet du champ magnétique sur les mécanismes de frottement outil-copeau (position, morphologie de la zone primaire et contact outil-copeau) est de diminuer l'usure de l'outil de coupe et d'augmenter la durée de vie de l'outil de coupe [13,14,15].

L'étude présentée se rapporte à l'influence du champ magnétique sur les outils de coupe et sur le comportement d'usure d'un outil en carbure métallique en fonction de la vitesse de coupe durant les opérations de chariotage (usinage en tournage avec application d'un champ magnétique). Dans une première partie, on va étudier l'évolution de l'usure (perte de masse), en utilisant la méthode de pesage avant et après chaque opération d'usinage à l'aide d'une microbalance d'une précision de 10^{-4} g, pour établir les différentes valeurs de perte de masse normalisée. Le suivi de l'usure a été effectué à l'aide d'un microscope optique (OPTIKA). Les copeaux sont collectés et sont examinés géométriquement à l'aide d'un microscope optique, pour établir les différentes formes d'usure et du copeau normalisées.

III.2. Etalonnage de l'appareillage

III.2.1. Bobine

La bobine est constituée de fil de cuivre, de l'acier ferromagnétique et un support en acier, elle a une position perpendiculaire à l'axe de la pièce usinée, et il est parcouru par un courant continu ou alternatif. En ce qui concerne, la bobine (Fig. III.1), admet les caractéristiques décrites dans le tableau III.1.

Tableau. III.1. Caractéristiques de la bobine et du fil de cuivre

<i>NOMBRE DE SPIRES (N_s)</i>	500
<i>Longueur de la bobine (L)</i>	60 mm
<i>Diamètre du fil de cuivre ($D1$)</i>	1.2 mm

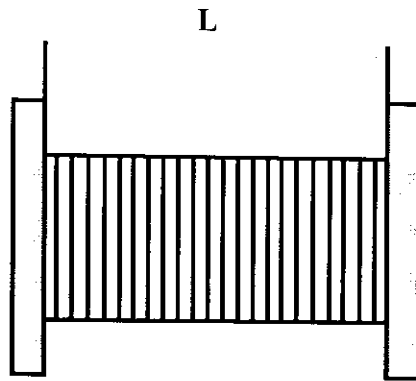


Fig. III.1. Bobine.

III.2.2. Mesure d'intensité du champ magnétique

En ce qui concerne le champ magnétique, il est nécessaire de noter que l'intensité du champ magnétique est déduite à partir de sa mesure à l'aide d'un ampèremètre, qui nous permet d'avoir la valeur de H à chaque fois qu'on varie le courant I qui alimente la bobine (Fig. III.2).

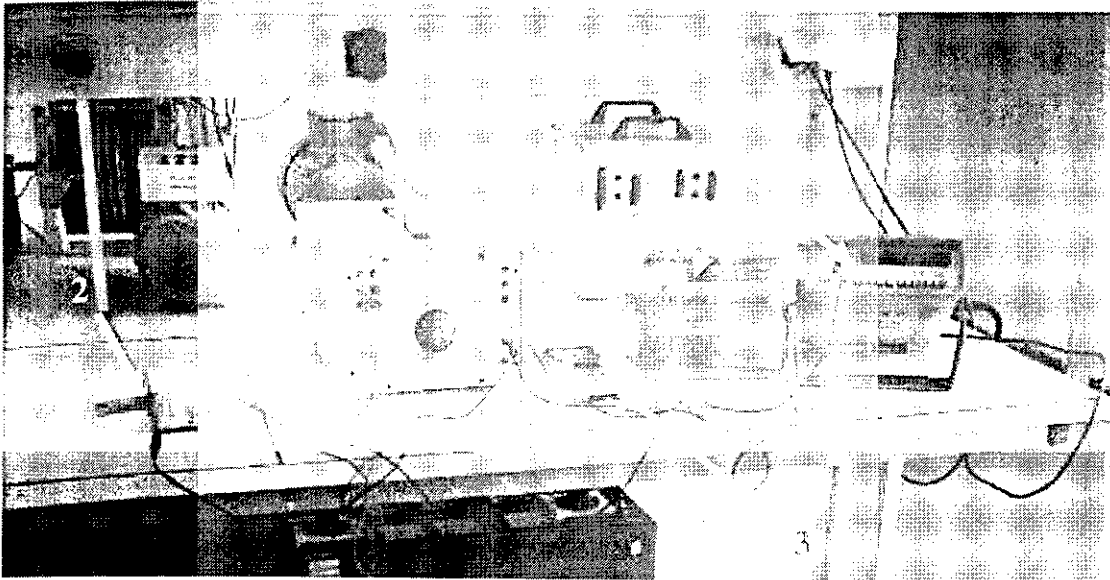


Fig. III.2. Schématisation du dispositif de mesure d'intensité du champ magnétique appliqué à l'outil.

Avec :

- 1: régulateur de tension électrique (V).
- 2 : bobine ($N_s = 500$).
- 3 : ampèremètre (A).
- 4 : multimètre (permet de réaliser différentes mesures électriques (tension, intensité, ...etc.)

Cette opération consiste à tracer la courbe $I=f(H)$ d'étalonnage (Tableau III.2).

Tableau III.2. Valeur exprimant l'intensité du champ magnétique en fonction de courant électrique I

<i>I (A)</i>	<i>0.09</i>	<i>0.33</i>	<i>0.66</i>	<i>0.96</i>	<i>1.13</i>	<i>1.35</i>	<i>1.42</i>	<i>1.49</i>	<i>1.61</i>
	<i>1.76</i>	<i>1.85</i>	<i>1.95</i>	<i>2.19</i>	<i>2.3</i>	<i>2.45</i>	<i>2.53</i>	<i>2.68</i>	<i>2.68</i>
	<i>2.85</i>	<i>3.01</i>	<i>3.13</i>	<i>3.26</i>	<i>3.45</i>	<i>3.65</i>	<i>3.93</i>		
<i>V (V)</i>	<i>0.2</i>	<i>0.7</i>	<i>1.4</i>	<i>2</i>	<i>2.4</i>	<i>2.9</i>	<i>3</i>	<i>3.2</i>	<i>3.5</i>
	<i>3.8</i>	<i>4</i>	<i>4.2</i>	<i>4.7</i>	<i>5</i>	<i>5.3</i>	<i>5.5</i>	<i>5.9</i>	<i>6.3</i>
	<i>6.6</i>	<i>6.9</i>	<i>7.2</i>	<i>7.7</i>	<i>8.2</i>	<i>8.5</i>	<i>8.9</i>		

De plus, on peut donc calculer l'intensité du champ magnétique pour un courant électrique I donné (Fig. III.3) :

$$H = I.N_s/L = 8.33. I \text{ (KA/m)} \tag{II.1}$$

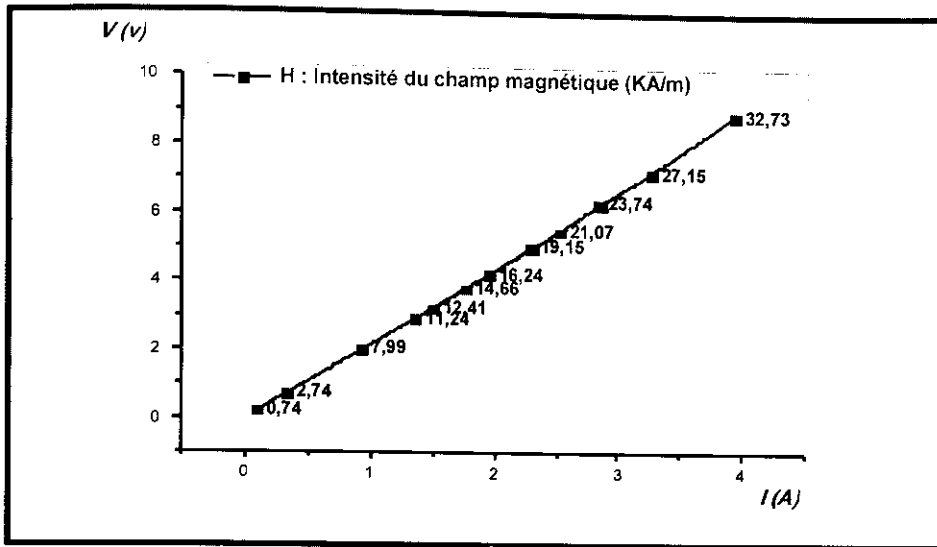


Fig.III.3. Evolution de l'intensité du champ magnétique en fonction de courant.

