



خنشلة في : 18 أكتوبر 2021

مستخرج

من محضر المجلس العلمي للكلية رقم : 2021/ 07 ، بتاريخ : 07 أكتوبر 2021 .

يشهد رئيس المجلس العلمي للكلية و بناء على محضر المجلس العلمي المؤشر
أعلاه ، بخصوص طلب المصادقة على مطبوعة الدروس المنجزة من قبل الاستاذ :
سفيان تواتي / أستاذ محاضر ب قسم الهندسة الميكانيكية الموسومة ب :

« Coupe métaux 1 »

و اعتمادا على تقارير الخبرة الايجابية للمقررين :

- د . غيلاني لعلی / أستاذ محاضر - أ - جامعة خنشلة ،

- د . بلحي قريرة / أستاذ محاضر - أ - جامعة بسكرة .

مصادقة أعضاء المجلس العلمي بالإجماع على نشر المطبوعة و اعتمادها

كمرجع للدروس .

حررت الوثيقة بناء على طلب المعني لاستعمالها في حدود ما يسمح به القانون.

رئيس المجلس العلمي للكلية

الـ ذبيرة حمدة
رئيس المجلس العلمي
كلية العلوم والتكنولوجيا





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of higher education and scientific research

**UNIVERSITY ABBES LAGHROUR-KHANCHELA
THE FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**

Cours Pédagogique
COUPE DES METAUX 1

Dr. TOUATI SOFIANE

2021

Sommaire

PREFACE	1
CHAPITRE I: ANALYSE DE L'EVOLUTION DU COPEAU	
Introduction	3
I.2 La formation de copeau minimum	4
I.3 Zones de formation de Copeau	5
I.4 Forme micrographique du copeau:	6
I.4.1 Coupeaux continus	6
I.4.2 Copeaux discontinus	7
I.4.3 Copeau avec arête rapportée	7
I.5 Forme macrographique du copeau	8
Références Bibliographiques	9
CHAPITRE II : LES OUTILS DE COUPE PAR ENLEVEMENT DE MATIERE	
Introduction	17
II.2 Géométrie des outils de coupe	17
II.2.1 Les Parties des outils de coupe [3]	18
II.2.2 Les plans de la partie active de l'outil en main [4]	19
II.2.3 Les Angles de la partie active de l'outil en main [6]	22
II.3 Matériaux a outils	19
II.3.1 Les aciers rapides (ARS)	19
II.3.2 Les carbures métalliques	25
II.3.3 Les revêtus	26
II.3.4 Les céramiques	26
II.3.5 Le diamant	26
II.3.6 Nitrure de bore cubique (CBN)	27
II.4 Les valeurs optimales de vitesses de coupe et des avances	27
Références Bibliographiques	28
CHAPITRE III : USURE DES OUTILS DE COUPE	
Introduction	30
III.2 Phénomènes provoquant l'usure	30
III.3 Les Principaux modèles de calcul de durée de vie de l'outil de coupe	31
III.3.1 III.3.1 Loi de TAYLOR	31
III.3.2 III.3.2 Loi de GILBERT	32
III.3.3 III.3.3 Loi de KRONENBERG	32
III.3.4 III.3.4 Loi de KÖNIG-DEPIEREUX	33
III.4 Les Principaux Formes de l'usure	27

