

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**  
**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
**MASTER**

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : Fabrication Mécanique et Productique

PAR :

**ARAOUNE Fouad**

**MOULOUD Hicham**

**Thème**

---

**Usure des outils de coupe**

**Etude de cas**

---

Soutenu le 27/09/2020 devant le jury composé de:

Mr. Hadjou.M

Président

Mr. Belamri.A

Rapporteur

Mr. Bensaid.N

Examineur

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020**

# REMERCIEMENTS

Ce mémoire marque l'aboutissement d'un long cheminement universitaire. Il représente toute l'énergie et tout le dévouement que nous avons investis dans nos études à ce jour.

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté et le courage pour achever ce travail.

Nous exprimons nos vifs remerciement, notre profonde gratitude et notre reconnaissance à notre promoteur BELAMRI Abdellatif qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail et pour ses conseils, ses remarques pertinentes et surtout sa disponibilité et ses orientation.

Nous remercions également tous les enseignants du Département génie mécanique de l'université de Bejaia pour leur aide précieuse.

Nous tenons à remercier aussi l'ensemble du personnel du hall technologie de l'université .

Nos remerciement s'adressent également aux au membre de jury pour avoir acpté de lire et d'évaluer ce travail.

Nous remercieront l'ensemble des étudiants Génie mécanique et spécialement les étudiants de la section Fabrication Mécanique et Productique 2019/2020

## Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, mes frères et tous mes amis qui m'ont soutenus durant toute la période de la préparation de ce mémoire.

Fouad

## Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu les protège.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude .

Hicham

# **Chapitre I**

## **L'usure des outils de coupe**

# **Chapitre II**

## **La tribologie des outils de coupes**

## **Chapitre III**

### **Usure des outils de coupe ( carbure, carbure revêtue, ARS)**



## SOMMAIRE

Chapitre I: L'usure des outils de coup .....	1
I.1 Généralités sur l'usure : .....	1
I.2 Définition de l'usure : .....	2
I.3 Conséquence de l'usure des outils .....	3
I.4 Phénomènes provoquant l'usure .....	3
I.4.1 Phénomènes mécanique.....	3
I.4.1 .1 Usure par adhésion mécanique .....	3
I.4.1 .2 Usure par abrasion mécanique.....	4
I.4.1 .3 Usure par déformation plastique.....	5
I.4.1 .4 Usure par fissuration.....	5
I.4.2 Phénomène physico-chimiques .....	5
I.4.2 .1 Usure par diffusion .....	5
I.4.2 .2 Usure par corrosion .....	6
I.5 Evolution des divers mécanismes d'usure en fonction de la température.....	7
I.6 Les différentes formes d'usure .....	8
I.6 .1 Usure en dépouille : .....	8
I.6 .2 Usure en entaille .....	9
I.6 .3 Usure de la face de coupe .....	10
I.6 .4 Usure par déformation du bec de l'outil .....	11
I.6 .5 Usure par écaillage .....	11
I.6 .6 Usure par l'arête rapportée ou copeau adhérent .....	12
I.6 .7 Usure par écaillage en dehors de la zone de coupe .....	13
I.6 .8 Usur par fissures thermique .....	14
I.6 .9 Usure par rupture .....	14
I.7 les paramètres influant sur l'usure des outils des coupe .....	15
I.7.1 Influence des conditions de coupe.....	15
I.7.2 Influence de la lubrification.....	15
I.7.3 Influence du couple mouvement de pièce / mouvement d'outil.....	15
I.8 Théorie de durée de vie de l'outil:.....	16
I.8 .1 La méthode de Taylor (analytique).....	17
I.8 .2 La méthode de Taylor (méthode graphique) .....	17

I.9 Revêtement des outils de coupe .....	20
I.9.1 La résistance aux températures : .....	20
I.9.2 La dureté : .....	20
I.9.3 Le coefficient de friction : .....	20
I.9.4 La réactivité chimique : .....	20
Chapitre II La tribologie des outils de coupes .....	22
II .1 . Introduction .....	22
II .2 . Définition de la tribologie .....	23
II .3 Importance de la tribologie .....	24
II .4 Matériau pour l'outil de coupe .....	25
II .4.1 ARS : .....	25
II .4.2 Carbure .....	25
II .4.3 Cermets .....	26
II .4.4 Céramique .....	26
II .4.5 Nitrure de Bore Cubique (CBN) .....	26
II .4.5 Diamant .....	26
II .5 Conditions de coupe .....	27
II .5 .1 Vitesse de coupe V .....	28
II .5 .2 Vitesse d'avance Vf et avance par tour f .....	29
4.5.3 Profondeur de passe « ap » .....	30
II.6 Principales caractéristique du matériau outil .....	31
II .7 Géométrie des outils de coupe .....	32
II .7.1 Généralités .....	32
II .7.2 Les faces de l'outil : .....	32
II .7.3 . Angles de l'outil .....	33
II .8 Outils de coupe et leurs nuances .....	34
II .9 Forme du copeau en usinage .....	36
II .10 La lubrification .....	37
II .10.1 Définition .....	37
II .10.2 Les fonctions d'un lubrifiants .....	38
II .10.3 Le choix d'un lubrifiant .....	38
Chapitre III: L'usure des outils de coupe (Carbure, Carbure revêtue, ARS) .....	39
III.1 Introduction .....	39

III.2 Les plaques en carbure .....	40
III.2.1 Définition .....	40
III.2.2 .Caractéristiques .....	42
III.2.3 Méthode de fabrication des plaques en carbures .....	42
III.2.4 Principales usure observées dans différentes plaques en carbure .....	44
III.3 Carbures métalliques avec revêtement .....	49
III. 3.1 Principaux usure observées dans différentes plaques en carbure revêtue .....	51
III.4 Aciers rapides supérieur (ARS).....	52
III. 4.1 Principales usure observées dans différentes plaques en Acier Rapide Supérieur (ARS).....	52
Conclusion.....	57

## TABLE DES FIGURES

Figure I . 1	Manifestation et mesures des usures.....	2
Figure I .2	Processus d'usure par adhésion mécanique.....	3
Figure I.3	Processus d'usure par abrasion.....	4
Figure I.4	Processus d'usure par diffusion .....	6
Figure I .5	Processus d'usure par oxydation.....	6
Figure I .6	Evolution des divers mécanismes d'usure en fonction de la température.....	7
Figure I .7	Usure en dépouille.....	8
Figure I .8	Usure en entaille .....	9
Figure I .9	Usure de la face de coupe .....	10
Figure I .10	Usure par déformation de bec de l'outil.....	11
Figure I .11	Usure par écaillage.....	12
Figure I .12	Usure par l'arête rapportée ou copeau adhérent.....	12
Figure I.13	Usure par écaillage en dehors de la zone de coupe.....	13
Figure I .14	Usur par fissures thermique.....	14
Figure I .15	Usure par rupture.....	14
Figure I.16	Critère d'usure VB .....	16
Figure I.17	Evolution de l'usure frontale en fonction du temps.....	18
Figure I.18	Courbe de durée de vie en fonction de la vitesse de coupe.....	19
Figure II.1	L'ensemble des paramètres d'un système tribologique.....	23
Figure II.2	Contact entre deux solides en présence de frottement .....	24
Figure II.3	Evolution de la diverse ténacité en fonction de la dureté .....	27
Figure II.4	Les choix des paramètres de coupe.....	28
Figure II.5	Vitesse de coupe.....	28
Figure II.6	Vitesse d'avance.....	30
Figure II.7	Les profondeurs de passe.....	31
Figure II.8	représentation de la géométrie de l'outil de coupe.....	32

Figure II.9 les différentes faces d'outil .....	33
Figure II.10 Angles du taillant (outil en main).....	33
Figure II.11 Angles du taillant (outil en travail).....	34
Figure II.12 Présentation des différents types d'outils.....	35
Figure II.13 Faciès limitant la partie active de l'outil.....	35
Figure II.14 Copeau continu à surface lisse sans bande de cisaillement et copeau continu à surface lisse avec bande de cisaillement.....	36
Figure II.15 Copeau segmenté régulier et copeau segmenté irrégulier.....	36
Figure II.16 Formes de copeau en coupe orthogonal.....	37
Figure II.17 Contact lubrifié.....	37
Figure III.1 Outils à plaquettes amovible.....	40
Figure III.2 Les différentes étapes de fabrication des plaques en carbure.....	43
Figure III. 3 Fracture de bec d'outil.....	44
Figure III. 4 a) Usure en dépouille b) Fracture du bec d'outil.....	45
Figure III.5 Usure par arête rapportée.....	46
Figure III.6 Usure par déformation plastique.....	47
Figure III.7 Processus d'usure par abrasion.....	48
Figure III.8 Plaquette carbure (revêtement multicouche).....	49
Figure III. 9 Usure en dépouille.....	51
Figure III.10 l'usure de la face de coupe.....	52
Figure III.11 types d'usure : a) Usure en dépouille b) Fracture du bec d'outil.....	53
Figure III.12 Processus d'usure par abrasion.....	55



# Nomenclature

**a<sub>p</sub>** Profondeur de passe (m).

**D** Diamètre de la pièce (mm).

**F** Avance (mm.tr-1).

**N** Vitesse de rotation de la broche (tr.min-1).

**V<sub>c</sub>** Vitesse de coupe (m.s-1).

**r<sub>ε</sub>** Rayon de bec (mm).

**α** Angle de dépouille (rd).

**β** Angle de taillant (rd).

**Γ** Angle de coupe (rd).

**S** Surface de contact (m<sup>2</sup>).

**T** La durée de vie d'outil

**C<sub>v</sub>** Constante dépendant du matériau à usiner  $10^4 < C_v < 10^{14}$ .

**n** Constante dépendant du matériau d'outil  $-8 < n < -1$ .

**VB** Usure en dépouille

**KT** Usure en cratère

**TiN** Nitrure de titane

**TiCN** Carbonitrure de titane

**TiAlN** Nitrure de titane aluminium

## I.1 Généralités sur l'usure

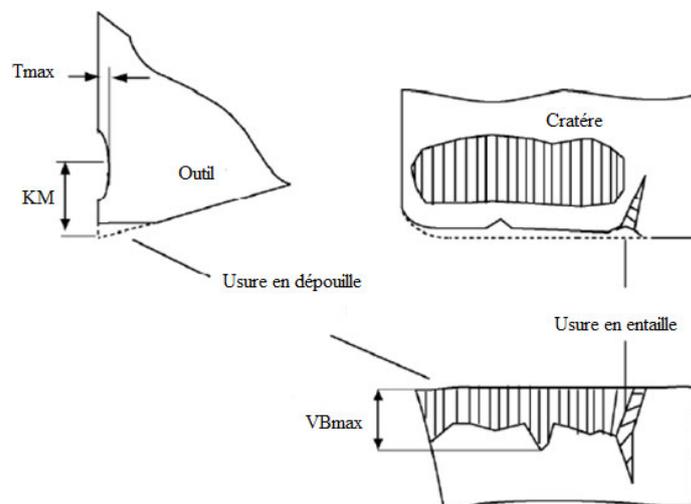
L'usure est la conséquence directe et néfaste, économiquement parlant, de conditions très sévères de frottement, et c'est vraisemblablement pourquoi aujourd'hui c'est plutôt l'étude de l'usure que celle du frottement qui est entreprise en pratique pour déterminer la fiabilité mécanique et économique d'un système tribologique particulier. Mis à part les équipements spéciaux travaillant dans l'espace ou à des températures très élevées, toutes les mécanismes sont lubrifiés. Néanmoins, la plupart des études de l'usure entreprises dans les laboratoires, le dispositif expérimental le plus répandu étant du type poinçon chargé en contact avec un disque rotatif, sont réalisées avec des surfaces non lubrifiées - exceptions faites des expériences menées pour étudier les lubrifiants «extrême pression» - et cela essentiellement pour deux raisons majeures :

- les surfaces bien lubrifiées s'usent très lentement et il faudrait donc multiplier des expériences de longue durée, ce qui irait à l'encontre d'une bonne reproductibilité ;
- il est bien admis que l'usure résulte d'une rupture du film lubrifiant qui conduit temporairement à des conditions de frottement sec. Bien évidemment on peut se demander si l'hypothèse émise est vraie, malheureusement, la littérature spécialisée reste muette sur ce point. Il est supposé que le contact métal-métal crée une adhésion et que les contraintes locales sont suffisamment importantes pour produire un fragment d'usure. A travers le film lubrifiant les contacts locaux métal-métal ne sont responsables de la résistance de frottement que pour une très faible partie, la plus grande partie résultant du cisaillement du film, mais en revanche, ils constituent la principale cause d'usure. Le problème le plus important est le suivant : d'un système de frottement à un autre, on peut observer des variations de frottement de quelques pour cent alors que les endommagements de surfaces, la perte correspondante de matériau due à l'usure peut varier d'un facteur mille ou plus. Il peut donc paraître futile de prétendre pouvoir déduire d'expériences de frottement des enseignements utiles concernant l'usure. Un autre problème consiste à comprendre le rôle que peuvent jouer les fragments d'usure sur le processus d'usure lui-même. Plus grave encore, dans quelle mesure le résultat de l'expérience de frottement conduisant à l'usure n'est-il pas conditionné par les caractéristiques mécaniques du dispositif expérimental lui-même ? Malgré ces réserves, il est bon de rappeler le modèle d'usure adhésive suggéré par Archard et Hirst [1956], lequel est toujours d'actualité [1] .

## I.2 Définition de l'usure

L'usure est souvent définie comme la quantité de matière perdue par l'outil. Lorsque l'usure se caractérise par la formation d'un cratère (formé par abrasion, adhésion ou diffusion) sur la face de coupe ou l'apparition de bandes striées sur la face en dépouille. Des critères de durée de vie peuvent être établis à partir d'observations directes sur l'outil. Sur la face de coupe, deux mesures sont habituellement faites pour évaluer le niveau de l'usure en cratère. La première est la profondeur du cratère notée  $KT$  et la deuxième est la distance du centre du cratère à partir de l'arête de l'outil notée  $KM$  Figure I.1

Le frottement de la pièce contre la face en dépouille fait apparaître une zone d'usure frontale, dont la hauteur  $VB$  est plus ou moins régulière. Une entaille de hauteur  $VN$  peut également apparaître sur l'arête tranchante de l'outil affaiblissant considérablement cette dernière. Il est également possible d'évaluer l'état d'endommagement d'un outil de coupe à partir de critères indirects basé sur les performances ou la qualité de l'usinage. Ainsi, l'état de surface et les tolérances géométriques des pièces peuvent servir d'indicateurs du niveau d'usure. En perçage, on peut par exemple définir la durée de vie d'un foret par le nombre de trous percés respectant certains critères de qualité. [2]



**Figure I. 1** Manifestation et mesures des usures [2] .

### I.3 Conséquence de l'usure des outils

- Baisse de la qualité des surfaces usinées (précision géométrique et état de surface).
- Augmentation de la puissance de coupe nécessaire.
- Diminution de la tenue dans le temps de l'outil.
- Variation de la jauge d'outil (Cf cours simulation) donc de la cote fabriquée.

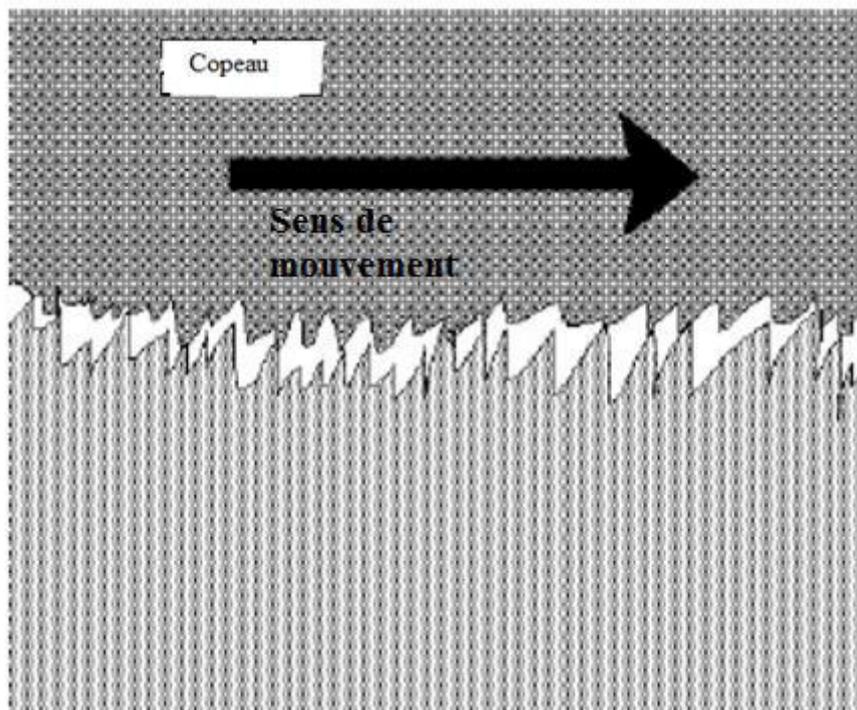
### I.4 Phénomènes provoquant l'usure

D'une façon générale l'usure de deux matériaux en contact est due à des phénomènes d'ordre Mécanique et physico-chimique. Ces phénomènes dépendent essentiellement de la température de coupe.

#### I.4.1 Phénomènes mécanique

##### I.4.1.1 Usure par adhésion mécanique

Cette usure est due aux états de surface du copeau, de la pièce et de l'outil. En effet lors de l'usinage, ces entités frottent les unes contre les autres. Or les rugosités et microrugosité de ces surfaces, par contact et sous l'influence des fortes pressions engendrées par l'usinage, vont générer des microsoudures Figure I.2 [3].



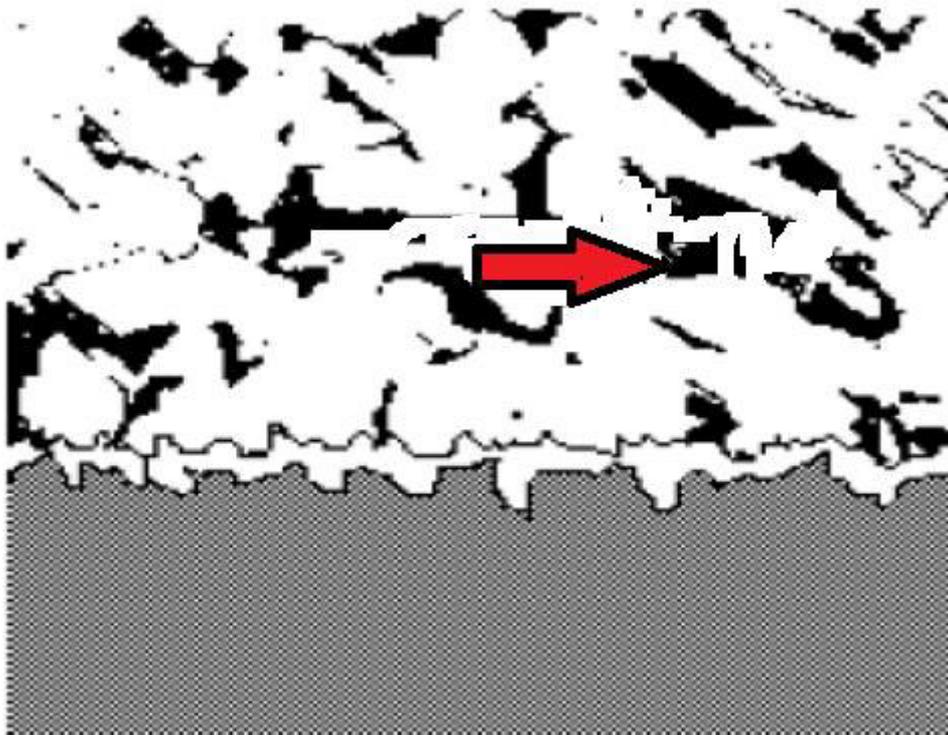
**Figure. I.2** Processus d'usure par adhésion mécanique [3].