III.3. Conduite de l'essai

III.3.1. Description du travail expérimental

Les essais sont établis selon les spécifications du C.I.R.P. (collège international pour l'étude scientifique des techniques de production mécanique). Lors de notre travail expérimental nous avons utilisé un dispositif qu'on a schématisé sur la figure (III.4).

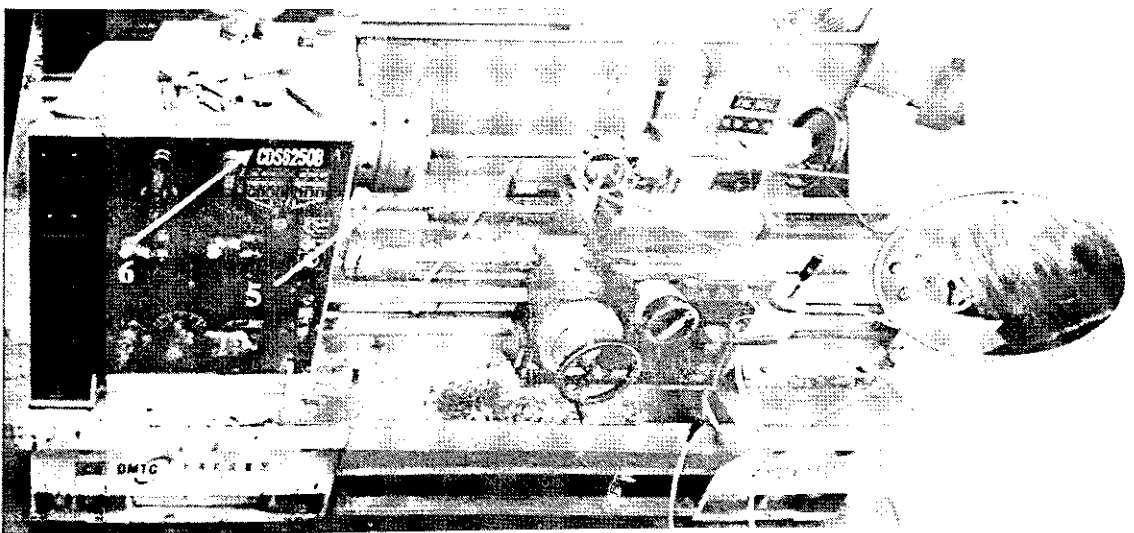


Fig. III.4. Schéma général du dispositif expérimental (tour à chariot, modèle : CDS6250B).

Avec :

- 1 : alimentation à courant continue $I=0-5A$, $V= 0-30V$.
- 2 : bobine dont le nombre de spires = 500.
- 3 : la plaquette de l'outil en carbure métallique, type TNMG220408-VM PC5300.
- 4 : pièce usinée, XC48.
- 5 : porte-pièce.
- 6 : tour à charioter, modèle : CDS6250B

III.3.2. Matériau utilisé

En premier lieu, il est nécessaire d'analyser la matière à usiner avant d'entamer la coupe. Nous avons utilisé des pièces en acier non allié XC48 de fabrication nationale d'un même lot. Pour l'étude on a utilisé des pièces cylindriques de diamètre 60 mm et de longueur 305 mm (Fig.III.5).

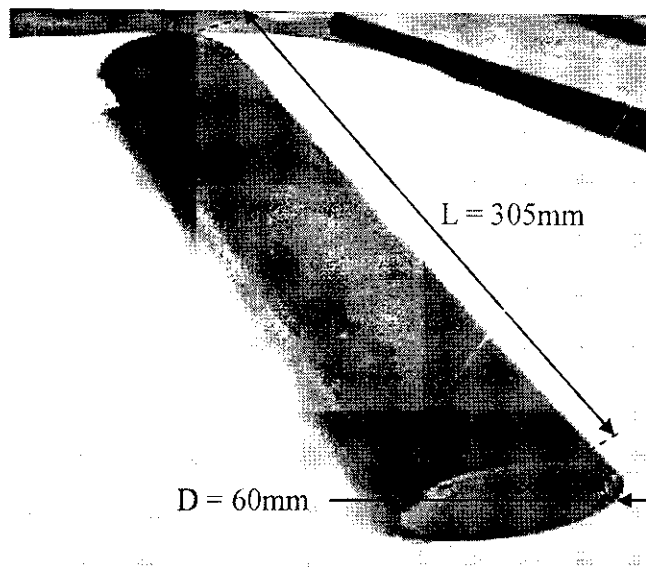


Fig. III.5. Pièce à usiner XC48

La composition chimique et la structure métallographique de l'acier XC48 sont mentionnées dans le tableau III.3 et la figure III.6 respectivement.

Tableau. III.3. Acier XC48 [16]

Composition chimique		Caractéristiques Mécaniques
C %	0.45÷0.49	
Mn %	0.85	Re \approx 310 MPa
Si %	0.22	
P %	0.024	Rm \approx 520÷640 MPa
S %	0.023	
Cu %	0.128	$\Delta > 17 \%$
Cr %	0.134	

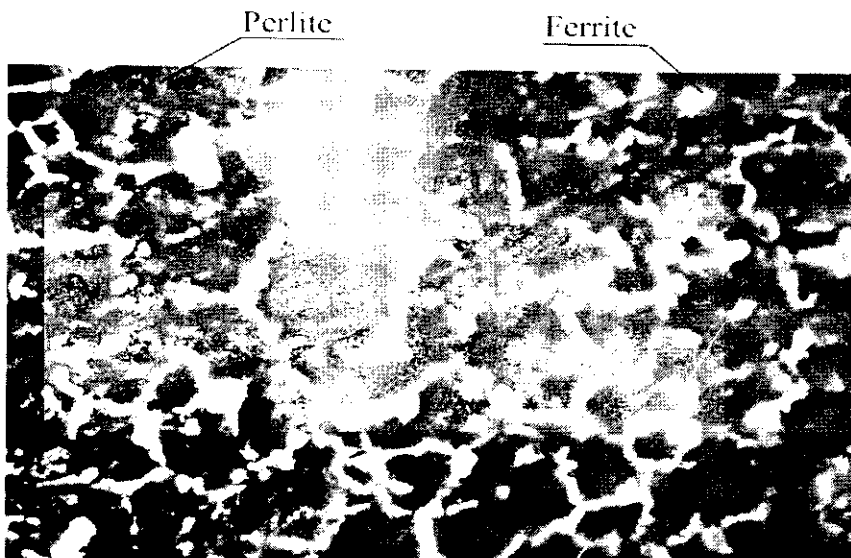
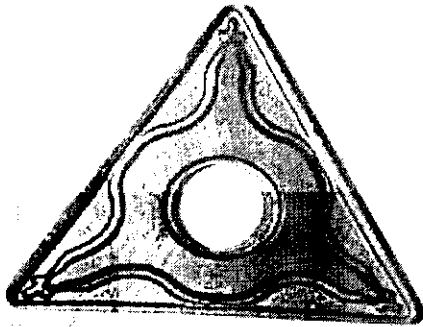


Fig.III.6. Structure métallographique de l'acier XC48 [16]

III.3.3. Plaquettes utilisées

Les plaquettes utilisées, sont en carbure métallique obtenue par frittage et sont essentiellement composés de carbure de tungstène WC (Fig.III.7). Pour améliorer certaines propriétés, des additions de carbure de titane ou de tantale. Ces carbures sont caractérisés par leur haute réfractivité et des duretés très élevées. Durant toutes nos expériences, nous avons utilisé des plaquettes amovibles de forme triangle et dont les dimensions sont représentées sur le tableau III.4.