III.4.1	Usure en cratère	27
III.4.2	Usure en dépouille	27
III.4.3	III.4.3 Usure en entaille	28
III.4.4	III.4.4 Usure par ébréchure	28
III.4.5	III.4.5 Usure par déformation Plastique	28
III.4.6	III.4.6 Usure par fissuration en peigne	29
Références Bibliographiques		30
CHAPITRE VI : ACTIONS MECANQUES DE LA COUPE		
Introduction		38
IV.2	Calcules les efforts et les puissances de coupe	38
IV.2.1	Efforts et puissances de coupe cas tournage	38
IV.2.2	Efforts de coupe et puissances de coupe cas fraisage.....	40
IV.2.3	Efforts de coupe et puissances de coupe cas perçage	37
Références Bibliographiques		38
CHAPITRE V : CHOIX DES CONDITIONS DE COUPE		
Introduction		47
V.2	Paramètres de coupe	47
V.2.1	Vitesse de coupe V_c [m/min].....	47
V.2.2	La fréquence de rotation N [tour/min]	47
V.2.3	L'avance f ou f_z [mm/tour]	47
V.2.4	La profondeur de passe a [mm].....	48
V.2.5	La section du copeau	48
V.3	Choix des outils et des conditions de coupe.....	48
V.4	le choix d'un outil de coupe et ses conditions de coupe associées	49
V.4.1	Le Choix du système de fixation de la plaquette.....	49
V.4.2	Choix de la partie active de l'outil	50
V.4.3	Choix de la forme de la plaquette	51
V.4.4	Choix de la taille de la plaquette	52
V.4.5	Choix de la nuance de la plaquette.....	52
V.4.6	Sélections des conditions de coupe.....	52
V.4.7	V.4.7 Choix du rayon de bec d'outil	57
Références Bibliographiques		57

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES DU CHAPITRE I

Figure I.1 La formation du copeau.....	3
Figure I.2 les lignes de déformation.....	4
Figure I.3 Le copeau minimum.....	4
Figure I.4 Principales zones de formation du copeau	5
Figure I.5 Coupeaux continus ($V_c=100\text{m/min}$, $f=0,2\text{mm/tr}$).....	6
Figure I.6 Copeaux discontinus (1000m/min , $f=0,2\text{mm/tr}$)	7
Figure I.7 Copeau avec arête rapportée.....	7
Figure I.8 Formes macrographiques de copeaux classés	8

LISTE DES FIGURES DU CHAPITRE II

Figure II.1 Outil en main.....	12
Figure II.2 Outil en travail.....	12
Figure II.3 Les principales arêtes et surfaces d'un outil de tournage.. ..	13
Figure II.4 Plan de référence P_r et plan d'arête tranchante P_s	14
Figure II.5 plan de travail P_f	14
Figure II.6 plan orthogonal P_o	15
Figure II.7 Plans sur un outil en main [Norme NF E 66-502]	15
Figure II.8 Les angles de la partie active de l'outil en main	17
Figure II.9 Inclinaison de l'arête de coupe	18
Figure II.10 Les valeurs optimales de vitesses de coupe et des avances	21

LISTE DES FIGURES DU CHAPITRE III

Figure III.1 Evolution de l'usure pendant le temps d'usinage	24
Figure III.2 Détermination de l'usure en fonction de la température de coupe.	25
Figure III.3 L'usure en dépouille VB en fonction du temps de coupe.....	26
Figure III.4 Usure en cratère et ses critères.....	27

Figure III.5 Usure en dépouille et ses critères.....	28
Figure III.6 Usure en entaille et son critère.....	28
Figure III.7 Usure par ébréchure.....	28
Figure III.8 Usure par déformation Plastique.....	29
Figure III.9 Usure par fissuration en peigne.	29

LISTE DES FIGURES DU CHAPITRE IV

Figure IV.1 Efforts outil-pièce en tournage.	33
Figure IV.2 Les efforts de coupe en fraisage	35
Figure IV.3 Mode de fraisage : (a) fraisage centré, (b) fraisage décalé.....	36
Figure IV.4 Les Efforts exerçant sur une arête.	37
Figure IV.5 Mode de Perçage : (a) Perçage sans avant-trou, (b) Perçage avec avant-trou.....	39

LISTE DES FIGURES DU CHAPITRE V

Figure V.1 Les paramètres de coupe.....	42
Figure V.2 types de fixation de la plaquette.....	43
Figure V.3 Diagramme du choix du type de fixation.....	44
Figure V.4 Surfaces générées avec un outil de coupe.....	44
Figure V.5 Importance de l'angle de plongé.....	45
Figure V.6 Les formes de la plaquette.	45
Figure V.7 Tailles des plaquettes	46
Figure V.8 Surfaçage en bout, en roulant et fraisage combiné	49