Ces microsoudures se créent et se rompent très rapidement au cours de l'usinage, ce processus Continu génère :

- l'apparition d'arêtes rapportées si les microsoudures sur l'outil sont plus résistantes que celles du copeau
- l'usure de l'outil si la microsoudure sur le copeau est plus résistante que celle de l'outil.

#### **I.4.1 .2 Usure par abrasion mécanique**

Lors de l'usinage, la matière (pièce usinée et copeau) frotte avec des pressions de contacts Importantes sur l'outil. Suivant la constitution physico-chimique (nombre,nature, composition et proposition des phase ) et la structure(répartition et agencement des composants de l'alliage Forme , dimension, arrangement) la matière est plus ou moins abrasive par rapport à l'outil figure I.3. Si la matière comporte des constituants durs (écrouissage, aluminate, nitrure, carbure, oxyde par exemple) et que ces derniers sont plus durs que l'outil, il y aura usure par abrasion de l'outil. [3]



**Figure. I.3** Processus d'usure par abrasion [3] .

Cette usure pourra être :

- homogène : dans le cas d'une matière où les constituants sont homogènement répartis
- localisée : dans le cas de conditions de coupe particulières : écrouissage, apparition d'oxyde lors de l'usinage.

#### **I.4.1 .3 Usure par déformation plastique**

Si l'on caractérise un usinage en prenant comme paramètres la température (interface outil/copeau) et la pression exercée sur l'outil, on obtient un domaine de fonctionnement. Lorsque ces paramètres prennent des valeurs très importantes, on se trouve dans le domaine de déformation Plastique de l'arête de coupe. Il y a donc transformation plastique d'une partie de l'outil (arête de coupe) [3].

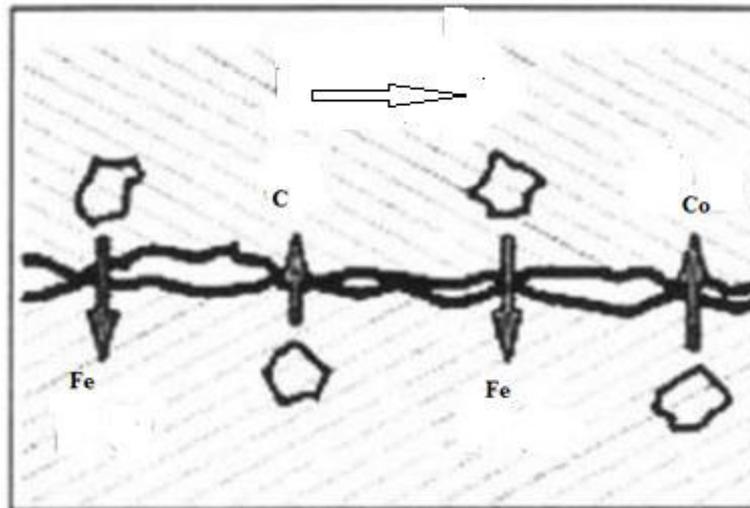
#### **I.4.1 . 4 Usure par fissuration**

Lors de l'usinage, l'outil est soumis à de très importantes contraintes thermiques et mécaniques. Les contraintes thermiques à l'interface copeau / outil peuvent atteindre le millier de degré. De plus, la déformation plastique du matériau engendre, par réaction, des contraintes qui provoquent les flexions et les vibrations de l'outil. En effet, les matériaux usinés sont, par nature, rarement homogènes (phase), il y a donc variation rapide des contraintes. La combinaison des hautes températures (choc thermique en début d'usinage) et des vibrations peut provoquer des fissures au sein de l'outil [3].

### **I.4.2 Phénomène physico-chimiques**

#### **I.4.2 .1 Usure par diffusion**

La diffusion de matière de l'outil vers le copeau est un phénomène qui ne peut se produire qu'à des températures élevées. Ces zones de températures élevées se situent à l'endroit du frottement du copeau sur l'outil. De plus, ce sont aussi des zones de forte pression car le copeau applique des contraintes sur l'outil. Les hautes températures, ainsi que les pressions et la vitesse relative de défilement du copeau, permettent de donner suffisamment d'énergie (élévation de température) aux atomes pour que ceux-ci puissent migrer de l'outil au copeau. Ce processus est aussi grandement accentué par les phénomènes d'affinités chimiques que l'on peut avoir entre les atomes de la matière usinée et les atomes de l'outil. figure I.4 [3].



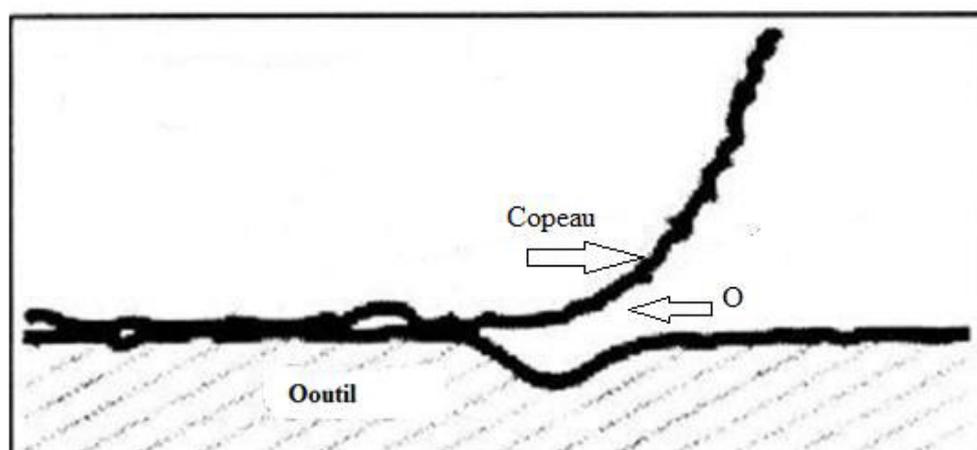
**Figure. I.4** Processus d'usure par diffusion [3].

#### I.4.2.2 Usure par corrosion

Le milieu de l'usinage est constitué :

- de l'oxygène dans l'air
- des hautes températures
- de l'eau dans les huiles de coupe solubles

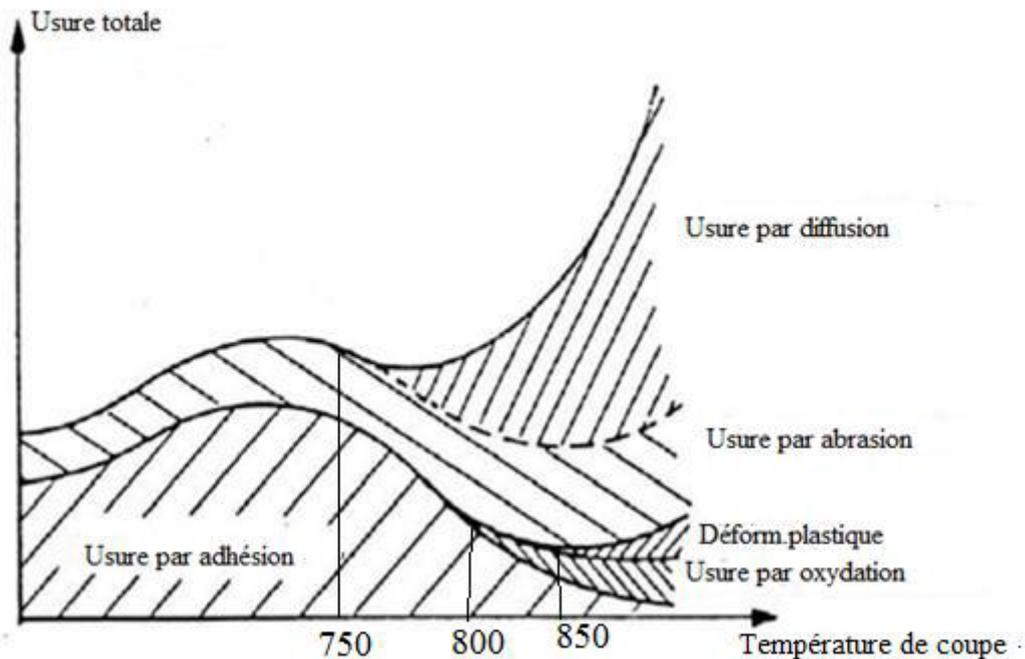
Avec l'élévation de température de l'outil, la vaporisation de l'eau contenue dans les huiles solubles au contact de l'outil et l'oxygène de l'air provoquent localement une fragilisation de l'outil par oxydation de ce dernier figure I.5. De plus, le potentiel d'oxydoréduction des matériaux diminue avec la température ce qui favorise d'autant le processus d'oxydation des outils [3].



**Figure. I.5** Processus d'usure par oxydation [3].

## I.5 Evolution des divers mécanismes d'usure en fonction de la température

On peut représenter sur un même graphique, l'évolution des divers mécanismes d'usure en fonction de régime de coupes. Figure. I.6



**Figure. I.6** Evolution des divers mécanismes d'usure en fonction de la température [4] .

On remarque qu'aux très faibles vitesses génératrices de température modérées, il ne peut exister de couche de glissement facile, le frottement copeau-outil donne lieu à des phénomènes de grippage et d'arrachement, ce qui correspond au phénomène d'Adhésion. A partir d'une certaine vitesse donc d'une certaine température correspondant à l'apparition d'une couche de glissement facile et d'une arête rapporté. L'usure par l'adhésion devient sensible et se traduit par un changement de pente positive de la courbe. Si l'on opère à vitesse de plus en plus élevée, le mécanisme d'usure par diffusion entre alors en jeu et devient rapidement prépondérant.

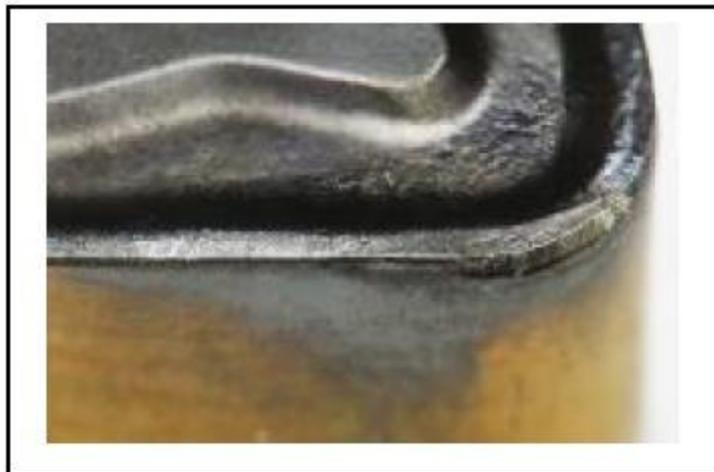
Avec l'intensification des effets thermique, il peut apparaître une usure par effet d'oxydation, l'amélioration relative apportée par l'apparition de la couche de glissement facile se trouve alors neutralisée. Si l'on augmente encore la vitesse de coupe, les effets thermiques peuvent aussi provoquer une détérioration accentuée du tranchant par déformation plastique. A partir

d'une certaine valeur limite de la vitesse de coupe, la détérioration de l'arrêt tranchante devient aussi instantane. ( En l'usinage à grand vitesse UGV on utilisera des outil spécifique.) [4].

## I.6 Les différentes formes d'usure

### I.6 .1 Usure en dépouille

C'est le type d'usure d'outil le mieux connu. Dans la plupart des cas, la largeur de l'usure en dépouille est sensiblement uniforme le long de la portion moyenne de la partie rectiligne de l'arête principale. La largeur d'usure en dépouille est facile à mesurer. L'accroissement de la largeur de l'usure en dépouille conduit à une diminution de la qualité de l'outil. Tous les matériaux d'outils coupants ont normalement un taux initial d'usure en dépouille élevé et qui, généralement décroît considérablement après un temps de coupe faible sauf si l'on utilise des vitesses de coupe excessives. L'accroissement de l'usure en dépouille est généralement uniforme après le taux d'usure élevé initial. Au-delà d'un certain niveau, le taux d'usure en dépouille accélère et provoque des défaillances brutales. La largeur de l'usure en dépouille VBB est une mesure de l'usure de l'outil convenable et une valeur prédéterminée de VBB est considérée comme un bon critère de durée de vie de l'outil Figure I .7 [5].



**Figure. I .7** Usure en dépouille [5].

**Causes**

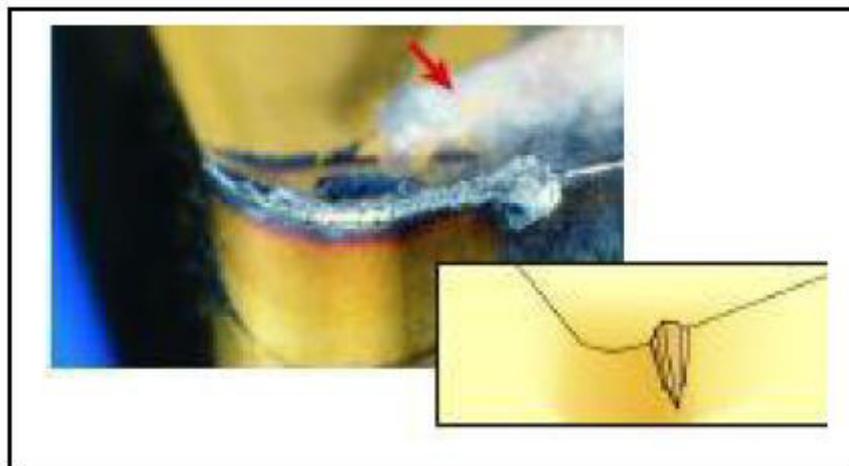
- Vitesse de coupe trop élevée
- Nuance trop tenace
- Résistance à l'usure insuffisante
- Arrosage insuffisant

**Solutions**

- Réduire la vitesse de coupe
- Choisir une nuance mieux adaptée en fonction des besoins en ténacité ou en résistance à l'usure
- Utiliser l'arrosage

**I.6 .2 Usure en entaille**

C'est une forme spéciale d'usure de la face de dépouille à l'intersection de l'arête principale et de la surface de la pièce, qui rend parfois nécessaire le changement d'outil. La position et la longueur de l'usure en forme d'entaille VBN dépendent de la profondeur de passe et du réglage de cette profondeur à chaque passe Figure. I .8 [5].



**Figure. I .8** Usure en entaille [5] .

**Causes**

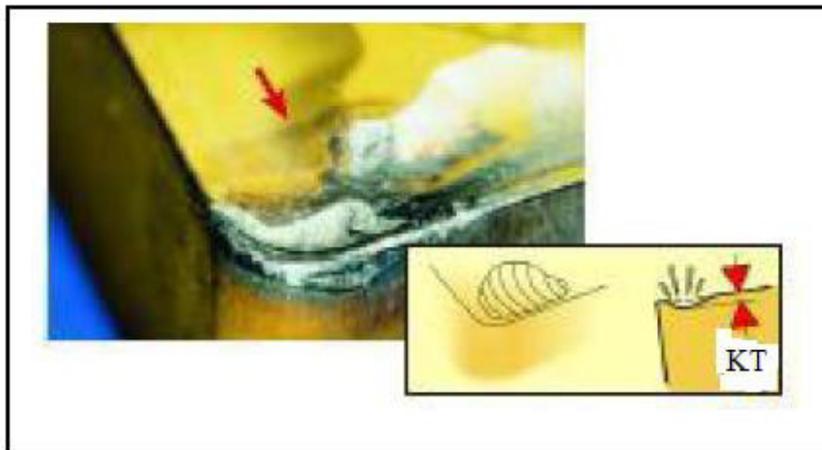
- Matières collantes ou sujettes à l'écrouissage en coupe
- Utilisé un angle d'attaque porche de  $90^\circ$
- La géométrie est trop négative

### Solutions

- Utilisé une arrête plus vive
- Réduire l'angle d'attaque
- Sélectionner une nuance à revêtement
- Modifier les profondeurs de coupe

### I.6 .3 Usure de la face de coupe

L'usure en cratère est la forme la plus courante d'usure de la face de coupe (face sur laquelle glisse le copeau); elle est due au contact avec le copeau. La profondeur du cratère  $KT$  peut être utilisée comme mesure d'usure de l'outil et une valeur prédéterminée de  $KT$  peut être choisie comme critère de durée de vie de l'outil. L'usure en cratère est plus importante pour les outils en carbures métalliques que pour les outils en acier rapide ou en céramique. La position du cratère par rapport à l'arête a également son importance. Un cratère large et Profond loin de l'arête peut être moins dangereux pour l'outil qu'un cratère étroit et moins Profond près de l'arête Figure. I .9 [5].



**Figure. I .9** Usure de la face de coupe [5]

### Causes

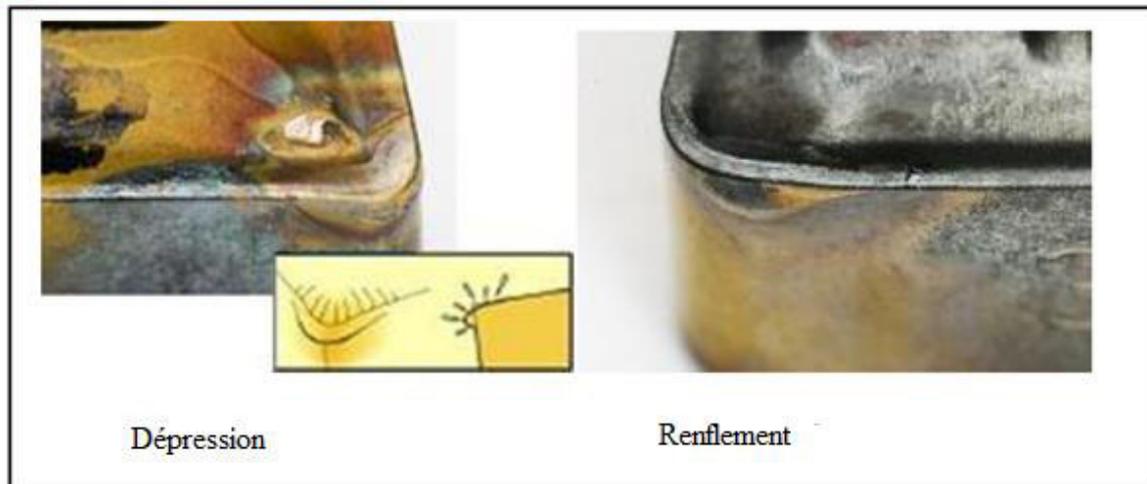
- Vitesse de coupe et  $f$  ou l'avance trop élevée
- Nuance trop tenace
- Brise-copeaux trop étroit

### Solutions

- Réduire la vitesse de coupe et  $f$  ou l'avance
- Sélectionner une nuance plus résistance à l'usure
- Choisir une géométrie plus ouverte  $\lambda$  positive

### I.6.4 Usure par déformation du bec de l'outil

Elle peut provoquer la destruction d'outils en acier rapide ou carbure métallique lorsque les conditions de coupe sont sévères. La déformation du bec de l'outil provoquera, dans la plupart des cas, une apparition plus rapide de la défaillance brutale de l'outil en acier rapide et rendra plus importantes les conséquences d'oxydation des outils en carbures métalliques. Il peut arriver que les conditions de coupe soient si sévères que la déformation commence immédiatement après le début de la coupe Figure. I.10 [5].