(a)



(b)

Fig.III.7. Plaquette de type triangle TNMG220408-VM PC5300 : (a) vue d'ensemble de la plaquette et (b) vue de détail de la plaquette

Tableau III.4. Dimensions des plaquettes type triangle [17]

<i>Caractéristiques</i>	<i>Type</i>
<i>Outil de coupe</i>	<i>Carbure métallique</i>
<i>Insérer un motif</i>	<i>TNMG</i>
<i>la taille</i>	<i>432</i>
<i>CHIPBREAKER</i>	<i>HM</i>
<i>Désignation</i>	<i>TNMG432-HM PC5300</i>
<i>ISO</i>	<i>TNMG220408-VM PC5300</i>
<i>la forme</i>	<i>Triangle de 60 degrés</i>

Le mode d'usinage en tournage est de type chariotage. Le choix du porte-outil (porte-plaquette) s'est orienté sur un porte-outil de référence PMO PTG NR 25*25*25 dont les caractéristiques géométriques sont indiquées sur le schéma ci-dessous (Fig.III.8).

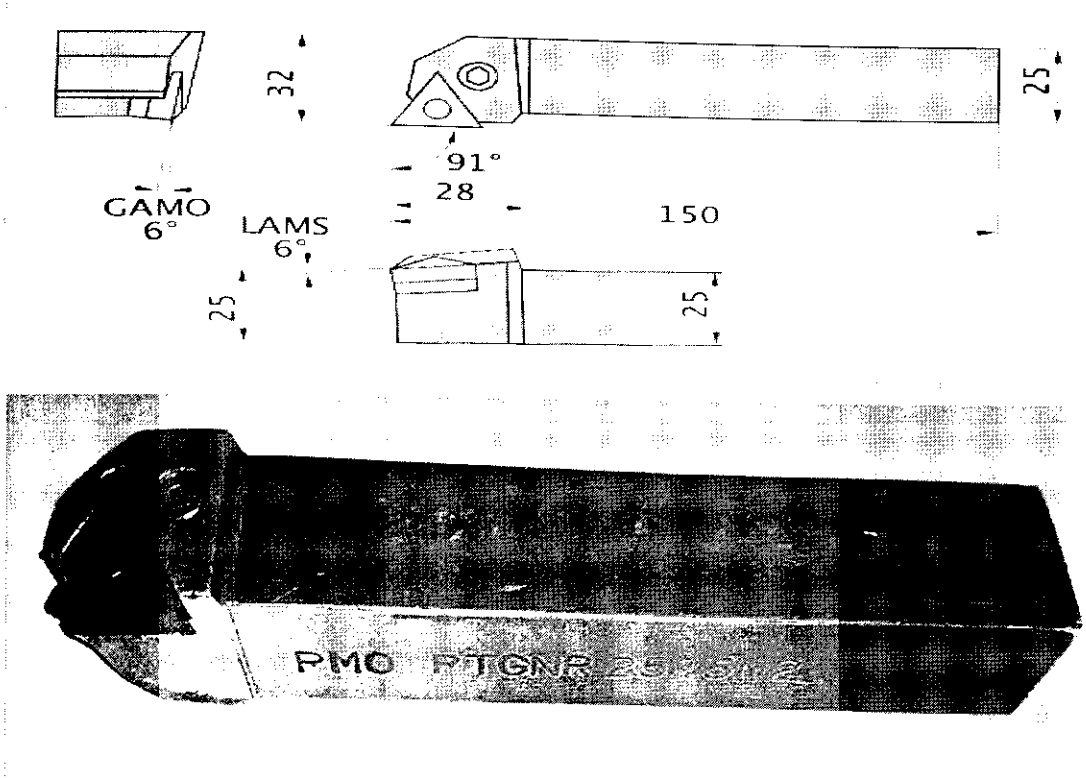


Fig.III.8. Fixation de la plaquette amovible sur le porte-outil.

III.4. Evaluation de l'usure de la plaquette par la méthode de pesage

Pour évaluer l'usure en question, nous avons utilisé la méthode de pesage qui consiste à peser l'échantillon (plaquette) avant et après chaque opération d'usinage à l'aide d'une microbalance de marque DHAUS, d'une précision de 10^{-4} g (Fig. III.9).



Fig. III.9. Microbalance de type DHAUS.

III.5. Analyses et observations

Microscope optique

Un microscope métallographique de type OPTIKA ITALY « Austria, Nr-348-557 » (Fig. III.10) permet l'observation des échantillons, avec un grandissement de 4 (Epi V 4/0,10). Ce microscope est muni d'une caméra et d'une imprimante. L'avantage de la microscopie optique, outre sa grande facilité d'utilisation, est de permettre l'observation de grandes surfaces et de collecter ainsi une information globale sur l'aspect de la surface observée. Mais compte tenu de sa faible résolution, il n'est pas possible de l'utiliser pour une observation fine d'objets rugueux de petite taille ; la microscopie électronique à balayage est alors mieux adaptée.

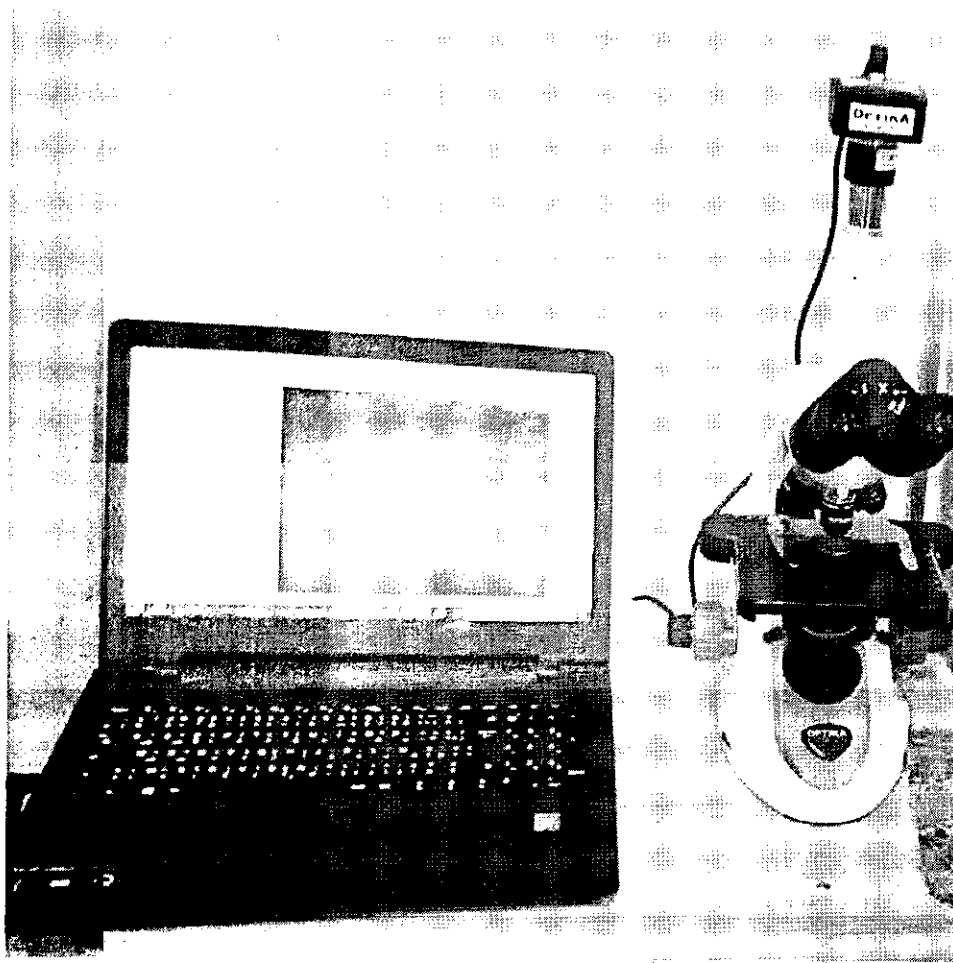


Fig. III.10. Microscope optique de type OPTIKA.