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX DU CHAPITRE IV

Tableau IV.1 Valeurs approximatives de kc pour un outil en carbure ($\gamma = 6^\circ$).....	34
Tableau IV.2 Valeurs de K_c pour un outil en carbure ($\gamma = -6^\circ$).....	35
Tableau IV.3 (a)Valeurs h_m du fraisage centré, (b) Valeurs h_m du fraisage décalé.....	36
Tableau IV.4 Valeurs de K_c , un outil ($\gamma = +6^\circ$ pour le carbure, $\gamma = -6^\circ$ pour la fonte)	38

LISTE DES TABLEAUX DU CHAPITRE V

Tableau V.1 Chariotage avec outil en acier rapide des aciers non alliés et faiblement alliés et des fontes grise	47
Tableau V.2 Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés et faiblement alliés et des fontes grise.	48
Tableau V.3 Chariotage avec un outil en acier rapide des alliages légers et cuivreux	49
Tableau V.4 les conditions de coupe cas Fraisage.....	50
Tableau V.5 Les paramètres de perçage avec un foret en acier rapide	50
Tableau V.6 Tableau choix de rayon de bec d'outil travaux d'ébauche.....	51
Tableau V.7 Tableau choix de rayon de bec d'outil travaux de finition.....	51

PREFACE

Le phénomène de la coupe commence par le contact de l'outil de coupe et la pièce usinée, pour enlever la matière (coupeau). Toutes les opérations de l'usinage est commandé par une machine a outil, une bonne fixation de la pièce a usiné et le bon choix de l'outil de coupe. Notre but de faire un usinage correcte et efficace est de gagné le temps (faire un maximum de production a moins de temps), aussi réduire les couts au minimum possible, assurer la qualité de produit et le plus important gagné de l'argent. L'importance de la coupe des métaux dépend de plusieurs facteurs, commençant par l'outil de coupe (matériau et géométrie de la partie active), les paramètres de coupe optimale telle que vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe, aussi le matériau à usiner et le liquide de refroidissement. L'objectif de phénomène de la coupe est voir l'influence des conditions de coupe sur l'état de surface usinée (rugosité de surface, traitement de surface...), en travaillant avec des outils de différents matériaux tel que les aciers rapide, faiblement allié et fortement allié, aussi des outils en carbure, CBN, céramique.., et de différentes géométries. Des modes de calcul classique sont prises en considération pour calculer les efforts et les puissances de coupe pendant les opérations. [1]

L'enlèvement de matière se fait par plusieurs procédé, tel que le tournage, fraisage, la rectification et le perçage. Le tournage permet de fabriquer des pièces cylindriques ou coniques ; que se soit les opérations extérieur tel que le chariotage et dressage, aussi les opérations intérieur tel que dressage intérieur et l'alésage. Le fraisage permet de construire des pièces de forme plane ou en bout (coupe discontinue). Le perçage permet de réaliser des trous cylindriques débouchant ou borgnes et aussi des trous coniques (moins courante) dans les pièces qu'on va les fabriquer.

Ce document est destiné aux étudiants de master en Génie Mécanique et Productique, des notions de base indispensable pour mieux comprendre la théorie de la coupe. Notre objectif est de présenter aux étudiants les étapes de façonnage d'un métal ; tel que la formation de coupeau, l'outil de coupe (son usure et sa géométrie) et enfin calculer les efforts et les puissances de coupe.

Le travail est formé en cinq chapitres structuré comme suit : **Le premier Chapitre** donne des notions sur les zones d'élaborations de coupeau et la forme microscopique et macroscopique de ce dernier, **le deuxième Chapitre** présente les angles de coupe et leurs influences sur la coupe, les plans de la partie active de l'outil en main et les différents matériaux d'un outil de coupe. **Le troisième Chapitre** expose les Phénomènes qui provoquant l'usure, les modèles de calcule durée de vie de l'outil de coupe ; tel que la loi de Taylor et la loi de Gilbert, et aussi on va citer dans ce chapitre les Principaux Formes de l'usure ; come l'usure en caractère et l'usure en dépouille. **Le quatrième chapitre** a trait aux calculs des les efforts et les puissances de coupe pendant les opérations de tournage, fraisage et perçage a l'aide des modes de calcul classique. **Le cinquième Chapitre** concerne de définir les paramètres de coupe ; à savoir la vitesse de coupe, l'avance et la profondeur de passe, en suite bien choisir ces derniers en utilisant les tableaux normalisé pour chaque opération, aussi il faut choisir le système de fixation des plaquettes des outils de coupe, leurs tailles et leurs nuances.