**Figure. I.10** Usure par déformation de bec de l'outil [5].

#### Causes

- Température de coupe et pression trop élevée
- Nuance très tenace / tendre
- Arrosage insuffisant

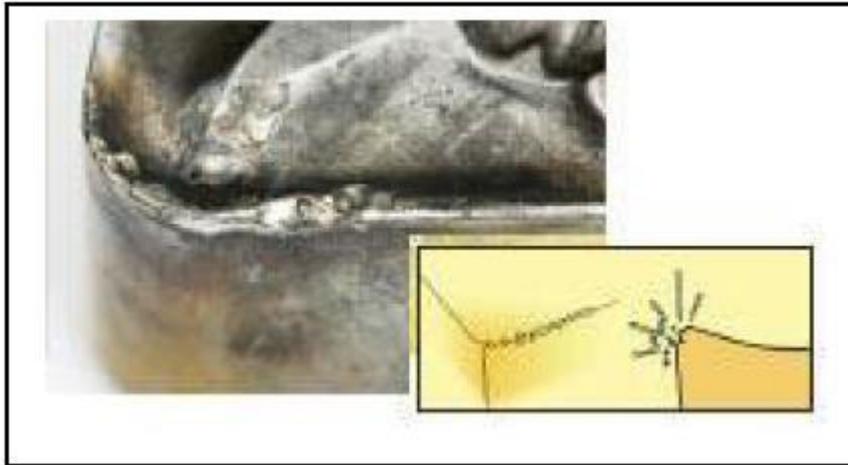
#### Solutions

- Réduire la température et la pression en réduisant vitesse de coupe et / ou l'avance
- En cas d'usure en dépression de l'arête, réduire d'abord l'avance
- En cas d'usure en dépression dépouille, réduire d'abord la vitesse de coupe
- Utiliser une nuance plus résistante à l'usure et / ou à la chaleur
- Choisir une géométrie plus ouverte / positive
- Augmenter le débit d'arrosage

### I.6.5 Usure par écaillage

L'écaillage de fines particules de l'arête et la fissuration thermique (que l'on rencontre fréquemment dans les usinages interrompus) sont importants pour des outils en matériaux

fragiles. L'importance de l'écaillage et de la fissuration thermique est évaluée jusqu'à un certain point par la largeur maximale d'usure en dépouille  $VBB_{max}$  Figure. I .11 [5].



**Figure. I .11** Usure par écaillage [5].

#### Causes

- Conditions instables
- Nuance trop résistante ou trop friable

#### Solutions

- Améliorer la stabilité de la machine
- Choisir une nuance plus tenace
- Choisir une géométrie plus résistante

#### I.6 .6 Usure par l'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 Figure. I .12 [5].



**Figure. I .12** Usure par l'arête rapportée ou copeau adhérent [5].

**Causes**

- Température de coupe trop basse
- Soudage de copeau sur la plaquette
- Matière collante
- Géométrie trop négative

**Solutions**

- Augmenter la température de coupe en augmentant la vitesse de coupe ou l'avance
- Sélectionner une nuance à revêtement
- Sélectionner une géométrie plus positive

**I.6 .7 Usure par écaillage en dehors de la zone de coupe**

**Figure I.13 .** Usure par écaillage en dehors de la zone de coupe [5] .

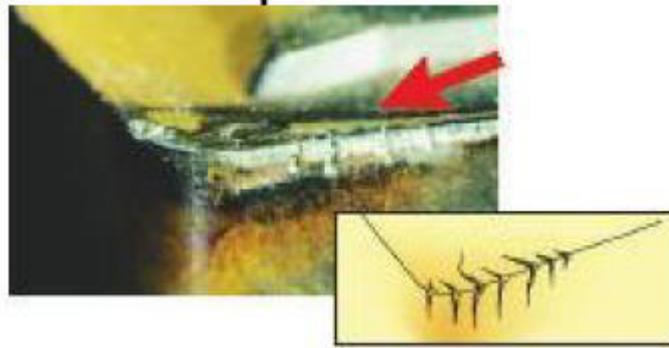
**Causes**

- Bourrage des copeaux à proximité d'un épaulement
- Les copeaux sont déviés en direction de l'arête de coupe
- Avance ou direction de l'avance non optimisées

**Solutions**

- Modifier la trajectoire de l'opération (pour éviter d'arriver contre un épaulement)
- Modifier l'avance
- Sélectionner une nuance à revêtement
- Choisir une géométrie de plaquette qui oriente les copeaux différemment

### I.6 .8 Usure par fissures thermique



**Figure. I .14** Usur par fissures thermique [5].

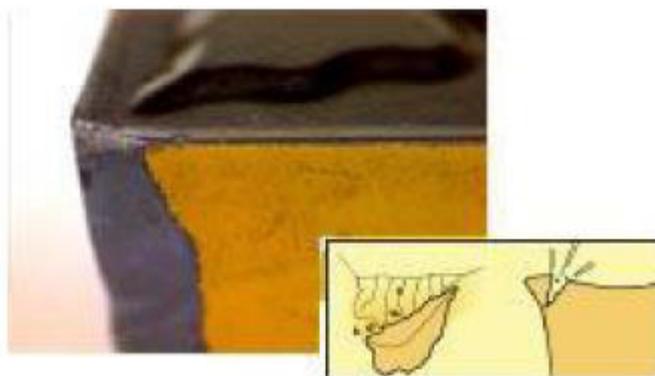
#### Causes

- Variations de la température au niveau de l'arête de coupe
- Coupe intermittente ou arrosage intermittent
- Nuance trop sensible aux variations de la température et au choc thermique

#### Solutions

- Supprimé l'arrosage ou, le contraire en augmenter le débit pour mieux réguler la température
- Réduire la vitesse de coupe

### I.6 .9 Usure par rupture



**Figure. I .15** Usure par rupture [5].

**Causes**

- Usure excessive
- Nuance trop tenace (déformation et rupture)
- Nuance trop résistante

**Solutions**

- Effectuer les opération plus courtes (temps de coupe) , vérifier le temps initial ,déterminer le type d'usure dominant
- Modifier les conditions de coupe
- Choisir une plaquette ou une géométrie mieux adaptée

**I.7 les paramètres influant sur l'usure des outils des coupe**

On peut observer deux grands groupes de paramètres dans le processus de coupe. Le premier est formé par la matière usinée et le deuxièmes les conditions de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe, lubrification) [3] .

**I.7.1 Influence des conditions de coupe**

- 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 [3] .

**I.7.2 Influence de la lubrification**

L'influence de la lubrification étant assez complexe, on la caractérise souvent par l'absence ou la présence de lubrification lors des essais. Dans le cas ou il y a présence de lubrification, on spécifie si le lubrifiant employé est un lubrifiant de graissage pour faciliter la glissement du copeau sur la face de coupe de l'outil, ou si le lubrifiant est de refroidissement pour diminuer la température dans la région du bec de l'outil. Son influence intervient faiblement sur le coefficient de frottement pièce/outil et copeau/outil, mais permet la baisse de la température de la partie active de l'outil [3] .

**I.7.3 Influence du couple mouvement de pièce / mouvement d'outil**

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),le matériau de l'outil intervient , lui aussi par ses propriétés mécaniques , mais aussi par ses propriétés physico-chimiques, entre autres par ses propriétés thermiques [3] .

## I.8 Théorie de durée de vie de l'outil

Compte tenu de la complexité du phénomène, il n'existe pas de loi mathématique simple permettant de calculer la "durée de vie" de l'outil. La durée de vie d'un outil est caractérisée par le temps mis pour atteindre la valeur limite du critère d'usure considérée dans des conditions de coupe données.

Généralement on choisit comme critère d'usure l'un des trois critères suivants :

- Défaillance brutale due à la déformation plastique de l'arête. Ce critère n'est employé que pour les outils en acier rapide ou les outils en céramique.
- Usure frontale, employé pour tous les outils, caractérisés soit par l'usure frontale moyenne soit par l'usure frontale maximale.
- Usure en cratère, employé seulement pour les outils en carbure métallique, caractérisé par la profondeur du cratère.

La durée de vie est mesurée sur l'usure en dépouille dans la zone b (Figure I.16 )  $V_B$  en mm

La durée de vie est mesurée sur l'usure en dépouille : dans la zone b :  $V_B$  en mm

On adopte comme critère d'usure  $V_B^* = 0.3$  [6].

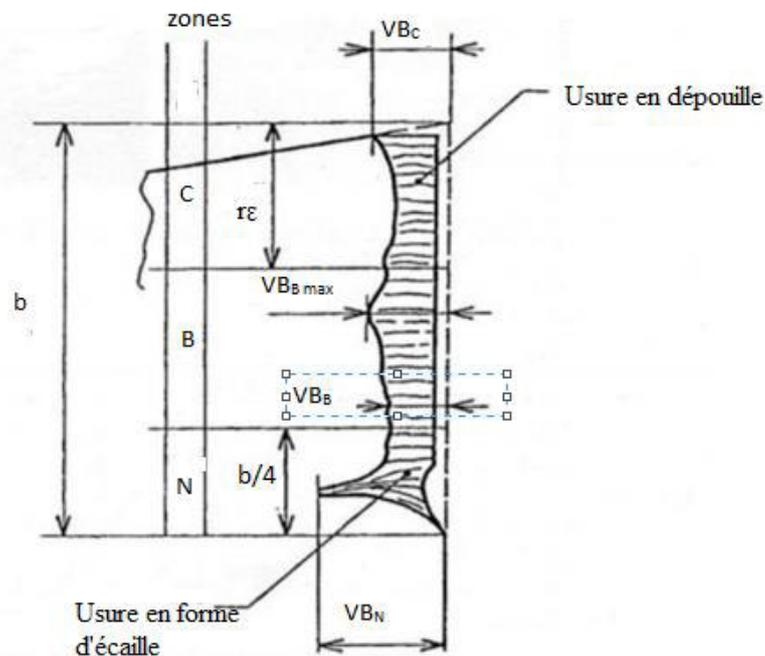


Figure I.16 Critère d'usure  $V_B$  [6].

En fait la durée de vie de l'outil est fonction des différents paramètres, soit:

- Les conditions de coupe
- Le matériau et la géométrie de l'outil
- Le matériau et l'état physique de la pièce
- La lubrification

Généralement seules les conditions de coupe sont prises en considération et on établit des lois d'usure pour des outils parfaitement définis pour un matériau usiné é donne et dans des conditions de lubrification déterminées [7].

On arrive donc des lois d'usure de la: forme

$$T=f(V_c, f, ap)$$

### **I.8.1 La méthode de Taylor (analytique)**

La loi d'usure est l'évolution de la durée de vie de l'outil T en fonction des condition géométriques et cinétiques de coupe  $T=f(V_c, f, P)$ . Cette et établit en procédant à des essais normalisés. La durée de vie de l'outil T est le temps effectif de coupe en minutes que prend un outil pour atteindre valeur fixé d'usure (en cratère ou en dépouille) appelé critère d'usure. La norme donne la valeur  $V_B = 0.3$  mm comme critère d'usure. La loi de Taylor est une loi d'usure empirique qui sert transférer la durée de vie correspondant à une autre vitesse de coupe : connaissant la durée de vie d'un outil pour une vitesse donnée, on peut la prévoir pour une autre vitesse [8]. Cette loi s'écrit :

$$T=C_v V_c^n$$

Avec ;

$C_v$  ; Constante dépendant du matériau à usiner  $10^4 < C_v < 10^{14}$  .

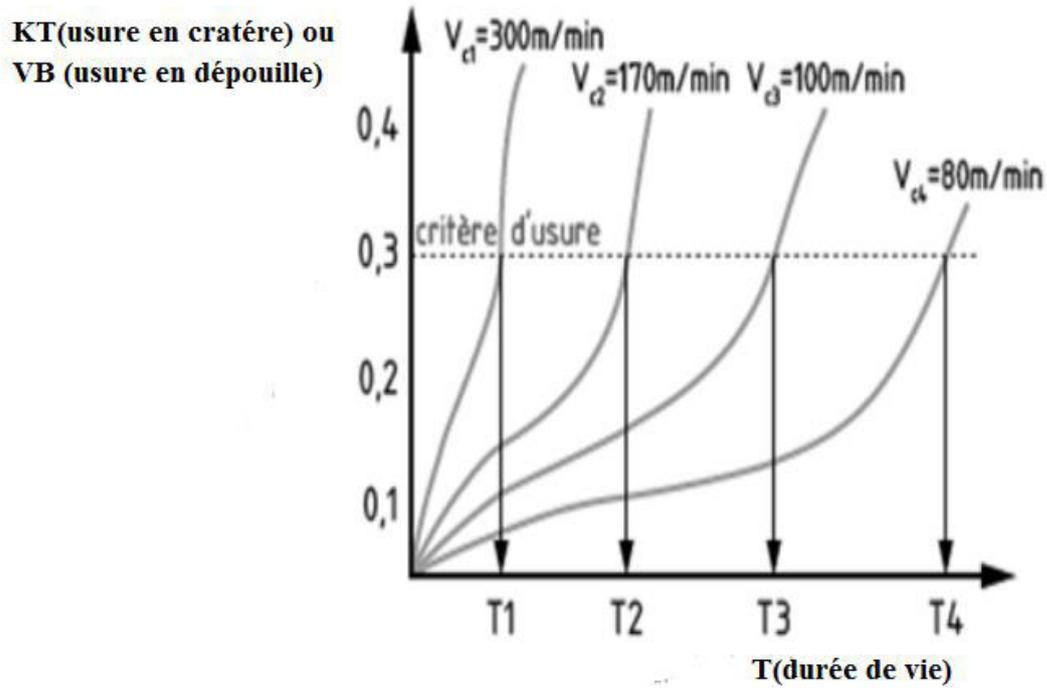
n ; Constante dépendant du matériau d'outil  $-8 < n < -1$ .

$V_c$  ; Vitesse de coupe m/min [8].

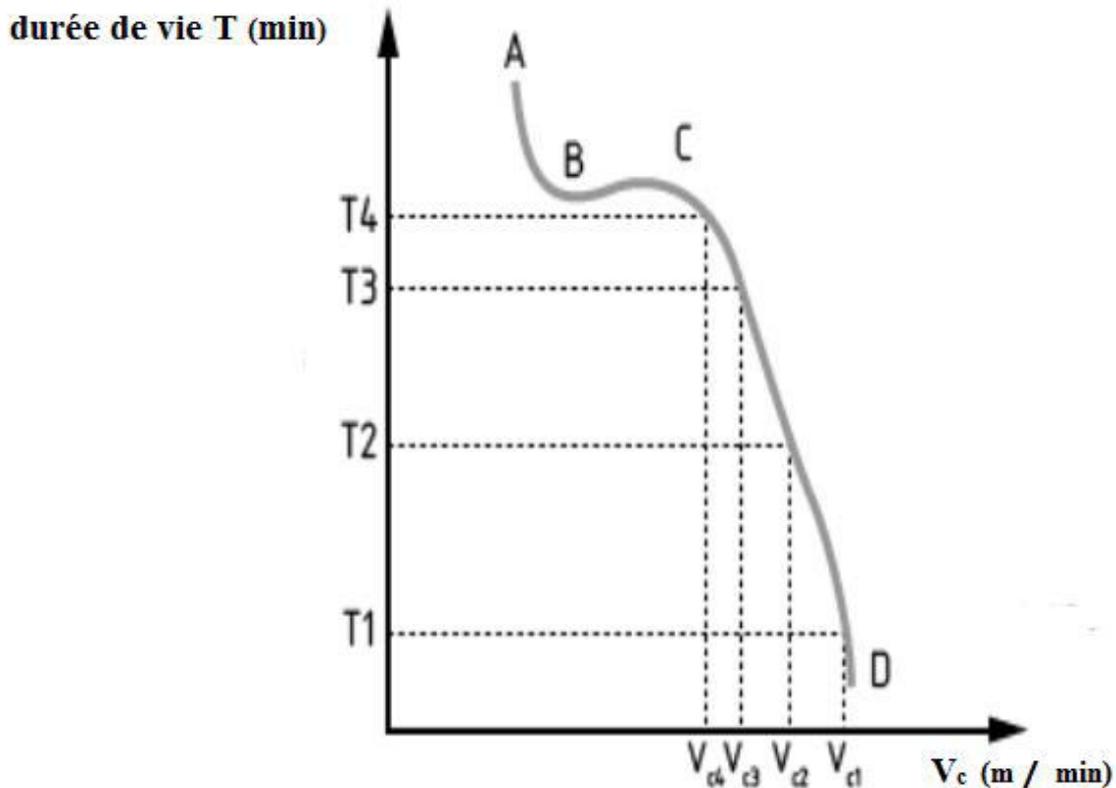
### **I.8.2 La méthode de Taylor (méthode graphique)**

Par définition la durée de coupe ou de vie T d'un outil selon la norme ISO 3685 : C'est le temps de coupe totale d'un outil nécessaire pour atteindre un critère de durée de vie spécifique. Il est nécessaire de passer par une approche expérimentale, pour arriver à estimer le temps de service d'un outil de coupe pour des conditions de coupe bien définies, en général c'est le critère d'usure  $VB_B$  ou  $KT$  qui est pris en compte. Des mesures de  $VB_B$  sont prises au

cours du temps d'usinage jusqu'à la ruine de l'outil, pour différents niveaux de vitesse de coupe [9].



**Figure.I.17.** Evolution de l'usure frontale en fonction du temps [9].



**Figure. I.18** Courbe de durée de vie en fonction de la vitesse de coupe [9]

Des derniers résultats de la figure I.17 et pour un critère d'usure donné, on peut tracer la courbe de la durée de vie en fonction de la vitesse de coupe. Dans la courbe  $T = f(V_c)$  figure I.18 on remarque trois zones qui la caractérise

- **Zone AB** : zone des faibles vitesses de coupe, cette partie de la courbe est inexploitable,
- **Zone BC** : zone stationnaire, le temps est constant (usure stable),
- **Zone CD** : le temps décroît (usure accélérée) en suivant une droite de pente négative en fonction de la vitesse de coupe, ce domaine est exploitable et il donc possible d'interpréter le phénomène par un modèle mathématique.

C'est en 1907 que Taylor a proposé son modèle pour estimer la durée de vie d'un outil ( loi de Taylor).

$$T = C_v V_c^{-n} \quad [9] .$$

## **I.9 Revêtement des outils de coupe**

Le revêtement des outils coupants est un procédé fréquent en usinage notamment avec l'usinage à grande vitesse (UGV). Ce procédé permet d'améliorer la performance des outils dans le but de lutter contre les problèmes résultants de l'usinage notamment les températures élevées. Le choix d'un revêtement spécifique se base sur 4 points [10] :

### **I.9.1 La résistance aux températures**

En usinage, le frottement outil/pièce ou outil/copeau produit de la chaleur sur la partie supérieure de la pièce. Le revêtement doit constituer un barrage thermique afin de réduire la propagation de la chaleur dans le substrat (matière de l'outil sous le revêtement), sous peine de voir se déformer l'outil et son revêtement.