IV.1. Evolution de l'usure de l'outil de coupe en fonction de la vitesse de coupe

La vitesse de coupe représente un des principaux paramètres de régime de coupe. Son accroissement rend le travail plus productif, mais diminue la durée de vie de l'outil de coupe. Le tranchant de l'outil, qui constitue l'élément actif par lequel est effectué le travail de déformation, est soumis à des sollicitations mécaniques et thermiques très sévères, qui entraînent son usure et sa dégradation dans un temps relativement limité. Aussi, afin de nous permettre de voir l'influence du champ magnétique sur les outils de coupe, on a commencé par révéler son importance sur l'usure au cours de l'usinage et plus spécialement la perte de masse de la plaquette. En comparant l'allure de la courbe d'usure en présence ou en absence du champ magnétique.

Par ailleurs, pour mettre en évidence l'influence du champ magnétique sur l'usure, on a réalisé les courbes représentées dans les figures IV.1, 2, 3 et 4.

D'après la figure IV.1, sans lubrification, on observe que la perte de masse vaut $1400 \mu\text{g}$ ($H=0\text{KA/m}$), mais pour les figures IV.2 et 3 la perte est réduite à $100 \mu\text{g}$ n'atteint pas la valeur de $V_B=0,3\text{mm}$ pour $H=11,24 \text{KA/m}$ et $H=19,15 \text{KA/m}$ (dans la figure IV.2 on constate que la perte de masse prend la même valeur par rapport à la courbe IV.3 qui égale à $100 \mu\text{g}$). Pour $H=32,73 \text{KA/m}$, la perte de masse vaut $200 \mu\text{g}$, cette perte de masse ou usure est la conséquence, de la vitesse de coupe qui augmente l'usure de l'outil, cette usure est d'abord de nature mécanique ; elle est due aux contraintes permanentes ou cycliques et à l'action du frottement.

Enfin, sur la figure IV.1, la valeur de $1400 \mu\text{g}$ de perte de masse, est plus grande que celle enregistrée sur la figure IV.3 qui est égale à $100 \mu\text{g}$, ce qui signifie que le champ magnétique a une grande influence sur la diminution de l'usure.

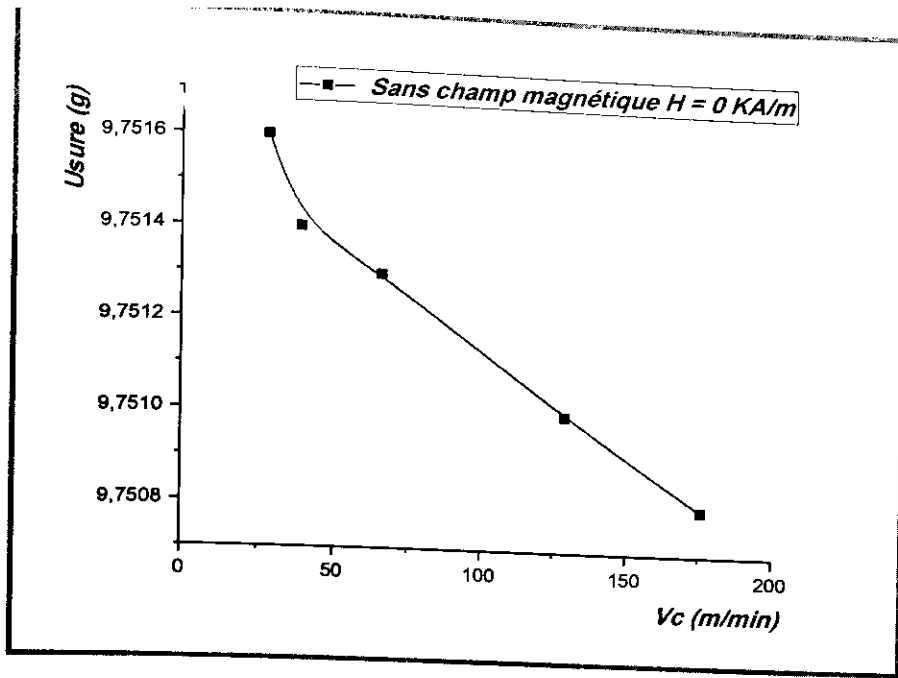


Fig. IV.1. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification $H = 0 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_c = 3 \text{ min}$ et $m_i = 9.7519 \text{ g}$

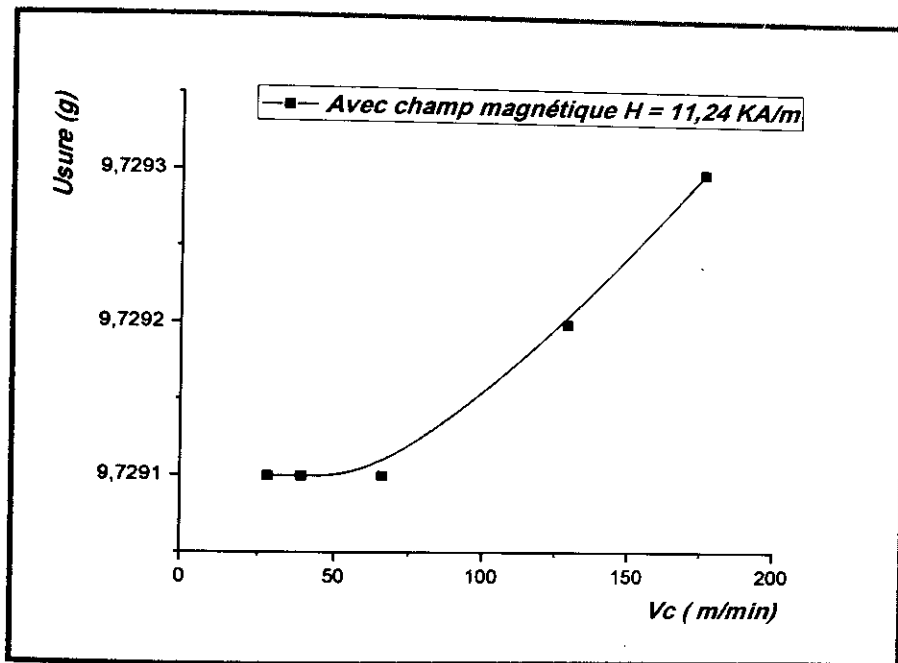


Fig. IV.2. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification $H = 11.24 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_c = 3 \text{ min}$ et $m_i = 9.7292 \text{ g}$

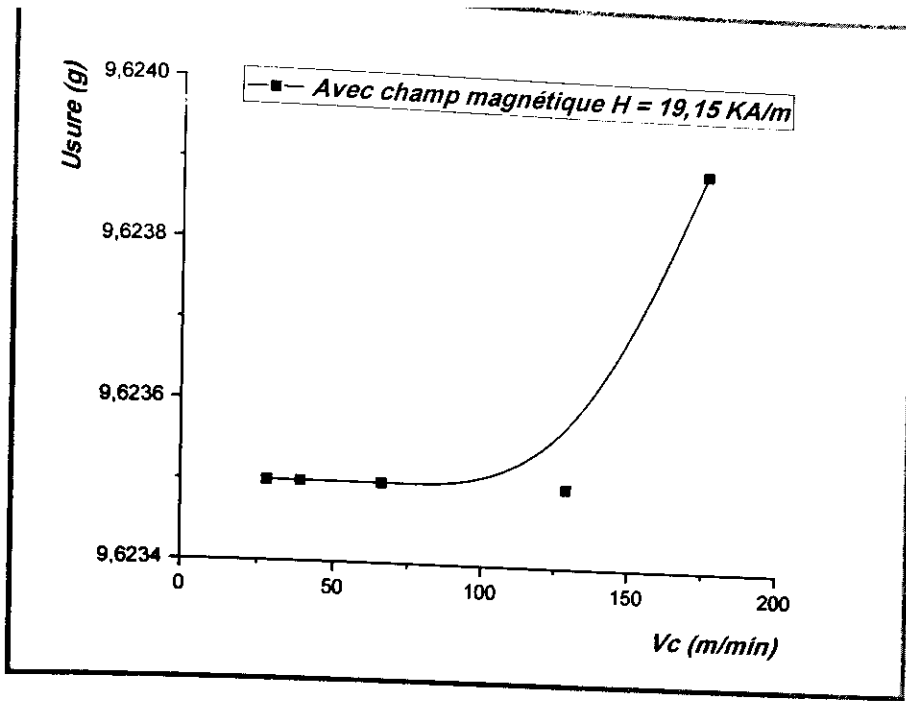


Fig. IV.3. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification
 $H = 19.15 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_c = 3 \text{ min}$ et $m_i = 9.6235 \text{ g}$