CHAPITRE I: ANALYSE DE L'EVOLUTION DU COPEAU

Introduction

Pendant les opérations d'un usinage par enlèvement de matière, l'outil va pénétrer par une valeur de profondeur de passe avec son arrête dans la pièce usinée et arrache un copeau qui est grâce à son écoulement on peut voir des comportements mécaniques tel que ;

- l'accumulation de la matière et le frottement de copeau sur la face de coupe,
- la rupture dynamique du copeau en respectant le plan de cisaillement,
- la forme de l'écoulement du copeau ; d'une façon continu, discontinu ou avec arrête.

Grace aux éléments responsables dans les machines-outils qui assurent la trajectoire de l'outil de coupe (broche dans le cas de fraisage et perçage, le chariot de porte outil dans le cas de tournage) pour usiner une pièce mécanique, cette dernière va subir un frottement avec la face de dépouille et la face de coupe de l'outil de coupe, cette opération motive une augmentation de la température qu'elle peut conduire à la fusion du copeau et changement de leur forme. [2]

Plusieurs facteurs qui influent sur la forme du copeau et l'état des surfaces parmi les :

- la vitesse de coupe (V_c) ; a une influence importante sur la rugosité de surface, lors d'une valeur importante de V_c on obtient une meilleure rugosité et un copeau discontinu fragmenté.
- la profondeur de passe (a_p) ; une valeur importante a_p égal à l'accumulation de la matière sur la face de coupe, une augmentation de rugosité de surface.
- la vitesse d'avance (V_f) ; une faible valeur d'avance peut améliorer la rugosité de surface, et donner un copeau fragmenté
- la géométrie de l'outil et son rayon de bec, joue un rôle très important, plus le rayon de bec est grand la rugosité va diminuer
- la durée de vie de l'outil ; un facteur déterminant pour assurer une bonne qualité de surface.
- les matériaux de l'outil et de la pièce ; il faut bien choisir le matériau qui est compatible à la pièce usinée.
- la lubrification ; assurer le lubrifiant pour éviter la fusion du copeau.

Pour une meilleure productivité (meilleure rugosité de surface, rapidité de l'usinage, durée de vie de l'outil modérée), il faut faire un bon choix nécessite un bon des paramètres de coupe. Le **figure I.1** montre que l'épaisseur du copeau (e) est plus grande que la profondeur de pénétration a_p et que les fibres du copeau sont dans la même direction de coupe.

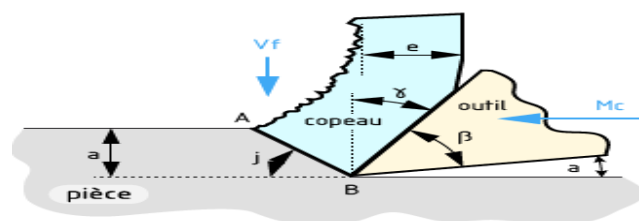


Figure I.1 La formation du copeau

Dans le même contexte, Le rapport entre l'épaisseur de copeau (e) et l'avance f est donné par la formule suivante

$$C = \frac{f}{e} \quad (I.1)$$

Les principales causes de la déformation élastique, plastique et rupture est due aux efforts commis par l'outil de coupe de la pièce usinée. **La figure I.2** montre les lignes de chaque déformation.