Notons que la température qui a le plus grand intérêt n'est pas la température de fusion du revêtement mais d'oxydation. Il s'agit d'une réaction chimique à l'oxygène qui détériore les propriétés du revêtement. Ainsi, le revêtement TiCN ne fond qu'à partir de 3000 °C, mais s'oxyde à partir de 400°C [10].

### **I.9.2 La dureté**

Capacité de résistance d'un revêtement à la déformation, c'est-à-dire à l'usure. Elle est mesurable grâce à la dureté Rockwell C : HRC. Cela permet la comparaison entre les divers revêtements. Ainsi le TiN possède généralement une dureté de 80 HRC. La dureté indiquée est celle de l'outil à température ambiante. Elle diminue en cas d'augmentation de la température, comme lors de l'usinage [10].

### **I.9.3 Le coefficient de friction**

Il résulte notamment du frottement de l'outil avec la matière. Quand ce coefficient est modéré, la chaleur est basse et l'évacuation des copeaux est aisée, ce qui évite le problème d'adhérence. Utile lors d'un travail sur de l'aluminium ou du cuivre, pour éviter que leurs copeaux ne collent à l'outil. La qualité de finition (aspérités...) de la surface du revêtement et à fortiori de son substrat, joue un rôle dans la baisse de ce coefficient [10].

### **I.9.4 La réactivité chimique**

La pression et la température peuvent entraîner un phénomène de diffusion. C'est une réaction chimique provoquant un transfert de matière qui tend à égaliser le potentiel chimique. En résumé, les atomes d'un matériau seront absorbés par un autre matériau.

Ex : il ne faut pas usiner de l'acier carbone avec un outil revêtu de diamant. Ce dernier est chargé à 100% d'atome de carbone, contrairement à l'acier qui en contient moins. Le

phénomène de diffusion provoquera une détérioration du revêtement à cause du transfert des atomes de carbone de l'outil sur les copeaux [10].

Les revêtements : d'une épaisseur de quelques  $\mu\text{m}$ , on distingue principalement 4 types de revêtements possédant chacun des spécificités :

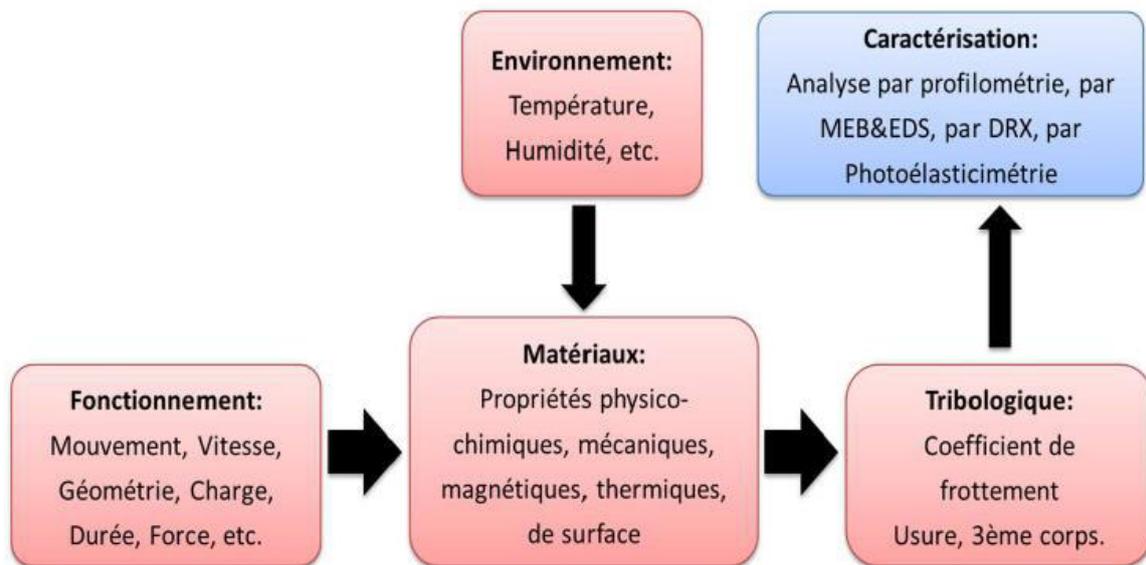
- **TiN** : revêtement (en nitrure de titane) caractérisé par une bonne résistance à l'usure à un coût réduit.
- **TiCN** : revêtement (en carbonitrure de titane) caractérisé par une grande dureté, recommandé pour l'usinage des matériaux difficiles. L'usure due au frottement de l'outil contre la matière lors de l'usinage (l'abrasion) est limitée.
- **TiAlN**: revêtement (en nitrure de titane aluminium) résistant aux fortes températures, il est destiné à un usinage grande vitesse. Haute performance de coupe et productivité accrue. Il assure une plus grande durée de vie de l'outil.
- **Diamant** : revêtement possédant une dureté très importante. Il assure un état de surface excellent dans les pièces usinées. Revêtement recommandé pour l'usinage des graphites, plastiques renforcés et alliages d'aluminium à fort taux de silicium [10].

## II.1 . Introduction

Dans le monde actuel, l'industrie (aéronautique, automobile, ferroviaire, pharmaceutique, Etc.) est confrontée à de nombreuses difficultés pour répondre aux exigences ambitieuses des utilisateurs lorsqu'il s'agit de fabriquer du matériel faisant intervenir le mécanisme de frottement. Autrefois, l'ingénieur devait simplement se contenter de fabriquer des équipements qui fonctionnaient. Mais désormais, l'ingénieur se doit d'anticiper, développer et fabriquer des équipements de plus en plus performants et fiables. Les performances tribologiques des différents matériaux dépendent des applications et des conditions d'utilisation. La problématique des matériaux en contact sec<sup>1</sup> couplée à celle de l'influence des paramètres mécaniques et magnétiques (lorsque les matériaux y sont soumis), en mouvements relatifs, s'avère importante par rapport à la durée de vie des équipements, la pollution et le coût énergétique engendré. Dans l'optique de répondre à cette problématique, l'ingénieur doit acquérir une grande expérience dans le domaine des matériaux, de la mécanique et de la tribologie. La plupart de ces phénomènes sont regroupés dans ce que l'on appelle le système tribologique. Celui-ci peut se définir comme un système mécanique, formé de deux matériaux opposés en contact animé de mouvements relatifs. Son étude vise à améliorer l'interaction des matériaux et donc leur fonctionnement (et par conséquent d'améliorer les machines, les transports, la production d'énergie et même le système vivant) en assurant leur compréhension et leur optimisation (Figure 1). Le système tribologique est contrôlé par des paramètres dont les principaux sont : l'environnement, le fonctionnement, les matériaux et la tribologie, ainsi que par un paramètre essentiel à l'analyse tribologique : la caractérisation qui permet de décrire les causes, de quantifier les effets et d'évaluer les conséquences des phénomènes interraciaux.

Le comportement du frottement et de l'usure dépend de manière complexe des conditions de sollicitation, de l'environnement et des propriétés physico-chimiques des surfaces en contact, elles-mêmes tributaires des mécanismes tribologiques. Par ailleurs, des études concernant l'impact du champ magnétique sur le contact sec ont montré que le champ magnétique influe d'abord sur le comportement du frottement, puis sur l'usure, ensuite sur l'endommagement du matériel, et enfin sur l'activation de l'oxydation de la surface de contact des couples de matériaux ferromagnétiques [11]–[12]. En effet, le contact mécanique, en frottement sec, est responsable de l'usure des couples de matériaux. Cette usure est considérée comme l'un des problèmes complexes nuisant à la répartition des charges à l'interface de contact. Les effets mécaniques, couplés aux effets magnétiques sur le contact entraînent une diminution du

frottement et de l'usure mais aussi l'apparition d'un phénomène physico-chimique (oxydation) sur la surface frottée [11]–[13]. En dehors des nombreux travaux [11]–[14] consacrés au comportement tribologique des couples de matériaux élaborés par divers procédés d'interaction magnéto-tribologique, en présence du champ magnétique, très peu d'études traitent simultanément des mécanismes d'oxydation, d'usure et de contrainte responsables de la dégradation de la surface et de la sub-surface des métaux ferromagnétiques Figure II 1 .



**Figure II.1** L'ensemble des paramètres d'un système tribologique [11].

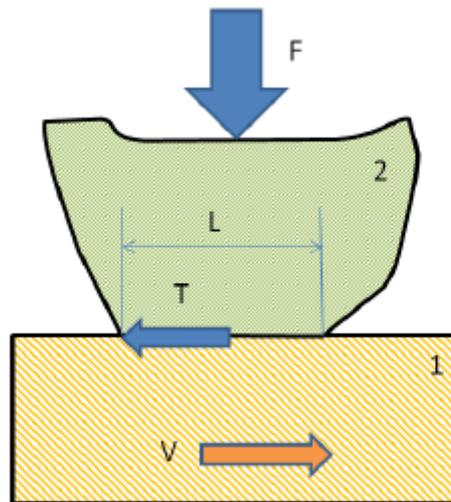
## II .2 . Définition de la tribologie

Le mot tribologie a été proposé par Peter Jost 1 en 1966 et est basé sur le mot grec "tribos" qui signifie frotter. Il s'agit donc de la science du frottement. Son but est de regrouper sous une seule terminologie l'ensemble des sciences du frottement :

- Contact des surfaces
- Usure
- Frottement
- Lubrification etc.

Une définition plus précise de la tribologie est l' "étude des interactions entre surfaces solides en mouvement relatif". Lorsque deux solides sont mis en contact sous l'action d'une force normale  $F$ , une force tangentielle  $T$  apparaît et s'oppose au déplacement relatif des deux solides. Le frottement est très utile lorsque l'on cherche à immobiliser deux solides l'un par

rapport à l'autre. Par exemple il facilite nos déplacements en nous permettant d'exercer, sans glisser, des forces de poussée tangentielle sur le sol pour nous propulser. En revanche, il présente un inconvénient dès lors que l'objectif est de mettre en mouvement relatif deux solides. Figure II 2 [15].



**Figure II.2** Contact entre deux solides en présence de frottement. [15].

F : la force de contact

T : la force tangentielle

L : la longueur de contact

V : la vitesse linéaire de déplacement

### II.3 Importance de la tribologie

On observe des phénomènes de frottement dans tous les systèmes mécaniques, et cette composante tribologique est décisive dans les domaines d'application variés qui vont de la mécanique industrielle aux systèmes du vivant.

La tribologie s'intéresse à l'étude et à l'interprétation scientifique des faits expérimentaux, elle entre en jeu de façon significative dans de nombreux domaines industriels. La connaissance de la tribologie est devenue une nécessité pour de multiples raisons:

- Assurer le bon fonctionnement et la fiabilité des machines.
- Diminuer le coût d'obtention des surfaces frottantes.
- Améliorer le rendement et la longévité des machines.

- Assurer la sécurité des biens et des personnes, particulièrement dans le domaine de transport.
- Contribuer à la santé publique et au confort, par exemple en diminuant les bruits, très nombreux, liés aux contacts mécaniques [16].

## II .4 Matériau pour l’outil de coupe

### II .4.1 ARS

Les outils ARS (Acier Rapides Supérieurs) sont élaborés à partir d’un acier faiblement allié subissant un traitement thermique. Il est toujours utilisé pour certains types d’outils comme les forêts, ou les outils nécessitant un angle de tranchant très faible. Ils ne permettent pas une vitesse de coupe élevée car un échauffement trop important élimine la trempe de l’outil, et crée donc un effondrement rapide de l’arête de coupe.

- Fabrication : par coulée en coquille ou par métallurgie des poudres
- Composition : 0,7 % de Carbone minimum 4 % de Chrome environ
- Tungstène, Molybdène, Vanadium .Cobalt pour les plus durs.
- Dureté : de 63 à 66 Hrc [9].

### II .4.2 Carbure

Les outils carbures sont les plus utilisés actuellement. Il en existe de toutes formes pour chaque type de matériau et pour chaque type d’usinage. Ils se présentent sous la forme d’une plaquette que l’on vient fixer sur un porte outil. Le remplacement de la plaquette est donc très rapide. Ils sont souvent revêtus d’un carbure plus dur. On obtient ainsi une plaquette dont le noyau est tenace et dont la surface extérieure est très dure.

- Fabrication : par frittage de poudre, puis revêtement
- Composition : Noyau en carbure de tungstène ( $T^{\circ}$  de fusion  $2600^{\circ}$ )  
Ou en carbure de titane ( $3100^{\circ}$ ), ou tantale ( $3780^{\circ}$ ) ou niobium ( $3500^{\circ}$ )  
Liant : cobalt : le plus courant ou nickel.
- Revêtement en oxyde d’aluminium (céramique appelée corindon :  $Al_2O_3$ ) [9].

### II .4.3 Cermets

Ce nom vient de céramique-métal car il représente les carbures ayant des particules de Titane, de carbonitride de Titane ou de nitrure de Titane. , Ces outils doivent être alliés à du carbure de Molybdène pour augmenter leur ténacité. Ils sont utilisés pour des grandes vitesses de coupe associées à de faibles avances, donc pour de la finition. Le matériau étant fragile, il ne faut pas d'interruption de coupe (plan de joint...) [9].

### II .4.4 Céramique

Ce sont, pour les outils de coupe, les oxydes et les nitrures : oxyde d'aluminium et nitrure de silicium. Les céramiques ont une grande dureté (donc une faible ténacité) avec une grande stabilité à haute température et aucune réaction avec la matière usinée. Les céramiques permettent un grand débit de matière, mais nécessitent une grande stabilité de la machine, un strict respect des conditions de coupe et une méthode d'usinage adaptée (approche de l'outil) [9].

### II .4.5 Nitrure de Bore Cubique (CBN)

Le CBN offre une très grande dureté, c'est le matériau le plus dur après le diamant. Il comporte l'avantage par rapport au diamant de ne pas s'oxyder à haute température. Il est aussi utilisé pour faire des meules de rectification, pour usiner les pièces dures...

Son utilisation requiert :

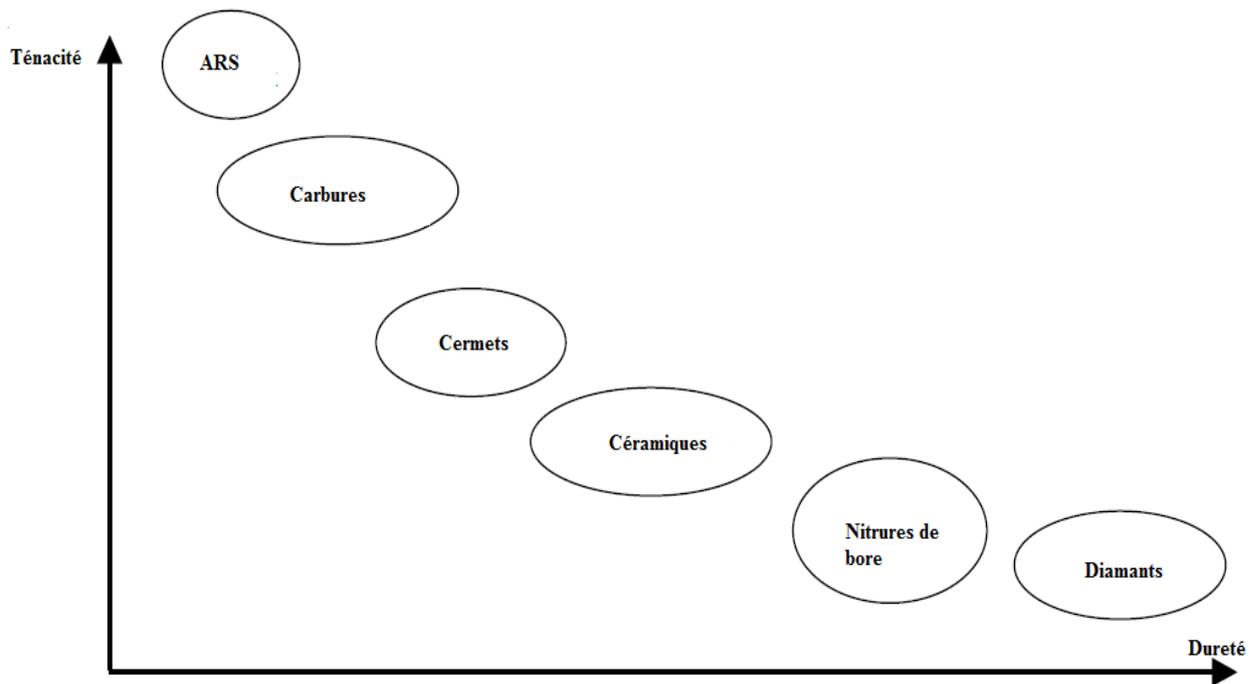
- Une machine stable

- Une grande rigidité de la pièce et du porte pièce

- Un arrosage [9].

### II .4.5 Diamant

L'utilisation du diamant est fortement répandue comme constituant des meules, ou des grains de réaffûtage des meules. Il a un faible coefficient de frottement ce qui limite l'apparition d'arête rapportée (donc peut d'encrassement). Par contre, son énorme inconvénient réside dans sa non-stabilité à haute température. Un diamant soumis à une température de plus de 650 ° se transforme en un vulgaire morceau de graphite... On ne peut donc pas l'utiliser pour les matériaux ferreux. Par contre, il convient aux matériaux non ferreux s'usinant à base température : alliage d'aluminium, de cuivre, de magnésium, résines thermodurcissables...  
Figure II 3 [9].

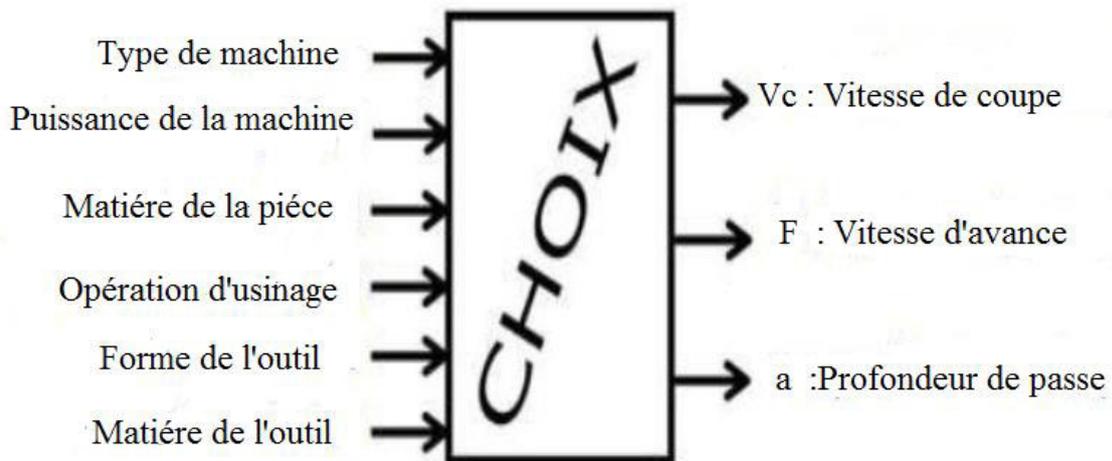


**Figure II.3** Evolution de la diverse ténacité en fonction de la dureté [9] .

## II .5 Conditions de coupe

Avant de réaliser une opération de tournage, il est nécessaire de bien choisir les conditions de coupe pour obtenir un bon résultat (précision, état de surface ...) : Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les conditions de coupe notamment :

- Le type de la machine (mécanisme, gamme des vitesses,)
- La puissance de la machine
- La matière de l'outil (ARS, carbure...)
- La matière usinée (acier, aluminium...)
- Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage...)
- L'utilisation éventuelle de lubrification (destiné à refroidir ou/et à diminuer le frottement) [17].