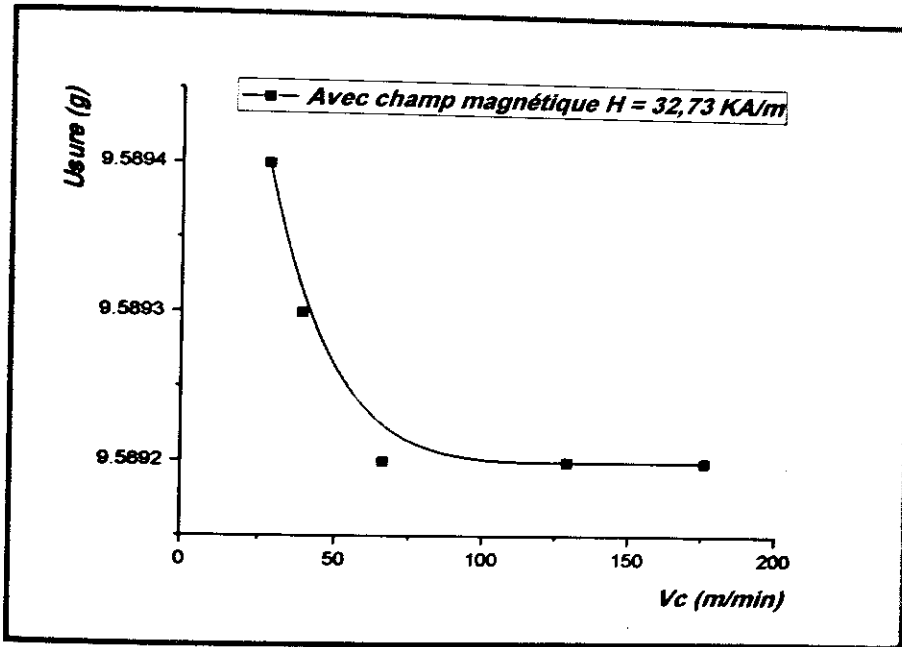


Fig. IV.4. Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe sans lubrification
 $H = 32.73 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $L_c = 305 \text{ mm}$, $T_c = 3 \text{ min}$ et $m_i = 9.5894 \text{ g}$

IV.2. OBSERVATIONS METALLOGRAVIQUE DE L'USURE DES PLAQUETTES

IV.2.1. Etat initial de l'outil de coupe

Sur la figure IV.5, on observe l'état initial de l'outil de coupe avant l'usinage (non soumis à aucune contrainte : la surface de coupe, la surface de dépouille et le rayon de pointe ne présentent aucune déformation et sont par conséquent intacts).



Fig. IV.5. Etat initial de l'outil de coupe.

IV.2.2. Pour $H = 0$ KA/m

Pour connaître l'influence du champ magnétique sur l'usure de l'outil de coupe, on comparera les images microscopiques qui concernent le champ magnétique et les images obtenues sans champ magnétique (Figures IV.6, 7, 8, et 9).

Sur la figure IV.6 on constate deux formes d'usure développées à savoir :

- Usure sur la face de coupe (usure cratère) importante engendrée par l'absence de la lubrification et la vitesse de coupe choisie ;
- Usure sur la face de dépouille moyenne causée par deux paramètres important : la température interfaciale entre l'outil-copeau-pièce et l'effet des contraintes sur l'arête tranchante.

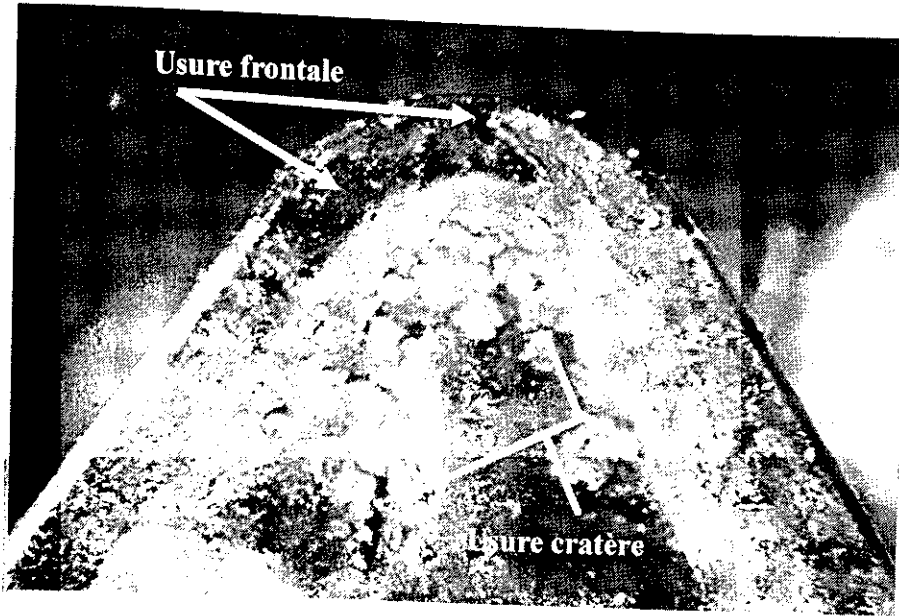


Fig. IV.6. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H= 0$ KA/m,
 $a = 1$ mm, $f = 0.720$ mm/tr, $l_c = 305$ mm.

IV.2.3. Pour $H = 11.24$ KA/m

Sur la figure IV.7 on remarque une évolution de l'usure suivant deux formes:

- Usure sur la faces de dépouille faible causée par deux paramètres important : la température interfaciale entre l'outil-copeau-pièce et l'effet des contraintes sur l'arête tranchante ;
- Usure par arête rapportée (copeau adhérent), lorsque le copeau glisse sur la face de dégagement de l'outil, un frottement intense engendre des élévations de température localisées, des fusions et des micro-soudures.

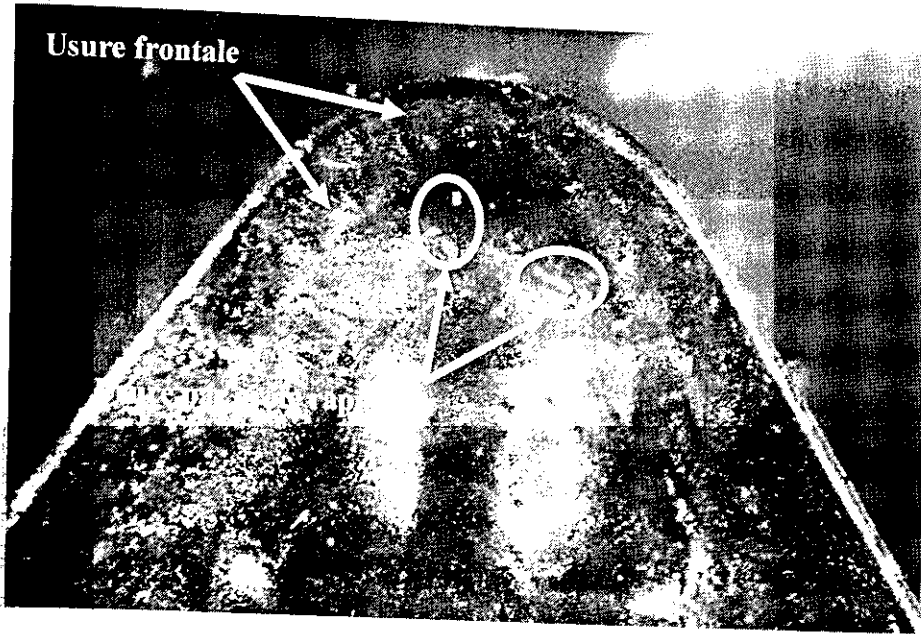


Fig. IV.7. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H = 11.24 \text{ KA/m}$,
 $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $l_c = 305 \text{ mm}$.