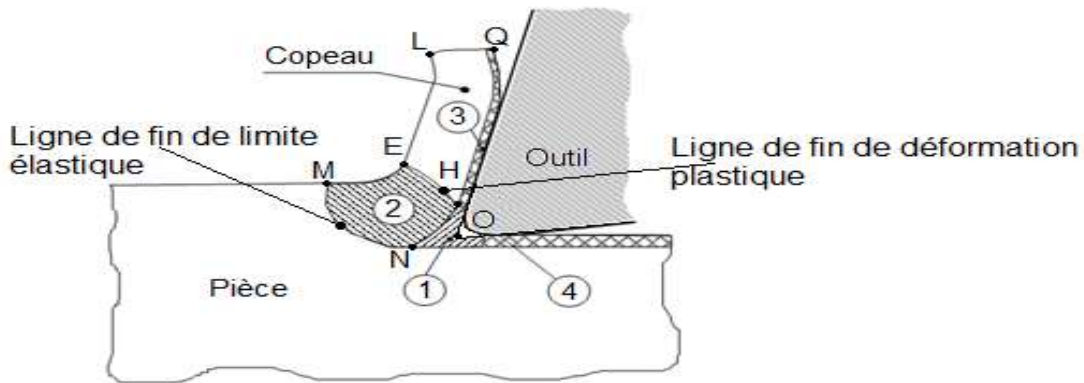


Figure I.2 les lignes de déformation [3]

I.2 La formation de copeau minimum

Si la profondeur de passe et/ou l'avance sont données par des très faibles valeurs, donc il n'y a de contact outil-pièce, aussi les efforts de coupe presque négligeable et l'état de surface usinée devient rugueux (**Figure I.3**).

Le choix des valeurs optimales des paramètres important pour n'importe quelle opération d'usinage (Les valeurs des paramètres de coupe sont données par le constructeur).

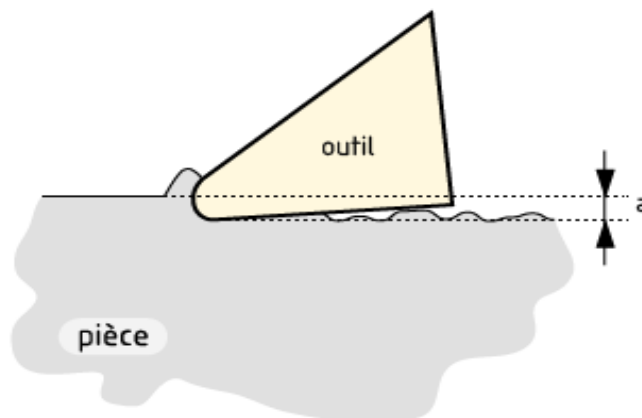


Figure I.3 Le copeau minimum [3].

I.3 Zones de formation de Copeau

La pénétration de l'outil de coupe dans la pièce usinée cause une déformation primaire s'appelle une déformation élastique, après va provoquer une déformation secondaire s'appelle une plastique, dans la phase final ou l'outil de coupe continue a pénétrer dans la pièce les contraintes augmente jusqu'à l'arrivé a des valeurs identique a la charge du rupture au niveau la couche cisailée , elles cause un glissement des couches suivant un l'angle de cisaillement ϕ . La formation de coupe se faite depuis ce mécanisme de glissement. Trois zones ont été observées pendent l'évolution du copeau (**Figure I.4**). [3], [4] :

- **La première Zone** : c'est la zone ou le métal va découper en deux par l'arête de coupe, elle contient aussi le premier point de l'écoulement de copeau sous pressions hydrostatiques assez élevé. Dans cette partie de coupe, on observe des valeurs de température très importante environ de 600°C .

- **La deuxième Zone** : c'est la zone ou la matière déforme élastiquement avec un échauffement important, et aussi c'est la partie de cisaillement primaire.

- **La troisième Zone** : c'est la zone ou le contact des deux interfaces de copeau et de l'outil de coupe (zone de cisaillement secondaire), dans cette partie une usure s'appelle l'usure en cratère se forme après un glissement des couches et le frottement outil-copeau. Un écrouissage se produit au niveau de la face intérieure du copeau. L'arête rapportée se forme après le contact copeau-outil de coupe à des niveaux vitesse de coupe très faible, lorsqu'on augmente cette dernière l'arête va disparaître.