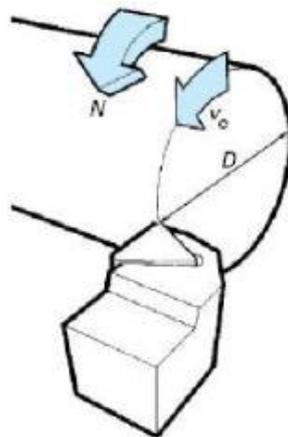


**Figure II.4** Les choix des paramètres de coupe [18].

### II .5 .1 Vitesse de coupe $V_c$

La pièce est entraînée sur le tour à une certaine vitesse angulaire  $\omega$ , cette vitesse étant communiquée par la broche de la machine vers la porte pièce. La vitesse relative de la pièce en ce point par rapport à l'outil est donnée par la formule suivante :

$$V_c \text{ (m/min)} = D/2 \text{ (m)} \times \omega \text{ (rad/ min)}$$



**Figure II.5** Vitesse de coupe [19].

La fréquence de rotation de la broche est donnée par l'expression suivante :

$$N = 1000 V_c / \pi D$$

$N$  : Vitesse de rotation tr / min

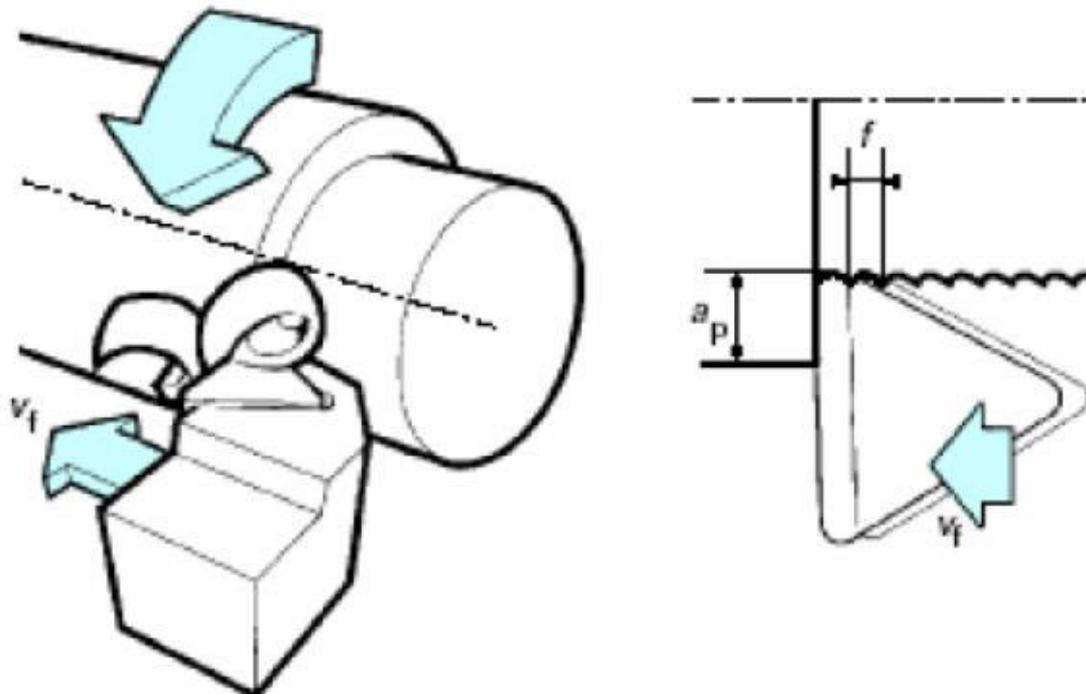
$V_c$  : Vitesse de coupe m / min

$D$  : Diamètre de l'outil (mm)

### II .5 .2 Vitesse d'avance $V_f$ et avance par tour $f$

La vitesse d'avance  $V_f$  (mm/min), que la Figure II.6, est la vitesse à laquelle la machine déplace l'outil par rapport au bâti. L'avance par tour  $f$  (mm/tr) est la valeur du déplacement de l'outil, lorsque la pièce a effectué une révolution. C'est une donnée clé pour la qualité de la surface usinée. L'avance influe non seulement sur l'épaisseur des copeaux, mais également sur la manière dont ils se brisent. La vitesse d'avance  $V_f$  est donnée par la formule suivante [19] :

$$V_f(\text{mm/min}) = f(\text{mm/tr}) \times N(\text{tr/min})$$



**Figure II.6** Vitesse d'avance  $V_f$  [19].

### 4.5.3 Profondeur de passe « $a_p$ »

La profondeur de passe notée  $a$  en (mm), correspond à la longueur de l'arête de coupe engagée dans la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et à la différence entre le rayon de la pièce avant et après usinage, dans le cas du tournage. La profondeur de coupe est toujours mesurée perpendiculairement à la direction de l'avance et non pas suivant l'arête de l'outil [20].

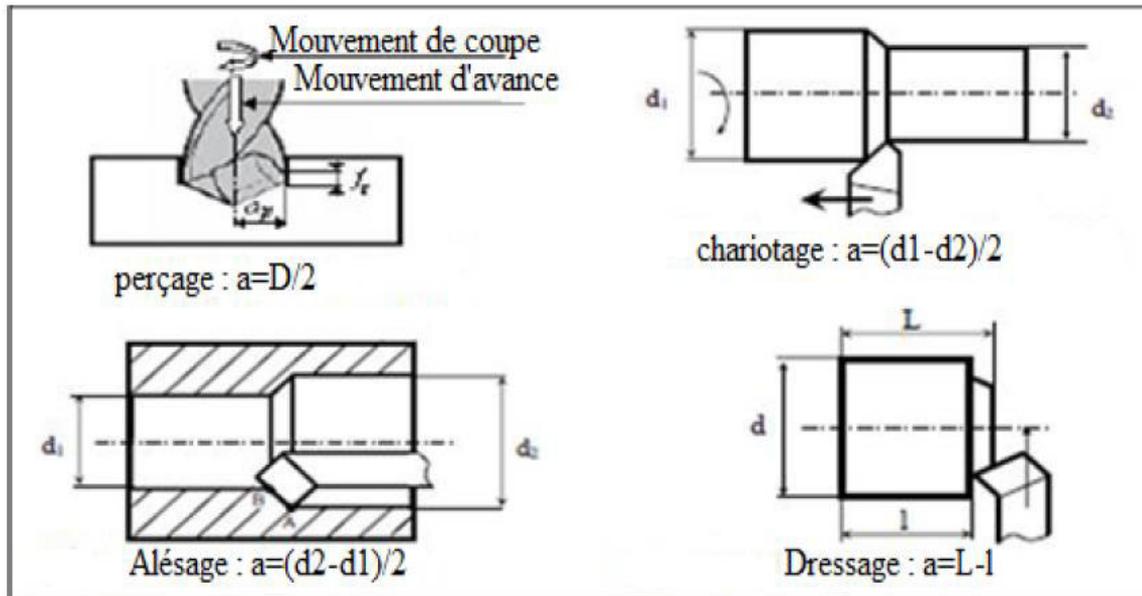


Figure II.7 Les profondeurs de passe [20].

## II.6 Principales caractéristique du matériau outil

Pour pouvoir enlever correctement la matière de la pièce à usiner, l'outil de coupe doit satisfaire certaines conditions :

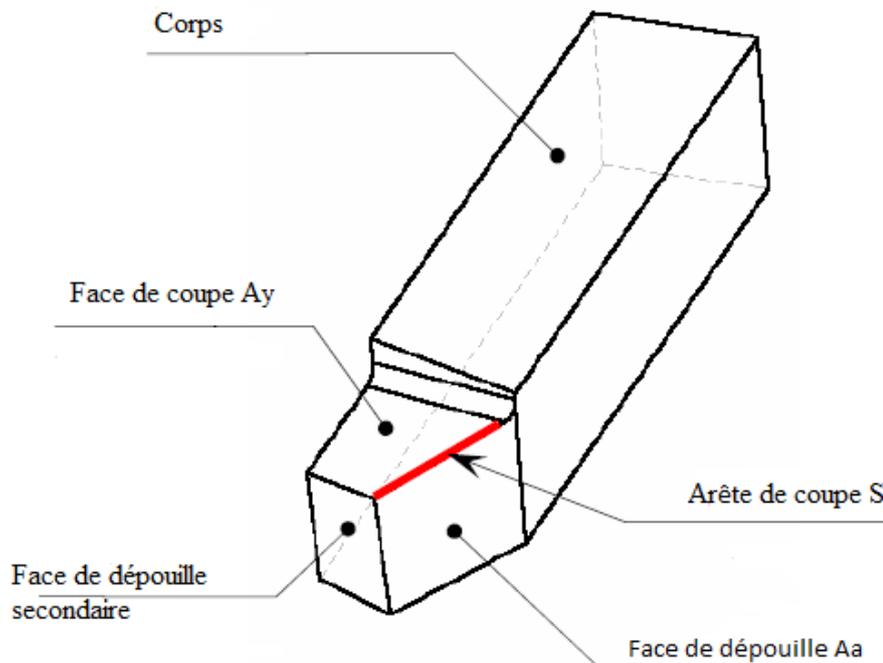
- Dureté élevée des faces de coupe et dépouille pour pouvoir pénétrer dans le matériau à usiner.
- Résistance à l'abrasion élevée pour pouvoir résister à l'usure en cratère et en dépouille.
- Résistance à la température élevée ( $600^\circ$  à  $1000^\circ$ ) (la température élevée diminue la dureté et la résistance à l'abrasion).
- Résistance mécanique élevée à la flexion et à la compression pour pouvoir résister aux efforts de coupe.
- Bonne rugosité de surfaces de coupe et de dépouille ( $R_a \leq 1,6 \mu\text{m}$ ) [8].

## II .7 Géométrie des outils de coupe

### II .7.1 Généralités

La plaquette de coupe est la partie active dans une opération d'usinage. Les outils de coupe se caractérisent par leurs matériaux et par différents paramètres géométriques comme : les angles de coupe, l'acuité d'arête, le brise-copeaux, et le rayon de bec. La géométrie des outils est étudiée pour assurer une formation aisée des copeaux, offrir une arête de coupe robuste et fragmenter les copeaux en éléments d'une longueur acceptable. Un outil coupant est constitué d'un corps d'outil comportant une ou plusieurs parties actives. La partie active est constituée d'une **arête de coupe**, intersection de la **face de coupe ( $A\gamma$ )** et de la **face de dépouille ( $A\alpha$ )**.

Figure II 8 [21].



**Figure II.8** représentation de la géométrie de l'outil de coup [21].

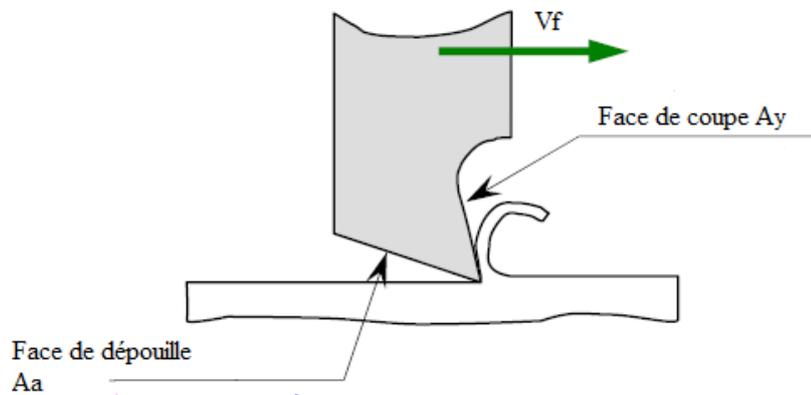
### II .7.2 Les faces de l'outil :

**$A\gamma$**  : face de coupe ( $\gamma$  : "gamma") → Face sur laquelle glisse le copeau.

**$A\alpha$**  : face de dépouille ( $\alpha$  : "alpha") → Face devant laquelle passe la surface qui vient d'être usinée.

**S** : arête de coupe principale → intersection entre  $A\gamma$  et  $A\alpha$

Figure II 9 [21].

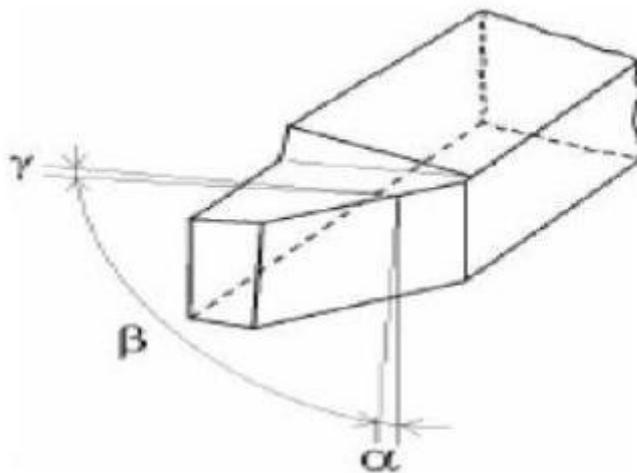


**Figure II.9** les différentes faces d'outil [21] .

### II .7. 3 . Angles de l'outil

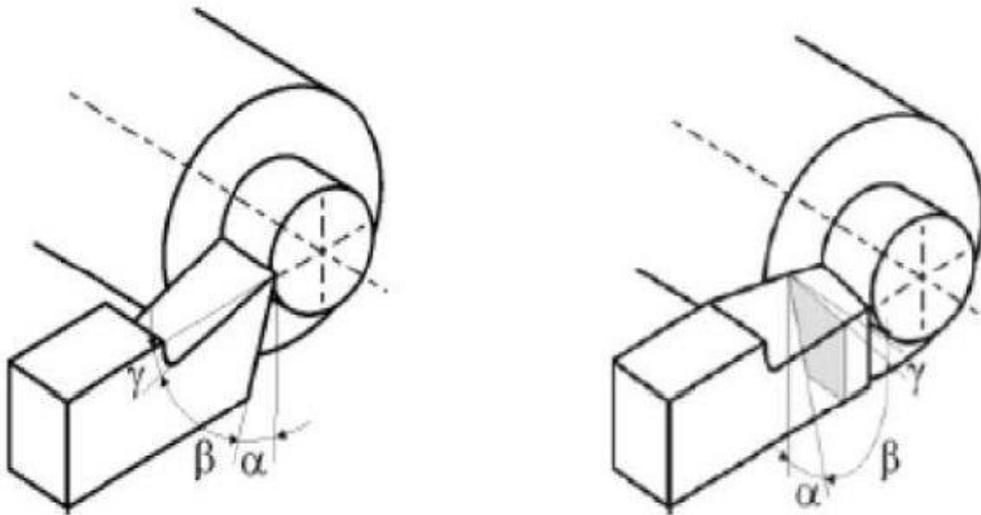
Pour faciliter l'explication des phénomènes de la coupe il est nécessaire de définir les angles ayant la plus grande influence sur les dits phénomènes.

La figure II 10 illustre, dans le système de référence outil en main, les trois angles principaux, l'angle de dépouille  $\alpha$ , l'angle de taillant  $\beta$  et l'angle de coupe  $\gamma$  .



**Figure II.10** Angles du taillant (outil en main) .

La figure II 11 illustre ces mêmes angles dans les systèmes de référence outil en travail : outil à taille en bout (gauche) et outil à taille de côté ou latérale (droite).



**Figure II.11** Angles du taillant (outil en travail) .

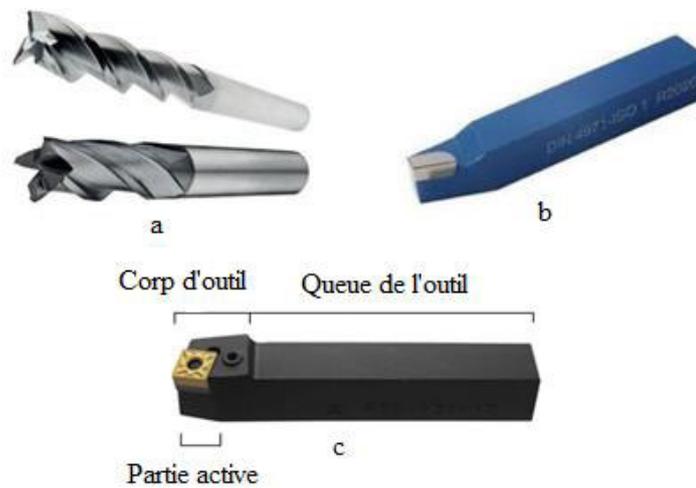
Globalement, l'angle de dépouille  $\alpha$  influe sur le frottement entre l'outil et la pièce et donc la durée utile de l'outil. L'angle de coupe  $\gamma$  a une influence sur la manière dont s'écoule le copeau sur la face de coupe et ainsi les efforts de coupe, la puissance consommée, les dégagements de chaleur etc. L'angle de taillant  $\beta$  affecte la résistance à la rupture du taillant. La somme de ces trois angles est toujours égale à  $90^\circ$  .

$$\alpha + \gamma + \beta = 90$$

Dans le cas où la somme est supérieure à  $90^\circ$ , on parle de coupe négative ( $\gamma$  négatif).

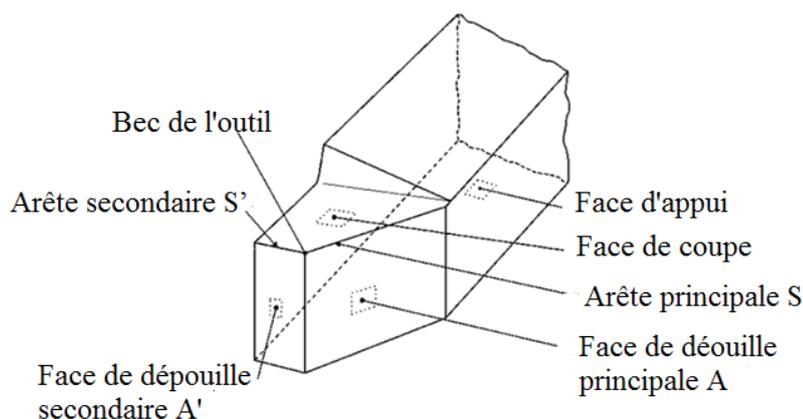
## II .8 Outils de coupe et leurs nuances

Les fabricant d'outils de coupe fournissent aux artisans et manufactures des outils avec des géométries différentes et des prix différents selon les opérations d'usinage voulues ( tournage, fraisage, perçage, ...etc.) et sous différents aspects : outils en bloc en acier rapide, outils à plaquettes brasées et en plaquettes amovibles Figure II 12 .