VI.2.4. Pour $H = 19.15 \text{ KA/m}$

Sur la figure IV.8 on remarque plusieurs formes d'usure développées et qui sont:

- Usure sur la face de coupe (usure cratère) moyenne engendrée par l'absence de la lubrification et la vitesse de coupe choisie ;
- Usure sur la face de dépouille faible causée par deux paramètres important : la température interfaciale entre l'outil-copeau-pièce et l'effet des contraintes sur l'arête tranchante ;
- Usure par arête rapportée (copeau adhérent), lorsque le copeau glisse sur la face de dégagement de l'outil, un frottement intense engendre des élévations de température localisées, des fusions et des micro-soudures.

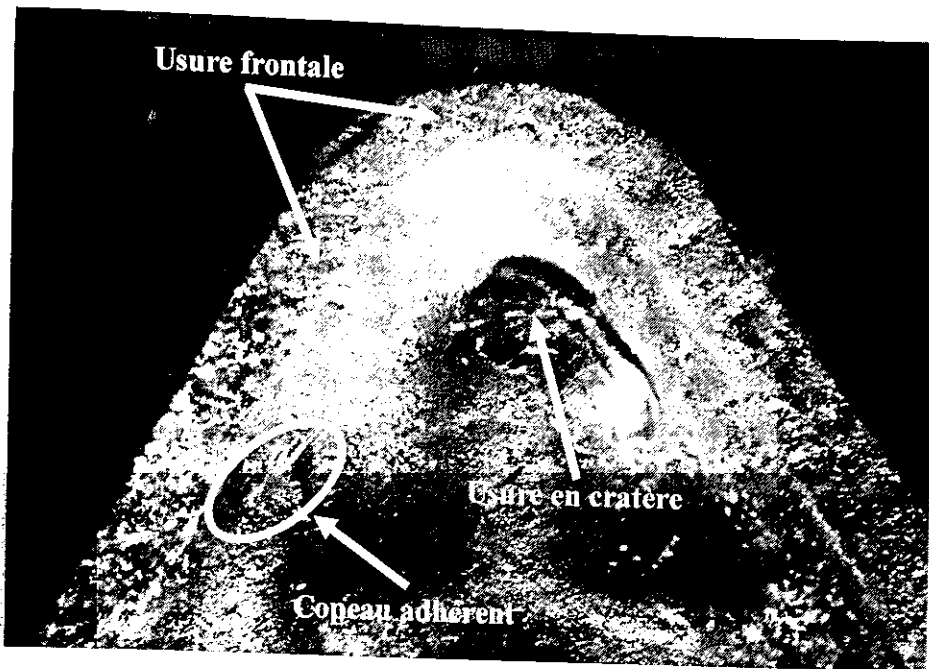


Fig. IV.8. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil :
 $H = 19.15 \text{ KA/m}$, $a = 1 \text{ mm}$, $f = 0.720 \text{ mm/tr}$, $l_c = 305 \text{ mm}$.

VI.2.5. Pour $H = 32.73 \text{ KA/m}$

Sur la figure IV.9, on remarque une évolution de l'usure qui présente trois natures:

- Usure sur la face de coupe (usure cratère) faible engendrée par l'absence de la lubrification et la vitesse de coupe choisie ;
- Usure sur la face de dépouille faible causée par deux paramètres important : la température interfaciale entre l'outil-copeau-pièce et l'effet des contraintes sur l'arête tranchante ;
- Usure par arête rapportée (copeau adhérent), lorsque le copeau glisse sur la face de dégagement de l'outil, un frottement intense engendre des élévations de température localisées, des fusions et des micro-soudures.

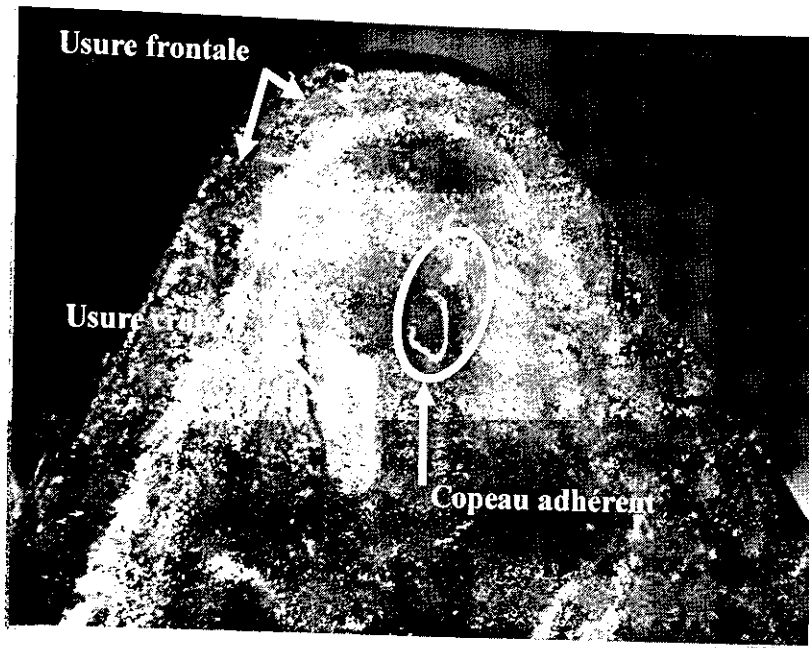


Fig. IV.9. Morphologie de la topographie sur OPTIKA de l'usure de l'outil : $H= 32.73\text{KA/m}$,
 $a=1\text{ mm}$, $f= 0.720\text{ mm/tr}$, $l_c = 305\text{ mm}$.

Sur les photographies, on peut constater que l'application du champ magnétique entraîne faible usure de type cratère, frontale et usure par arête rapportée. En absence de ce champ, on constate la présence d'une usure cratère importante et d'une usure frontale sur l'arrondi de l'arête tranchante. Ces résultats montrent que la présence d'un champ magnétique améliore l'état de l'arête tranchante et durcit l'outil ce qui diminue l'usure de ce dernier.

IV.3. Evolution de la morphologie des copeaux sur l'usure des outils de coupe

Dans la figure IV.10 et les figure IV.11 et 12 nous allons essayer de rechercher la relation entre l'influence du champ magnétique, la morphologie des formes du copeau et la nature d'usure de la plaquette de l'outil de coupe.

Les figures. IV.10, 11 et 12 montrent l'image des morphologies des copeaux (observations micrographiques et macrographiques) ayant été usinées dans différentes conditions expérimentales, pour trois vitesses de coupe différentes (28, 39 et 176 m/min), avec et sans champ magnétique.

A la suite des différentes observations micrographiques, présentées sur la figure IV.10, on constate que la vitesse de coupe n'a pas d'influence sur la morphologie générale du copeau. Nous avons remarqué que les copeaux sont toujours continus. Ils sont en dents de scies différentes, la forme du profil du copeau différente (dents) suivant l'intensité du champ

magnétique [15]. Sur la figure IV. 10a le profil présente de grandes dents de scies [18], ces copeaux sont formés par une localisation de déformation et par cisaillement, mais pour la figure IV.10b et la figure IV.10c la taille des dents est petite et sur la figure IV.10d leur taille est moyenne [19]. L'endommagement de l'arête tranchante est faible en présence d'un champ magnétique figures IV.10b, 10c et 10d.