**Figure II.12** Présentation des différents types d'outils : a) Fraises monobloc en acier rapide, b) Outils à charioter plaquettes brasées c) Outils à charioter à plaquettes amovibles. .[22]

En général un outil de coupe est constitué d'un corps et d'une queue , cette dernière est de section circulaire ou carrée et a pour rôle le maintien de l'outil au porte-outil (la tourelle en tournage, la broche en fraise et perçage), la première partie est destinée à recevoir les éléments tranchant ou les plaquettes. L'élément coupant est limité par des faciès dont l'intersection forme les arêtes Figure II 13 Seules les arêtes, la face de coupe et la face de dépouille qui interviennent dans le processus de la coupe du métal, c'est ces derniers qui forment la partie active [22].



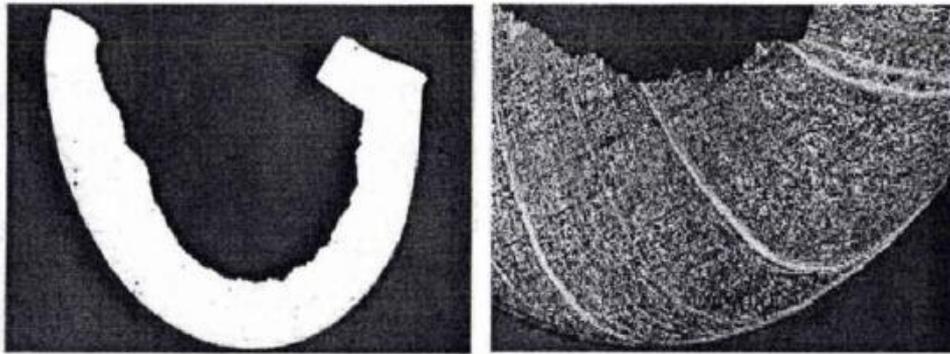
**Figure II.13** Faciès limitant la partie active de l'outil [22].

## II.9 Forme du copeau en usinage

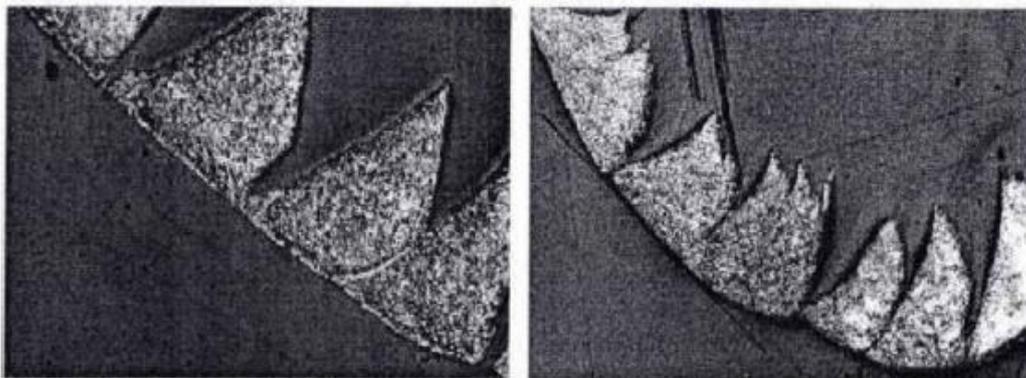
La complexité du mécanisme de formation de copeau, ne nous permet pas de maîtriser complètement les résultats de la coupe en matière de forme et de nature du copeau obtenus. Les copeaux peuvent être classifiés en deux types distincts : continu, discontinu [23,24].

**II.9.1 Les copeaux continus avec ou sans bande** : formés dans un état de déformation plastique stationnaire en cisaillement adiabatique Figure II 14 .

**II.9.2 Les copeaux discontinus avec ou sans segmentation** : formés dans un état de déformation plastique non stationnaire. La segmentation des copeaux est pilotée par les phases de fissuration et de rupture du matériau à usiné Figure II 15.

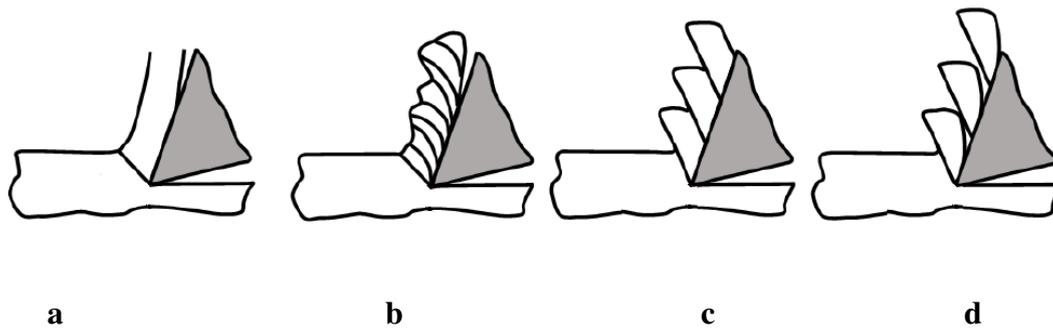


**Figure II.14** Copeau continu à surface lisse sans bande de cisaillement et copeau continu à surface lisse avec bande de cisaillement [24].



**Figure II.15** Copeau segmenté régulier et copeau segmenté irrégulier [24] .

Il existe aussi d'autres copeaux intermédiaires entre un copeau continu et un copeau discontinu et d'autres géométries (Figure II.116).



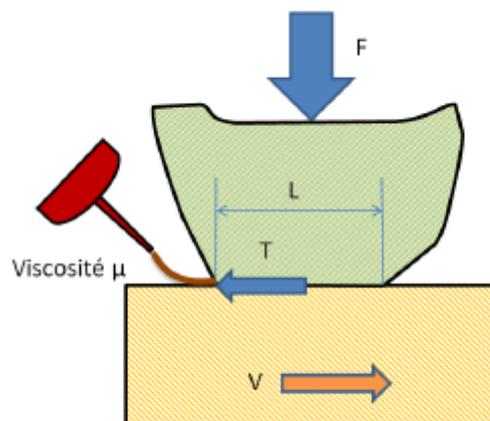
**Figure II.6** Formes de copeau en coupe orthogonale [25] .

- a) copeau continu
- b) copeau ondulé
- c) copeau segmenté
- d) copeau fragmenté

## II .10 La lubrification

### II .10.1 Définition

La lubrification est certainement le moyen le plus efficace et le plus utilisé pour limiter le frottement et ses conséquences. Lorsque le roulement est utilisé il n'est pas rare qu'on y associe une lubrification adaptée comme nous le verrons plus loin. Reprenons le contact précédent et supposons qu'un lubrifiant de viscosité  $\mu$  soit introduit entre les surfaces FigureII 17. Nous noterons  $V$  la vitesse de glissement et  $L$  la longueur du contact [26].



**Figure II.17** Contact lubrifié [26] .

Si le coefficient de frottement  $f$ , qui le rapport de la force tangentielle sur la force normale  $f = \frac{T}{F}$  est représenté en fonction d'un paramètre dit hydrodynamique  $G = \frac{\mu VL}{F}$

### II .10.2 Les fonctions d'un lubrifiant

Les fonctions d'un lubrifiant sont multiples :

- diminuer les frottements et les résistances passives dans les machines, améliorer leur rendement et économiser l'énergie
- protéger les organes lubrifiés contre les diverses formes de corrosion et d'usure, donc contribuer à leur longévité
- évacuer la chaleur produite, favoriser l'équilibre thermique
- améliorer l'étanchéité vis-à-vis des gaz, des liquides ou des poussières
- éliminer les impuretés et les débris d'usure
- assurer l'isolation électrique... [27].

### II .10.3 Le choix d'un lubrifiant

Le choix d'un lubrifiant est très complexe : à chaque type de contact mécanique correspond une composition de lubrifiant optimale et une façon de la mettre en œuvre !

Cependant, un lubrifiant est un produit qui satisfait à trois conditions fondamentales :

- un film doit pouvoir être formé à la surface des pièces
- le film formé doit être maintenu au contact
- le film formé et maintenu doit se déformer facilement, sans se rompre, par cisaillement [27] .

### III.1 Introduction

En tournage, les outils d'usinage de profil extérieur, d'alésage, de gorge ou de filetage sont pratiquement tous composés d'un porte plaquette en acier et d'une plaquette de géométrie, de matériau et de revêtement adaptés au matériau à usiner.

Cette solution est particulièrement intéressante car les plaquettes en carbure métallique ont une capacité de coupe bien supérieure celle des outils en Acier Rapide Supérieur (ARS ou HSS). Cela veut dire que la vitesse de coupe est multipliée par 3, voire par 5.

De plus, lorsque l'arête de coupe est usée, on la remplace par une neuve sans modifier de façon importante ses dimensions (jauges outil). Le temps de réglage avant de relancer l'usinage est donc plus court. Dans le cas du fraisage, il est possible de trouver des fraises à plaquettes pour des diamètres d'outils à partir de 10 mm. En dessous de cette dimension, on travaille avec des fraises de type monobloc. Les fraises monoblocs peuvent être en ARS ou en carbure. Comme pour les outils à plaquettes, les fraises monoblocs en carbure ont une capacité de coupe supérieure à celles en ARS .

Les contraintes de fabrication nous amènent à choisir des outils qui présentent des Caractéristiques importantes :

#### **Résistance :**

- aux efforts de coupe (résistance à la rupture)
- à l'abrasion (résistance à l'usure)
- à la température élevée (conservation de la dureté)

**Dureté :** la partie active de l'outil doit être plus dure que la matière à usiner.

**Qualité dimensionnelle, géométrique et état de surface :** la réalisation de pièce de grande précision impose l'utilisation d'outil précis.

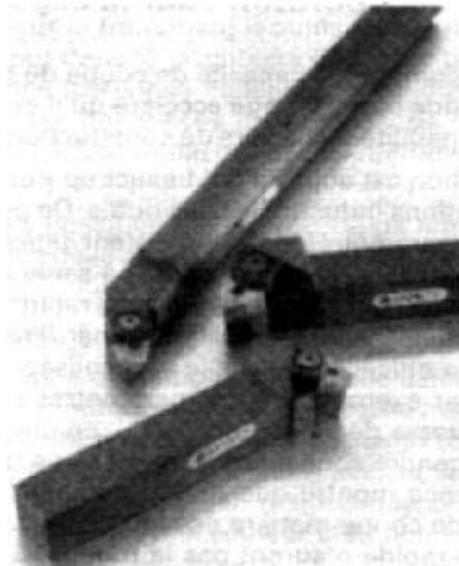
## III.2 Les plaques en carbure

### III.2.1 Définition

Les premières applications des carbures de coupe se sont faites sous forme de Plaquettes à braser sur des corps d'outils en aciers ordinaire, la partie active de ces outils étant raffûtée au fur et à mesure de son usure.

Vers 1958 ont été créés les outils à plaquettes amovibles (figure III.1). Ce type d'outil a été rapidement adopté car les avantages des plaquettes amovibles sont nombreux :

- suppression de l'affûtage; absence de brasure, donc une nuance plus dure peut souvent être utilisée (risque de crique éliminé);
- conditions de coupe plus sévères;
- indexage (repérage mécanique) de la plaquette, pour remplacer une arête usée ou un changement de nuance plus rapide que le changement d'un outil brasé ;
- affilage d'arête recommandé dans le tournage de l'acier, exécuté d'une façon automatique par le fabricant de plaquettes alors que, pour l'outil brasé, il est réalisé à la main par l'opérateur [28].



**Figure III.1** Outils à plaquettes amovibles [28]

Les outils carbures sont aujourd'hui très utilisés. Ils sont constitués essentiellement de carbure de tungstène (phase  $\alpha$ ), et de carbure de titane, de tantale ou de niobium (phase  $\gamma$ ) et d'un liant généralement le cobalt (phase  $\beta$ ). Le rôle de l'addition du carbure de titane de tantale ou de niobium est d'augmenter les propriétés à haut température (vitesse de coupe élevée) par la réduction des frottements. C'est aussi de diminuer l'usure de la face de coupe en réduisant la diffusion du carbure de tungstène entre l'outil et copeau. Notant que l'accroissement de la proportion de carbure de titane entraîne une augmentation du coefficient de dilatation ce qui peut conduire à des variations dimensionnelles néfastes dans le cas de l'usinage de précision. Le carbure de tungstène, élément dur, conserve une résistance à l'usure à température élevée correspondant à des vitesses de coupe élevées. Le cobalt constitue le liant entre les grains de carbure. Il confère au corps fritté une bonne ténacité. Les principales évolutions des outils de coupe à base de carbures sont rapportées [29]:

- les nuances à micro grains,
- l'évolution des géométries,
- La généralisation des plaquettes inoxydables

Le matériau des outils en carbures métallique peut être vu comme étant une matrice composée de substance liante (10% à 30% du matériau) dans laquelle sont dissouts les carbures (70% à 90% du matériau). Pour la substance liante, donnant la ténacité, le cobalt (Co) est l'élément le plus employé car il a l'aptitude de dissoudre facilement les différents carbures. Les carbures, donnant la dureté et donc la résistance à l'usure, sont de différents types. On peut citer les carbures de Titane (TiC), les carbures de tantale (TaC),

Les carbures de tungstène (WC) et les carbures Niobium (NbC). Il est à noter que les carbures métalliques sont obtenus par frittage.

La partie active des outils en carbures métalliques se présente en plaquettes de différentes formes ( triangulaire ,carré, rhombique ,rectangulaire , ronde .....)

### III.2.2 .Caractéristiques

Le carbure est utilisé dans de nombreuses applications en raison de ses caractéristiques mécaniques supérieures [30] :

- Tenace et dur
- Bonne conductivité thermique
- Adapté à la coupe de métaux non ferreux et de non-métaux
- Coupe stable à des vitesses de coupe faibles, y compris le fraisage.

### III.2.3 Méthode de fabrication des plaques en carbures

Sont obtenus par frittage (métallurgie des poudres) de substance dure (carbures de tungstène, de titane.....) et de substance liante (cobalt...) qui confère sa ténacité à la plaquette [12]

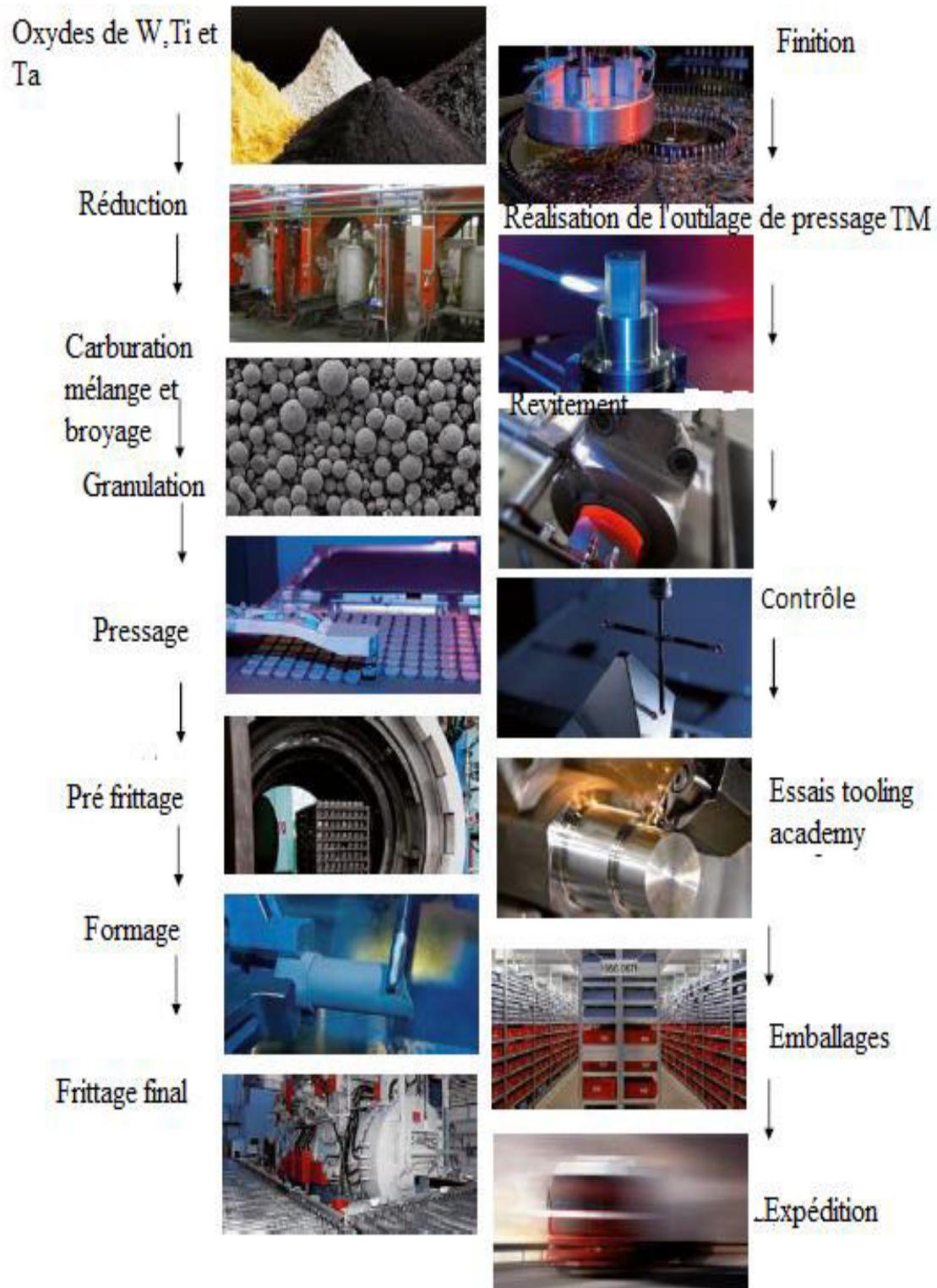
Ces outils se présentent sous forme de plaquettes obtenues par frittage.

**Frittage** : est un procédé (thermique) qui consiste à chauffer une poudre sans atteindre la fusion.

Sous l'effet de la chaleur, les grains sont soudés, ce qui forme la cohésion de la pièce.

#### Procédé de Frittage

- Mélange de poudre de carbure.
- Compactage à la presse
- Chauffage (lier les poudres et obtenir la dureté).
- Calibrage (précision de la géométrie) [21] .



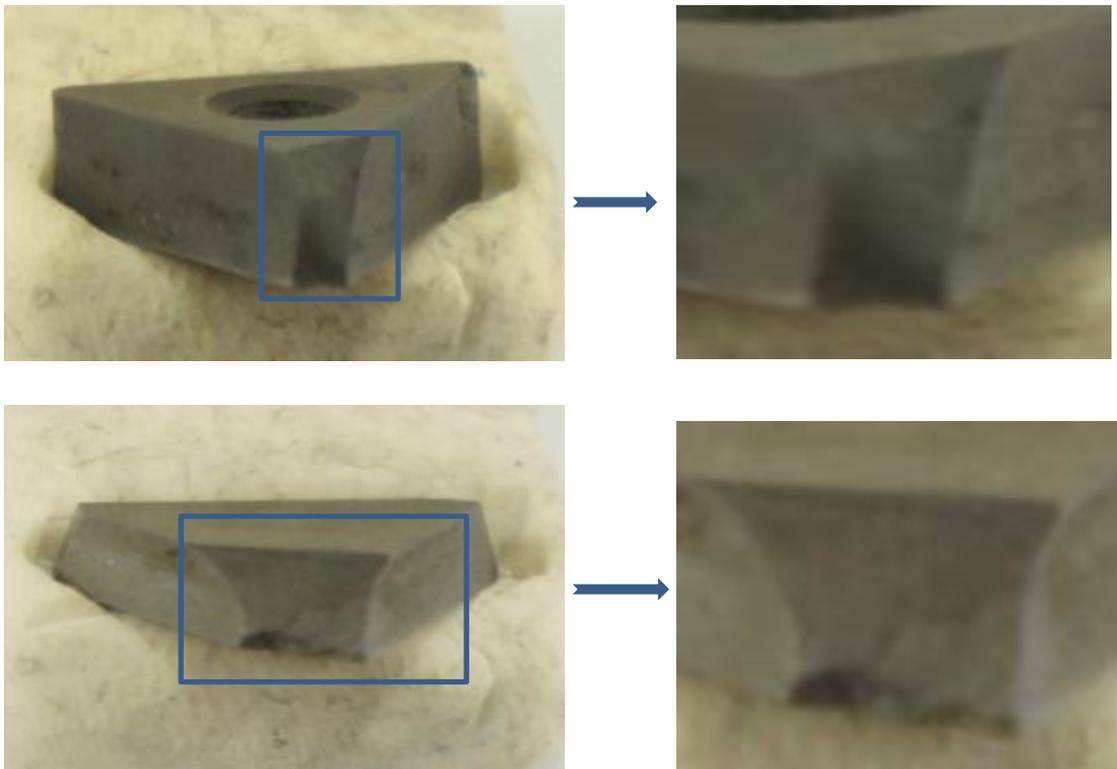
**Figure III.2** Les différentes étapes de fabrication des plaques en carbure [31].

### III.2.4 Principales usures observées dans différentes plaques en carbure

Dans ce chapitre nous avons regroupé les principaux résultats de recherches des modes d'usure en donnant les causes et les solutions probables.

Nous avons pris trois types d'outil de coupe (carbure ,carbure revêtu et ARS ) de cette atelier ( hall technologie ) qui sont déjà utilisé et nous avons détecter leurs mode d'usure et on a trouvé des cause pour ces phénomène et leurs solution .

#### Outil n °1



**figure III. 3** Fracture de bec d'outil

On remarque dans ces outils de la figure III. 3 que le type d'usure est une fracture du bec d'outil

Ses causes et les solutions sont multiple et dépend de la machine et la pièce.

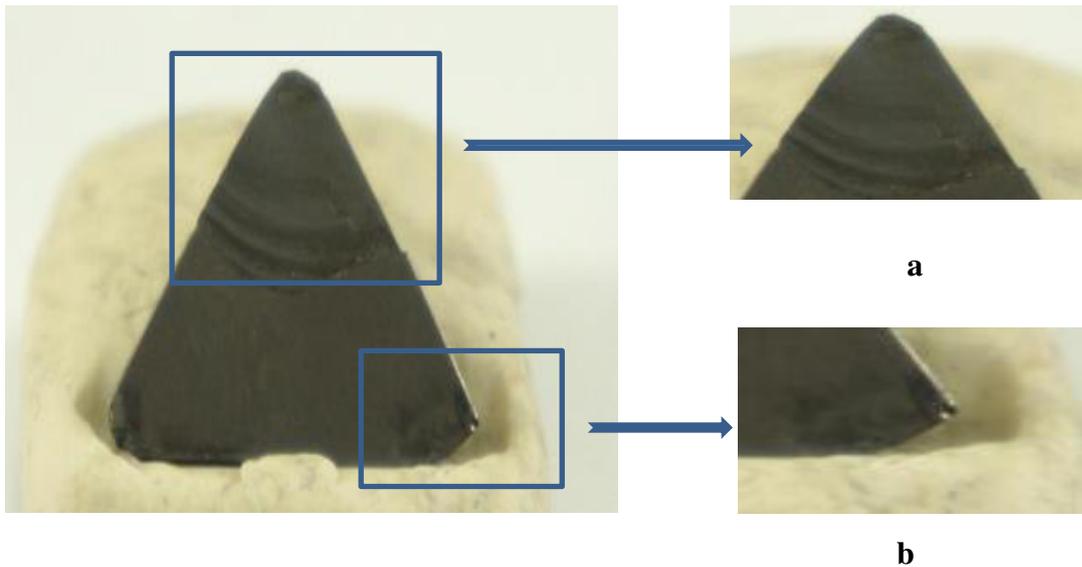
#### Causes

- Nuance d'outil est trop faible.
- Taux d'alimentation  $V_f$  est trop élevé.
- Manque de résistance des arêtes de coupe.

### Solutions

- Outil à ténacité élevée.
- Taux d'alimentation  $V_f$  réduit.
- Augmenter la profondeur de passe pour absorber le choc.
- Utilisez une tige de grande taille à forte rigidité.
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.

### Outil n °2



**figure III. 4** a) Usure en dépouille b) Fracture du bec d'outil

On remarque dans ces outils de la figure III. 4 que il a deux types d'usure : a) Usure en dépouille b) Fracture du bec d'outil

#### a .Usure en dépouille

L'usure en dépouille est la plus importante. Elle influence directement la cote fabriquée, et l'état de surface. Elle est due au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil et provoque une bande striée parallèle à l'arête de coupe. Elle influe sur l'état de surface de la pièce usinée et sur la précision dimensionnelle de l'usinage car elle modifie la position de l'arête de coupe.

### Causes

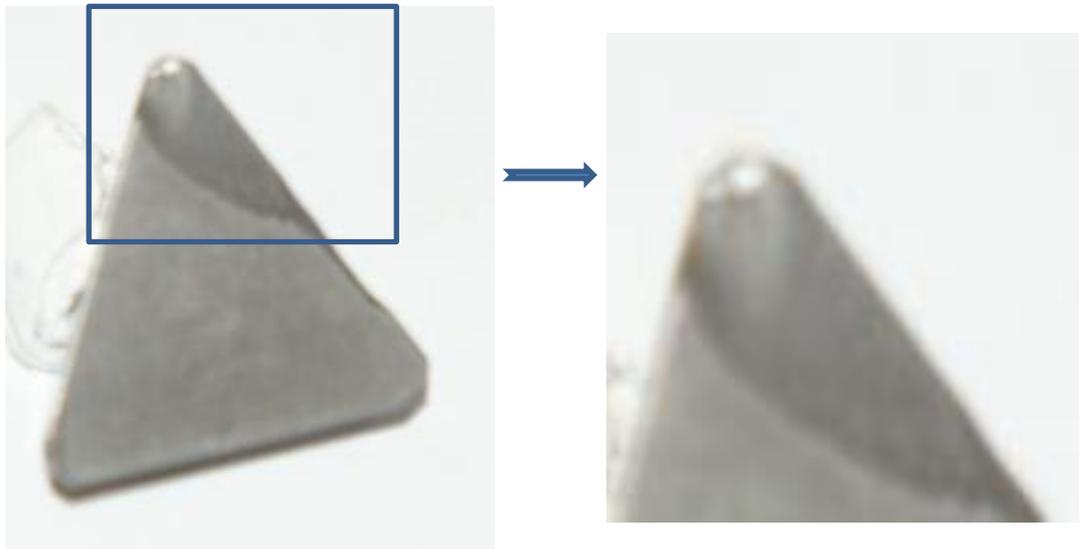
- Nuance d'outil est trop faible.
- Vitesse de coupe  $V_c$  est trop élevée.
- Angle de dépouille est trop petit.
- Taux d'alimentation (vitesse d'avance)  $V_f$  est extrêmement faible.

### Solutions

- Qualité d'outil avec une résistance élevée à l'usure (plaquette avec revêtement  $Al_2O_3$ ).
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.
- Augmenter l'angle de dépouille.
- Augmenter le taux d'alimentation  $V_f$ .

b) **Fracture du bec d'outil** ( on a déjà cité ses causes et ses solution dans la page 44 )

### Outil n °3



**figure III.5** Usure par arêtes rapporté

On remarque dans ces outils de la figure III.5 que le type d'usure est une Arêtes rapporté

Ce type d'usure est due à une température trop basse dans la zone de coupe, se qui provoque un mauvais écoulement du copeau et celui-ci se soude a l'arête. Un copeau se dépose sur la plaquette, entraînant un état de surface médiocre.

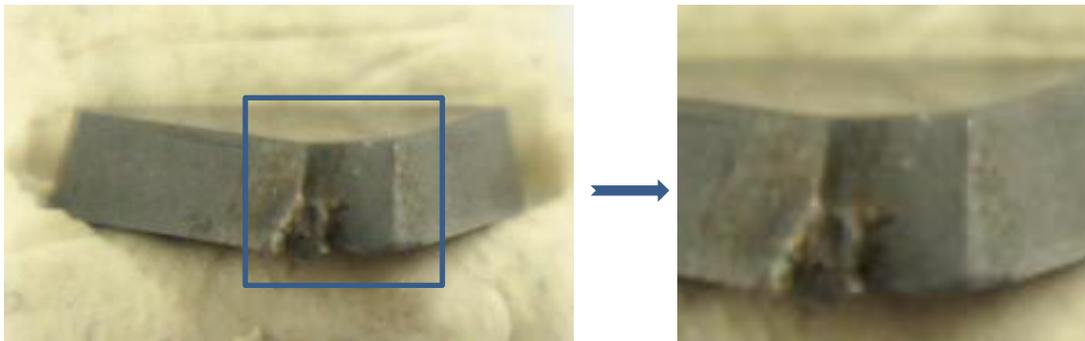
### Causes

- Vitesse de coupe  $V_c$  est faible.
- Géométrie d'outil inadapté.

### Solutions

- Augmenter la vitesse de coupe  $V_c$ .
- Augmenter l'angle de coupe.
- Qualité d'outil avec une faible affinité. (grade enduit, grade cermet)

### Outil n °4



**figure III.6** Usure par déformation plastique

On remarque dans ces outils de la figure III.6 que le type d'usure est une déformation plastique.

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.

### Causes

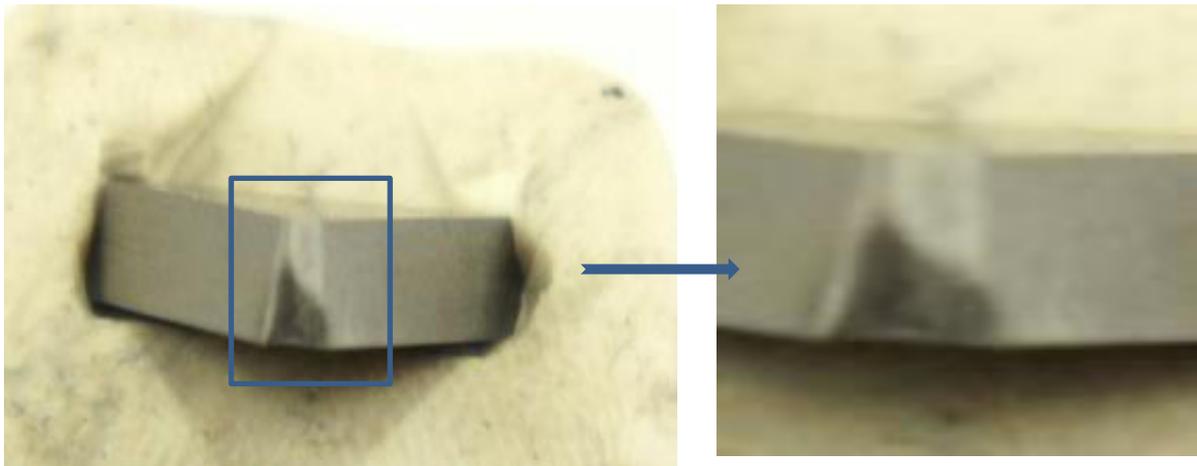
- Nuance d'outil est trop faible.
- Vitesse de coupe  $V_c$  est trop élevée.
- Profondeur de coupe et le taux d'alimentation sont trop importants.
- Température de coupe est élevée.

### Solutions

- Outil à haute résistance à l'usure.
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.

- Diminuez la profondeur de passe et le taux d'alimentation  $V_f$ .
- Qualité d'outil avec haute conductivité thermique.
- Usinage lubrifié.

### Outil n °5



**figure III.7** Processus d'usure par abrasion

On remarque dans ces outils de la figure III.7 que le type est un usure par abrasion.

L'usure par abrasion se caractérise par la formation de bandes striées dans la direction de Contact avec la surface usinée de la pièce ou dans la direction du copeau qui glisse le long de la face de coupe. L'usure par abrasion apparaît donc à la fois sur la face de coupe et sur la face de dépouille des outils.

#### Causes

- Vitesse de coupe  $V_c$  est trop élevée.
- Température de coupe est élevée.
- Les frottements.

#### Solutions

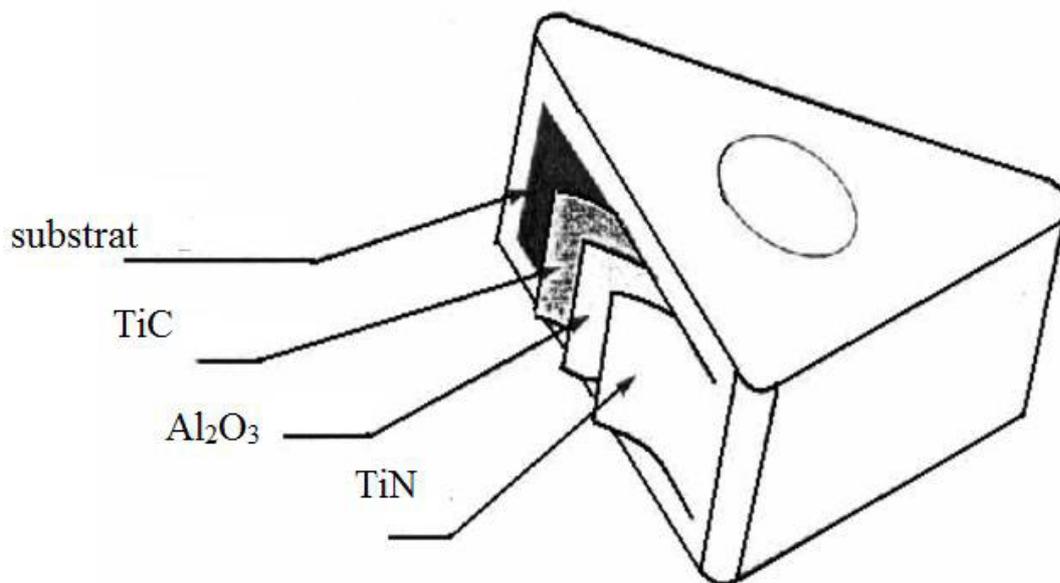
- Usinage lubrifié.
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.

### III.3 Carbures métalliques avec revêtement

A partir de 1959 apparaît un nouveau type de matériau de coupe : le carbure revêtu constitué par une plaquette en carbure métallique recouvert par un film mince (3 à 10  $\mu\text{m}$ ) d'un matériau de coupe .

Les carbures revêtus sont recouverts d'une couche de quelques micromètres de nitrure ou de carbure de titane, ou encore d'oxyde d'aluminium (figure III.3).

Ces revêtements, en réduisant les frottements copeau/outil et pièce/outil, améliorent très nettement les possibilités des outils. Ils sont les plus utilisés dans un très grand nombre d'opérations de tournage, pour tous types d'usinage et pour une grande diversité de matières de pièces. C'est donc le choix à envisager en priorité pour la plupart des opérations d'usinage [32].



**Figure III.8** Plaquette carbure (revêtement multicouche) [33].

On peut retenir globalement que :

**le nitrure de titane (TiN)** est réputé mieux résister à l'abrasion. Pour cette raison, il est souvent utilisé en couche externe. De plus, il tolère des dépôts plus épais sans nuire à sa tenue en service. Le TiN est inerte vis-à-vis des aciers et le coefficient de frottement du métal sur le revêtement TiN est plus faible, ce que minimise le risque de formation d'arête rapportée [33].

**le carbure de titane (TiC)** adhère mieux aux substrats, constituant ainsi une excellente base d'application de couches de revêtement supplémentaires. Par contre, il est fragile et pour cela est déposé en couche n'excédant pas 5 $\mu$ m,

**l'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** est déposé en couche intermédiaire comme barrière de diffusion à la chaleur. Il conserve sa dureté à hautes températures, offrant une excellente résistance à l'usure, ainsi qu'une excellente protection contre la diffusion et l'oxydation à des vitesses et des températures de coupe très élevées. Un inconvénient majeur dans le cas des revêtements multicouches des plaquettes de finition est la perte de l'acuité d'arête. Pour cette raison, les métallurgistes ont mis au point des revêtements en couches minces de 1 à 2 $\mu$ m.

Les gains obtenus dans la coupe des métaux à l'aide de ces revêtements sont importants.

Ces gains dépendent essentiellement du couple outil/matière. La caractérisation de l'usure des outils.

Cependant, pour caractériser l'influence du revêtement, nous précisons.

Dès maintenant que trois modes de détérioration peuvent intervenir [33] :

- **Abrasion** : Plus le revêtement est dur et moins ce mode d'endommagement peut intervenir. Les revêtements TiC et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont performants du point de vue abrasion,
- **Diffusion (outil/copeau)** : Ce mode d'endommagement est dans ce cas nettement plus important pour TiC, soluble dans l'austénite à partir de 1100 - 1150°C que pour TiN et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tous deux insolubles dans les aciers même liquides,
- **Fissuration et écaillage** : La détérioration s'effectue par fissuration du revêtement soumis à de fortes contraintes d'origine thermique entraînant des micro écaillages (sur l'arête ou sur les flancs) puis une usure contrôlée par diffusion et abrasion ainsi, une couche extérieure de TiN semble aujourd'hui conduire aux meilleurs résultats lors du tournage des aciers inoxydables. L'usure par effets physico-chimiques est très réduite.

### III. 3.1 Principales usures observées dans différentes plaques en carbure revêtu

Dans ce types des outils nous avons regroupé les principaux résultats de recherches des modes d'usure en donnant les causes et les solutions probables.

#### Outil n °6

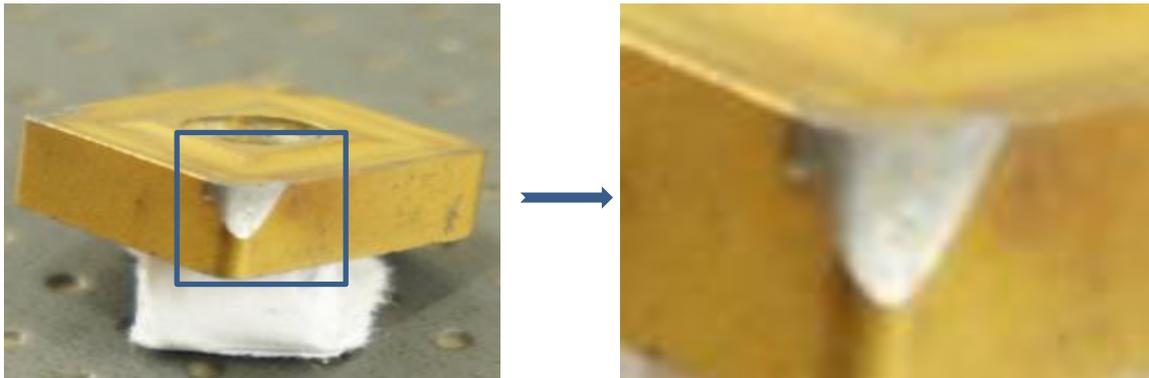


figure III. 9 Usure en dépouille

On remarque dans ces outils de la figure III. 9 que le type d'usure en dépouille

#### Causes

- Nuance d'outil est trop faible.
- Vitesse de coupe  $V_c$  est trop élevée.
- Angle de dépouille est trop petit.
- Taux d'alimentation (vitesse d'avance)  $V_f$  est extrêmement faible.