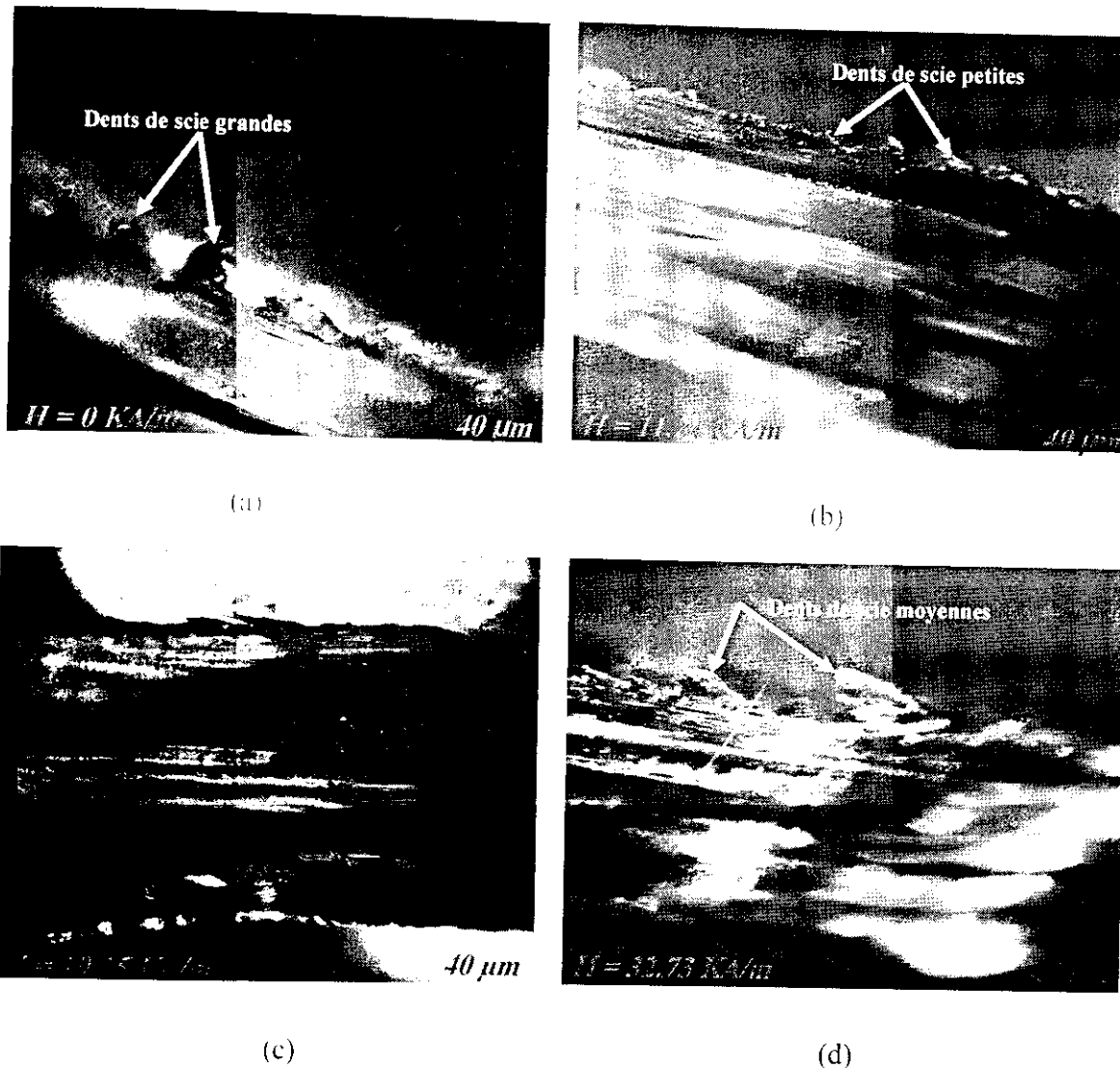


Fig. IV.10. Evolution de la morphologie des copeaux sur l'usure des outils de coupe :
 $V_c = 28 \text{ m/min}$: (a) $H=0\text{KA/m}$, (b) $H=11.24\text{KA/m}$, (c) $H=19.15\text{KA/m}$, (d) $H=32.73\text{KA/m}$

En ce qui concerne l'effet du champ magnétique sur la morphologie des copeaux, ces derniers des essais ont été systématiquement récupérés et analysés. Sur les figures. IV.11 et 12, on constate un changement des morphologies du copeau à cause de l'attraction magnétique (force magnétique attirante), l'élévation de la température et le changement attendu dans la coupe thermomécanique (propriétés de coupe) [15,20].

La comparaison des deux figures IV.11 et IV.12 montre que l'application du champ magnétique réduit les contraintes de cisaillement de contact à l'interface (outil-copeau-pièce). Ainsi, modifie radicalement la nature de coupe et la forme des copeaux d'usinage [21].

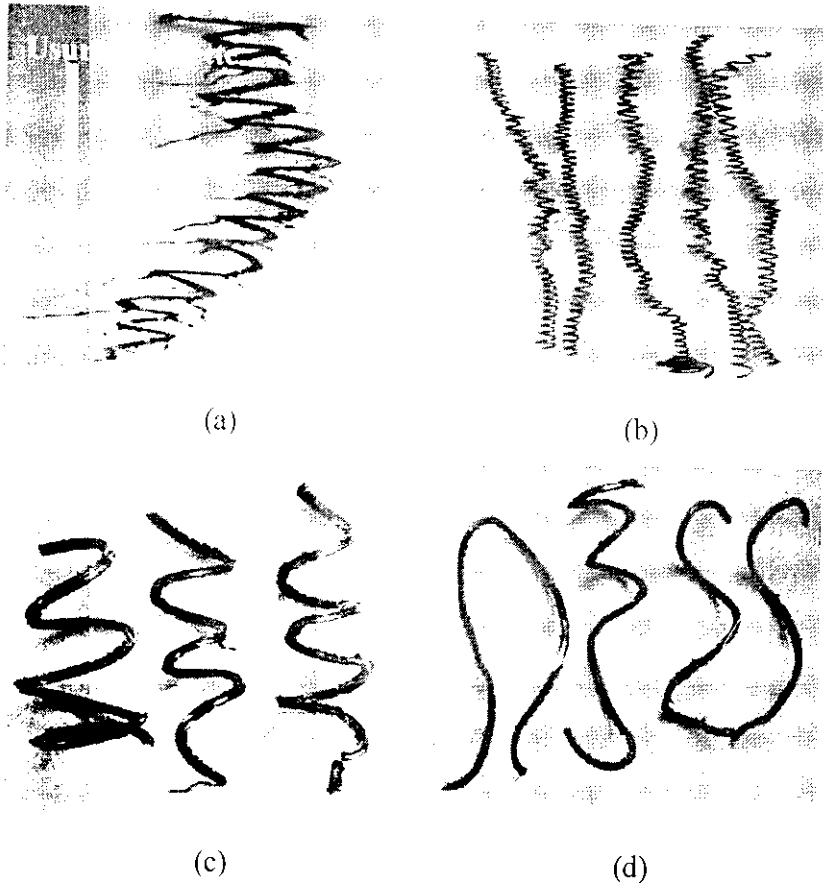


Fig. IV.11. Evolution de la morphologie des copeaux en fonction de vitesse de coupe $V_c = 39$ m/min : (a) $H=0$ KA/m, (b) $H=11.24$ KA/m, (c) $H=19.15$ KA/m, (d) $H=32.73$ KA/m

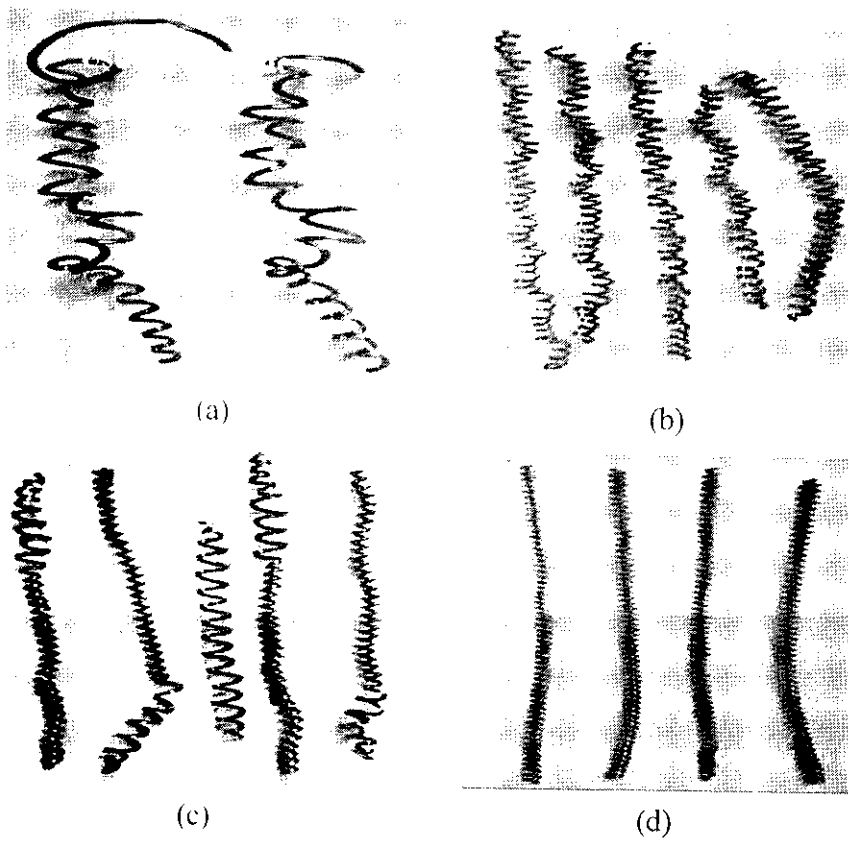


Fig. IV.12. Evolution de la morphologie des copeaux en fonction de vitesse de coupe $V_c = 176$ m/min : (a) $H=0$ KA/m, (b) $H=11.24$ KA/m, (c) $H=19.15$ KA/m, (d) $H=32.73$ KA/m.

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous a permis d'étudier l'influence du champ magnétique sur les outils de coupe et plus spécialement sur la durée de vie qui est l'une des plus importantes contraintes de l'opération de coupe .

Une intensité du champ magnétique critique d'une valeur de 19.15 KA/m a été choisie durant le travail expérimental, d'après les courbes de la perte de masse en présence et en absence du champ magnétique qui correspond d'une part à la plus grande valeur de la perte de masse, et autre part au point où le changement de l'allure de la courbe est significatif.

Durant les opérations d'usinage, en fonction de la vitesse de coupe, on a constaté que le travail en présence de l'intensité du champ magnétique, la perte de masse a été minime par rapport à celui en absence du champ magnétique. Ainsi, la perte de masse a été plus petite lors du travail avec champ magnétique. En ce concerne la nature d'usure, elle est plus faible en présence du champ magnétique qu'en son absence où elle est considérable (a été par usure frontale petite, usure par copeaux adhérent et usure cratère moyenne dans le cas du travail avec champ magnétique, et a été par usure frontale moyenne, usure cratère très importante dans le cas du travail sans champ magnétique).

Enfin, nous avons pu montrer que l'application d'un champ magnétique à un outil de coupe diminuait son usure et modifier son comportement mécanique ou la tribologie du contact outil-pièce-copeau, nous pouvons conclure que l'application d'un champ magnétique aux outils de coupe apparaît comme une solution simple, efficace et peu onéreuse pour augmenter leur durée de vie et ainsi contribuer à l'optimisation de l'outil de production.

Références bibliographiques

1. Zambelli, G. and L. Vincent, Matériaux et contacts: une approche Tribologique. 1998: Ed. Techniques Ingénieur.
2. Depeyre, P., Fabrication mécanique. Faculté des sciences et technologies, Université de la Réunion, 2005: p. 1-17.
3. El Larbi, B.M., Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique. 2018.
4. REMLI, F., L'effet d'usinage par tournage sur un acier XC18. 2016, Université Mohamed Khider-Biskra.
5. Djilani, N. and B. Ali, Contribution à l'optimisation de la durée de vie d'un outil de coupe par l'application d'un champ magnétique. 2017.
6. Coupe des métaux ·Pierozak-Jean Pierre. Editrion OPU Alger 1988
7. MEKHILEF, S., Etude des nouveaux matériaux de coupe et Leur aptitude à l'usinage. 2007, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba. Algérie.
8. Velasquez, J.D.P., Etude des copeaux et de l'intégrité de surface en usinage à grande vitesse de l'alliage de titane TA6V. 2007, Université Paul Verlaine-Metz.
9. Bonnet, C., Compréhension des mécanismes de coupe lors du perçage à sec de l'empilage Ti6Al4V/Composite fibre de carbone. 2010, Arts et Métiers ParisTech.
10. Ba, A.C., Étude du comportement tribologique d'un couple de matériaux ferromagnétique acier XC48 en contact mécanique et magnétique à sec. 2016, Poitiers.
11. Mekroud, A., Influence du champ magnétique sur le comportement tribologique des couples métalliques glissants acierXC 48/AcierXC48, Laiton/Acier XC et Aluminium/Acier XC48. 2008.
12. DENAPE, J., Science Friction–introduction à la tribologie. DEA sciences des matériaux, 2001.

13. Barrau, O., Étude du frottement et de l'usure d'acier à outils de travail à chaud. 2004.
14. Remadna, M., Le Comportement du système usinant en tournage dur. 2001, Lyon, INSA.
15. Germain, G., Contribution à l'optimisation du procédé d'usinage assisté laser. 2006, Arts et Métiers ParisTech.
16. LAOUAR, L., Traitement mécanique de surface par brunissage des aciers XC48 et XC18-optimisation et caractérisation. 2007, Université de Annaba-Badji Mokhtar.
17. TRAVERS, KORLOY 1-02-040167 - TNMG432-VM PC5300, 60° TRIANGLE, INDEXABLE CARBIDE TURNING / BORING INSERT. 2021.
18. Poulachon, G., Aspects phénoménologiques, mécaniques et métallurgiques en tournage c-bn des aciers durcis. Application: usinabilité de l'acier 100Cr6. 1999, Paris, ENSAM.
19. Habak, M., Etude de l'influence de la microstructure et des paramètres de coupe sur le comportement en tournage dur de l'acier à roulement 100Cr6. 2006, Paris, ENSAM.
20. List, G., 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. 2004, Paris, ENSAM.
21. Laheurte, R., Application de la théorie du second gradient à la coupe des matériaux. 2004, Bordeaux 1.

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence du champ magnétique sur l'usure des outils de coupe et le comportement d'usure de l'outil en fonction de la vitesse de coupe à partir de la perte de masse durant les opérations de chariotage et la nature de l'usure. Lors de nos expériences, nous avons constaté l'existence d'une valeur critique de l'intensité du champ magnétique $H=19.15\text{kA/m}$, qui provoque une résistance non négligeable à l'usure et détermine sa nature (pour laquelle l'usure de l'outil de coupe est minimale et l'arête tranchante de l'outil de coupe est préservée). Par ailleurs, l'étude a montré que la présence du champ magnétique dans le contact d'usinage (contact magnéto-tribologique) modifie radicalement la nature de l'usure et la forme des copeaux d'usinage.

Mots clés : Usinage, chariotage, champ magnétique, outil de coupe, usure, vitesse de coupe.

Abstract

In this work, we studied the influence of the magnetic field on the wear of cutting tools and the wear behavior of the tool as a function of the cutting speed taken from the loss of mass during the stock removal operations and the nature of the wear. During our experiments, we noted the existence of a critical value for the intensity of the magnetic field $H = 19.15\text{kA} / \text{m}$, which causes non negligible resistance to wear and determines its nature (for which the wear cutting tool is minimal and the cutting edge of the cutting tool is preserved). In addition, the study showed that the presence of the magnetic field in the machining contact (magneto-tribological contact) modifies radically the nature of the wear and the shape of the machining chips.

Keywords: manufacturing, turning, Magnetic field, cutting tool, wear, cutting speed.

المخلص

في هذا العمل ، قمنا بدرسنا تأثير المجال المغناطيسي على تآكل أدوات القطع وبنية أدوات القطع بدالة سرعة القطع وذلك بناء على الضياع في الكتلة أثناء عملية الخراطة بدون تشحيم. خلال تجاربنا ، لاحظنا وجود قيمة حرجة لشدة المجال المغناطيسي تقدر $H = 19.15\text{kA} / \text{m}$ ، والتي تسبب مقاومة غير مهملة للتآكل والحفاظ على طبيعة التآكل (حيث يكون تآكل أداة القطع في حده الأدنى و أسلوب طبيعة الحد القاطع كذلك أيضا). بالإضافة إلى ذلك ، أظهرت الدراسة أن وجود المجال المغناطيسي في التلامس الميكانيكي أثناء عملية الخراطة (التلامس المغناطيسي الترابيولوجي) يغير جذرياً طبيعة التآكل وشكل رائش التصنيع.

الكلمات المفتاحية: التصنيع، الخراطة الطولية ، الحقل المغناطيسي، أداة القطع، التآكل، سرعة القطع.