#### Solutions

- Qualité d'outil avec une résistance élevée à l'usure (plaquette avec revêtement  $Al_2O_3$ ).
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.
- Augmenter l'angle de dépouille.
- Augmenter le taux d'alimentation  $V_f$ .

### III.4 Aciers rapides supérieur (ARS)

La base des outils AR (acier rapide) ou ARS (aciers rapides supérieurs) est un acier faiblement allié qui a subi un traitement thermique, plusieurs outils en RAS sont disponibles, on les distingue par leur composition métallurgique, en général ils ont une teneur en carbone de 0,7 à 1,6 %, en Tungstène de 12 à 20 %, en molybdène de 3,5 à 10 % et des traces de vanadium et Cobalt pour avoir plus de duretés. L'usinage par les outils en ARS s'effectue à faible vitesse de coupe pour éviter l'échauffement trop important et aussi éviter que l'outil de perdre ses caractéristiques (la trempe dispersée), une usure rapide de l'arête soit observée [34] Parmi les plus courants outils en ARS on cite les forêts , les fraises et les alésoirs . Ces outils permettent l'usinage de tous matériaux de dureté inférieure de 400 HRC

L'avantage de ce type de matériaux est donné par la possibilité de réaffûter l'arête de coupe quand ils sont usés.

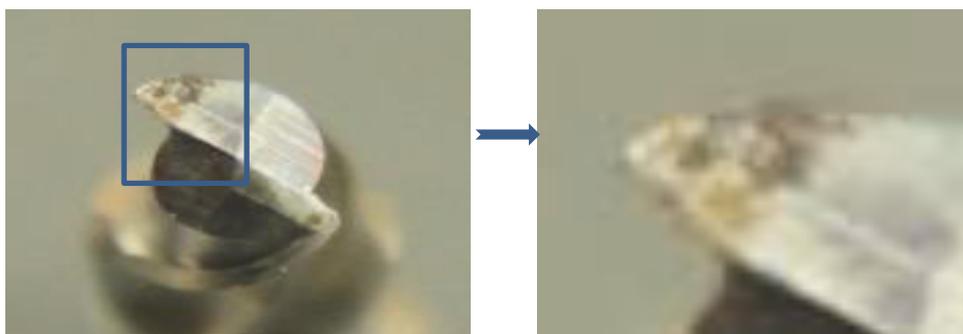
Il existe 2 familles d'outil ARS :

- **les outils monoblocs** : outil constitué d'un seul matériau.
- **les outils brasés** : outil composé de 2 matériaux différents soudés par brasage [21].

#### III. 4.1 Principales usures observées dans différentes plaques en Acier Rapide Supérieur (ARS)

Dans ces types des outils nous avons regroupé les principaux résultats de recherches des modes d'usure en donnant les causes et les solutions probables

##### Outil n °7



**figure III.10** L'usure de la face de coupe

On remarque dans ces outils de la figure III.10 que le type d'usure est une face de la coupe

L'usure en cratère est la forme la plus courante d'usure de la face de coupe (face sur laquelle glisse le copeau); elle est due au contact avec le copeau.

#### Causes

- Vitesse de coupe et/ou avance trop élevée.
- Nuance trop tenace.
- Brise-copeaux trop étroit.

#### Solutions

- Réduire la vitesse de coupe et/ou l'avance.
- Sélectionner une nuance plus résistante à l'usure.
- Choisir une géométrie plus ouverte/positive.

#### Outil n °8

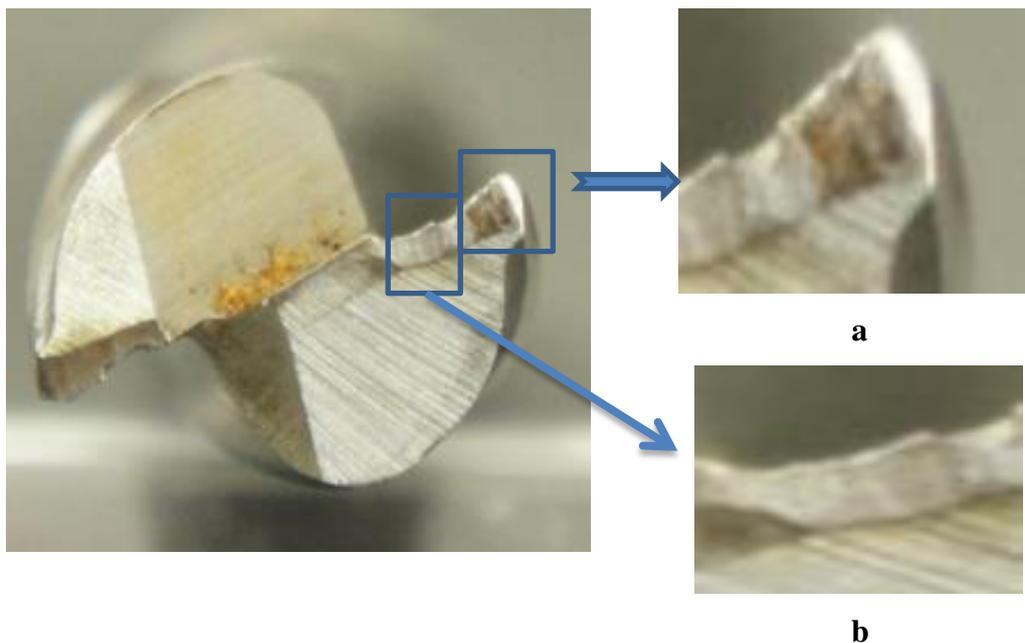


figure III.11 Il a deux types d'usure : a) Usure en dépouille b) Fracture du bec d'outil

On remarque dans ces outils de la figure III.11 que il a deux types d'usure : a) Usure en dépouille b) Fracture du bec d'outil .

**a) Usure en dépouille****Causes**

- Nuance d'outil est trop faible.
- Vitesse de coupe  $V_c$  est trop élevée.
- Angle de dépouille est trop petit.
- Taux d'alimentation (vitesse d'avance)  $V_f$  est extrêmement faible.

**Solutions**

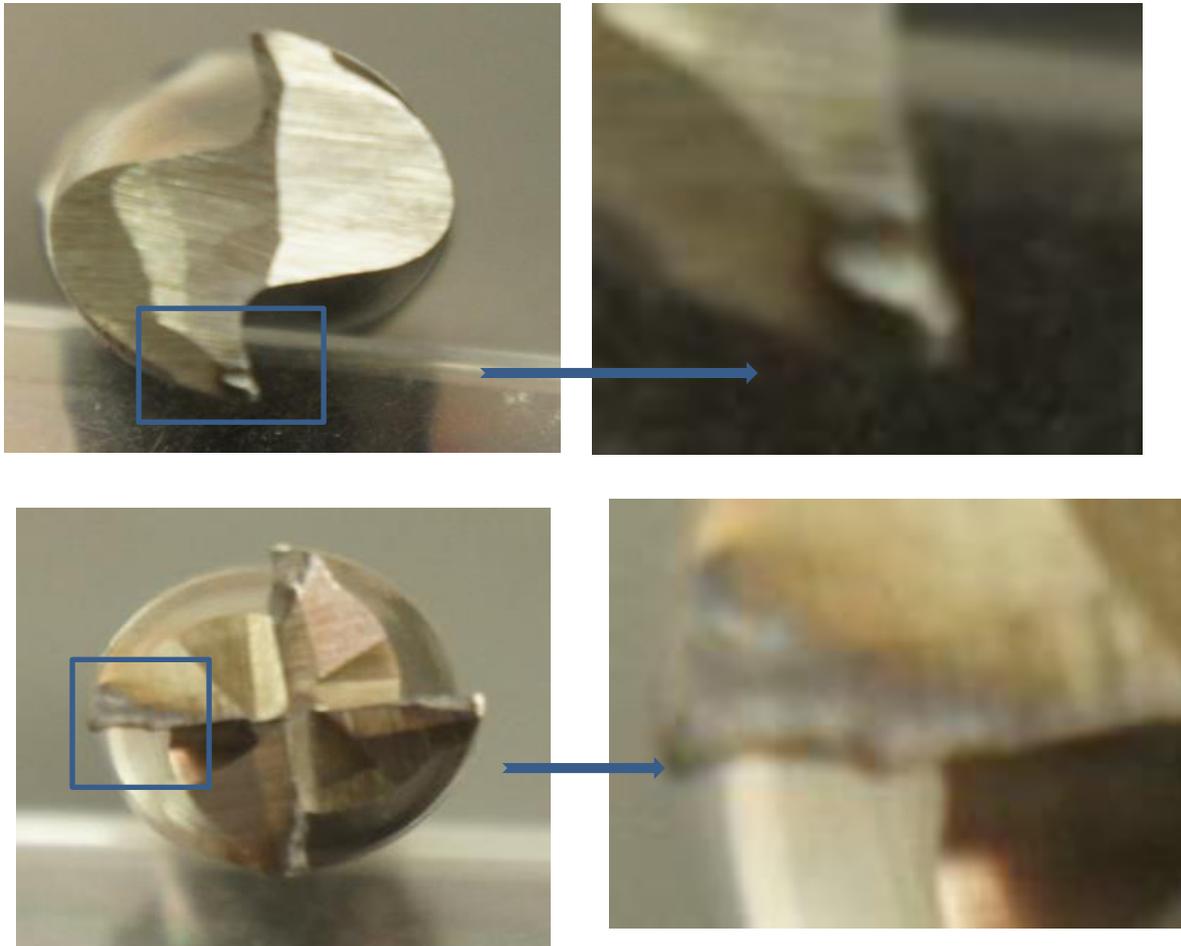
- Qualité d'outil avec une résistance élevée à l'usure (plaquette avec revêtement  $Al_2O_3$ ).
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.
- Augmenter l'angle de dépouille.
- Augmenter le taux d'alimentation  $V_f$ .

**b) Fracture du bec d'outil****Causes**

- Nuance d'outil est trop faible.
- Taux d'alimentation  $V_f$  est trop élevé.
- Manque de résistance des arêtes de coupe.

**Solutions**

- Outil à ténacité élevée.
- Taux d'alimentation  $V_f$  réduit.
- Augmenter la profondeur de passe pour absorber le choc.
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.

**Outil n °9**

**figure III.12** Processus d'usure par abrasion

On remarque dans ces outils de la figure III.12 que le type d'usure par abrasion.

L'usure par abrasion se caractérise par la formation de bandes striées dans la direction de contact avec la surface usinée de la pièce ou dans la direction du copeau qui glisse le long de la face de coupe. L'usure par abrasion apparaît donc à la fois sur la face de coupe et sur la face de dépouille des outils.

**Causes**

- Vitesse de coupe  $V_c$  est trop élevée.
- Température de coupe est élevée.
- Les frottements.

**Solutions**

- Usinage lubrifié.
- Vitesse de coupe  $V_c$  réduite.

## Conclusion Générale

L'usure des outils de coupe est l'un des points clés dans le domaine de la fabrication mécanique. Maîtriser ce phénomène permet de relever un enjeu économique très important quant aux coûts de rechange des plaquettes, les contraintes en termes de temps et essentiellement la réalisation de pièces avec des états de surfaces irréprochables et le pour le respect de la cotation dimensionnelle.

A travers ce thème traité nous avons enrichi nos connaissances sur l'usure de l'outil de usinage. Dans notre travail de recherche nous avons constaté que le phénomène d'usure le plus distingué est l'usure par fracture du bec d'outil

A partir de notre recherche nous avons conclu que l'usure influence largement l'état de Surface en effet une grande usure provoque une dégradation de l'état de surface exprimée par une grande rugosité.

D'après notre recherche, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Le temps d'usinage à une grande influence sur l'usure .
- L'effet de la vitesse de coupe et l'avance sur l'usure est important.
- L'usure et le temps d'usinage ont un grand impact sur les efforts de coupe.
- Les différents modèles proposés permettent de prédire l'usure, la durée de vie, les efforts de coupe et la rugosité en fonctions du temps d'usinage et les conditions de coupe.
- Lubrifiant en usinage a un grand rôle pour diminuer le frottement et l'usure.

Nous avons aussi donné des recommandations afin d'éviter ces problèmes tel que :

- Réduire la vitesse de coupe.
- Réduire le Taux d'alimentation  $V_f$  .
- Augmenter la profondeur de passe pour absorber le choc.
- Sélectionner une nuance plus résistante à l'usure.
- Utiliser les lubrifiants.



# Références Bibliographiques

- [1] Michel BARQUINS « La Tribologie La Science pour maîtriser et comprendre le frottement et l'usure » ESPCI - 10, rue Vauquelin - 75231 Paris Cedex 05 1994
- [2] Gautier LIST, Étude des mécanismes d'endommagement des outils carbure wc-co par la caractérisation de l'interface outil copeau application a l'usinage a sec de l'alliage d'aluminium Aéronautique AA2024 T351. Thèse de Mécanique et Matériaux, (décembre 2004) ,P156 paris.
- [3] P. CHRISTAN : « comportement de revêtements céramiques sur outil en tournage à sec finition », Ecole centrale de Lyon, 2003.
- [4] BOURDET « La coupe des métaux », polycopié CODEGEM , ENSET Cachan , 1977 , 143 pages
- [5] « Usure des outils » , Université de Lille 2017
- [6] Jean-Pierre CORDEBOIS et coll, « Fabrication Par Usinage », DUNOD, Paris 2003
- [7] DENIS GELIN, Michel Vincent, « Eléments de Fabrication », Les Editions Foucher, 1995.
- [8] . NCIRI Rached . « Etude de la coupe » institue des études supérieur technologique de Gafsa 2014
- [9] C. GRUESCU, F. DEFOURNE, P. QUAEGEBEUR et J. F. ANTOINE, Préparation de production en productique mécanique - étude de fabrication et analyse d'usinage (3PMEFAU), SEMM (Service Enseignement et Multimédia) / Université Lille1 – France, 2015.
- [10] Mayssa GUEDICHE , « MOdélisation et Simulation de l'Usure des Outils de Coupe au cours du processus d'enlèvement de matière : Approche expérimentale et numérique (MOSUOC) » , l'Ecole centrale de Lyon 2017

[11] H. Zaidi, "Influence du champ magnétique sur le comportement tribologique des contacts électrique cuivre/acier XC48," 1995.

[12] M. El Mansori, "Influence du champs magnétique sur le comportement tribologique des couples acier XC 48/(acier, cuivre et graphite)," 1997.

[13] A. Mekroud, "Influence du champ magnétique sur le comportement tribologique des couples métalliques glissant acier XC48/XC48," Université Mentouri Constantine, 2008.

[14] K. Kumagai, M. Takahashi, and O. Kamiya, "Wear behaviour in the presence of magnetic fields for pin-on-disc repeated dry wear tests," Tribol. Int., vol. 25, no. 2, pp. 91–98, 1992.

[15] Q.J.Wang and Y-W. Chung, editors. Encyclopedia of Tribology. Springer, 2013.

[16] Gérald ZAMBELLI, Léo Vincent, Matériaux et contacts, pressopolytechniques et universitaire romandes CH-1015 lausanne, 1998.

[17]. **S. Benlahmidi, H. Aouici**, Tournage, TP Production/ 2ème année GM&P, Ecole Nationale Supérieure de Technologie 2009

[18]. **M. Madani, R. Ghouini**, Amélioration des Paramètres Technologiques de Coupe en Tournage, Mémoire de Master Université, Kasdi Merbah de Ouargla, 2011.

[19]. Détermination Des Paramètres De Coupe, Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail-maroc-,

[20]. Swiss mechanic <http://www.swissindustries.com/yerly-mecanique> consulté en juin 2020

[21] CI 11 La coupe des matériaux : identification des paramètres « Géométrie de l'outil de coupe »

[22] BELLOUFI, Cours procédés de fabrication – Master / Maintenance industrielle , Université Kasdi MERBAH Ouargla – Algérie, 2010.

[23] R. MOHAMMAD, Etude de l'évolution des caractéristiques des plaquettes de coupe en tournage à sec. Mise en place de critères d'aide à la décision du changement de plaquette. Application au cas de l'ébauche de turbines de pompage, thèse doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier – Toulouse – France, 2011.

[24] M. NOUARI, Modélisation de l'usure par diffusion des outils de coupe en usinage à grande vitesse, Thèse de Doctorat de l'Université de Metz – France, 2000.

[25] Usinage par outil coupant , GN-3-PROFA, INSA Institute des sciences appliquées – Lyon – France, 2017.

[26] D. Dowson. History of Tribology. 2nd edition, 1998.

[27] Sophie EVE « INTRODUCTION A LA TRIBOLOGIE » 2018

[28] ACHOUR Ali « ETUDE DU COMPORTEMENT EN USURE DES OUTILS DE COUPE EN FONCTION DU REVETEMENT » N° d'ordre : 41/TE/2006

[29] J.-L. Battaglia, H. Elmooussami, L. Puigsegur, Modélisation du comportement thermique d'un outil de fraisage : approche par identification de système non entier, C. R. Mécanique Vol. 330 (2002), 857-864.

[30] GUIDE TECHNIQUE : KYOCERA <http://www.kyocera.fr> consulté en juin 2020

[31]. PRODUC31 – Usinage par outil coupant – 3GM\* V2014-2015

[32] A. Passeron, Tournage, technique de l'ingénieur BM 7 086-22.

[33] Fourment L., Oudin A., Massoni E., Mittès G., Le Calvez C. – Numerical simulation of tool wear in orthogonal cutting - First French and German Conference on High Speed Machining – p.38-48, Juin (1997).

[34] M. Nouari, Modélisation de l'usure par diffusion des outils de coupe en usinage à grande vitesse, Thèse de Doctorat de l'Université de Metz – France, 2000.

## **Résumé**

Le succès de la lutte contre l'usure d'un outil de coupe, dépend de la compréhension des phénomènes générant cette usure. Cette étude contribue à cet objectif. Le premier chapitre généralité sur l'usure des outils de coupes en usinage. Le deuxième chapitre a pour but de faire connaître la tribologie des outils de coupe. Le troisième chapitre consiste en l'étude expérimentale de l'usure, suivie d'une étude des cas des différents types d'outils et leurs modes et donné des recommandations afin d'éviter ces problèmes. On peut conclure que l'étude des problèmes de l'usure en mécanique permet de choisir les paramètres nécessaires afin d'avoir un usinage avec une usure minimale de l'outil de coupe.

**Mots-clés :** usure, outil, paramètres de coupe , plaquette .

## **Abstract**

The success of the fight against the wear of a cutting tool depends on understanding the phenomena that generate this wear. This study contributes to this objective. The first general chapter on the wear of cutting tools in machining. The second chapter aims to make known the tribology of cutting tools. The third chapter consists of the experimental study of wear, followed by a case study of the various types of tools and their modes and given recommendations to avoid these problems. It can be concluded that a study of the mechanical wear problems makes it possible to choose the necessary parameters in order to have a machining with minimal wear of the cutting tool.

**Key words:** wear, tool, cutting parameters, insert.