- **La quatrième Zone** : c'est la zone ou le contact de la pièce usinée et la face de dépouille (zone de cisaillement tertiaire). Après la déformation élastique la matière usinée, une usure s'appelle usure en dépouille se forme de cette zone.

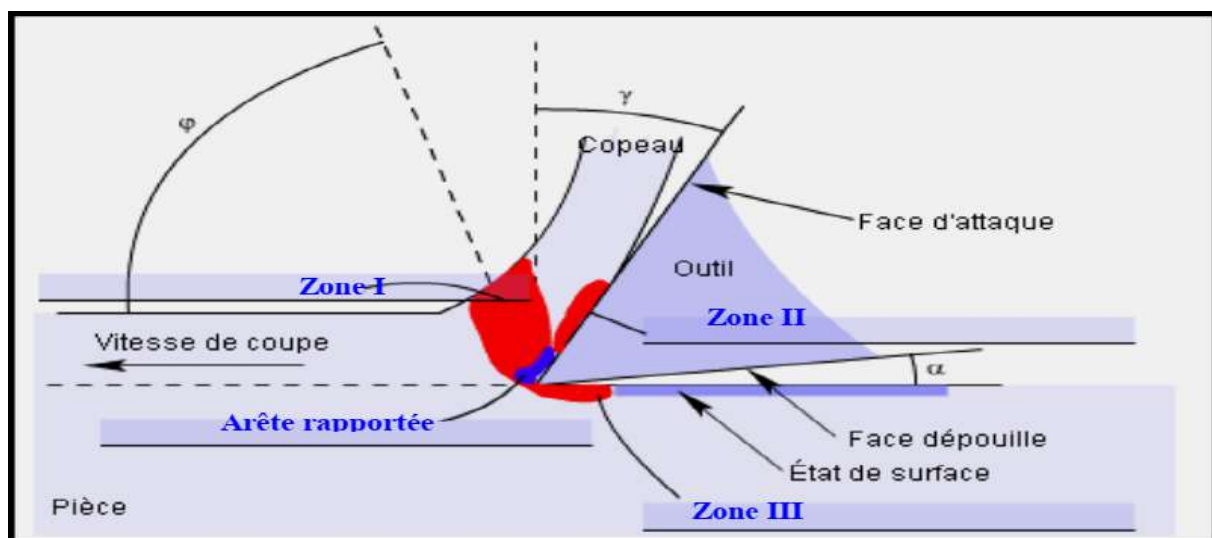


Figure I.4 Principales zones de formation du copeau [5]

I.4 Forme micrographique du copeau:

Lors d'un contact mécanique outil-pièce, et précisément contact entre la face de coupe et la pièce usinée qui provoque des efforts mécaniques, il forme un déchet de la matière s'appelle copeau. Parmi les facteurs qui influent sur la coupe des métaux ; les opérations mécaniques et la trajectoire de l'outil, aussi les angles de coupe qui sont des causes principales pour évaluer les formes de l'usure [6], [7].

Le meilleur copeau qui influe positivement sur la qualité de surface usinée est le copeau court fragmenté, qui facilite son évacuation. Pour obtenir un copeau fragmenté, il faut assurer la compatibilité entre le matériau de la pièce et l'outil (géométrie, matériau, forme) et les paramètres de coupe optimaux. Le constructeur d'outils doit fournir un catalogue pour les différents types d'outils, aussi choisir les valeurs des vitesses de coupe, l'avance et la profondeur de passe pour assurer la fragmentation du copeau. On peut classer les copeaux à l'échelle micrographique en trois catégories:

1. **Copeaux continus** : formés dans la zone primaire où la matière subit une déformation stationnaire plastique.
2. **Copeaux discontinus**: formés aussi dans la zone primaire, la pièce subit une déformation non stationnaire plastique. Le copeau segmenté ou discontinu cause une fissuration et une rupture au niveau de la matière.
3. **Copeau avec arête rapportée** l'arête rapportée formée au niveau de l'arête de coupe.

Plusieurs chercheurs ont été travaillés sur le phénomène de génération de copeaux [Trent 1991], [Poulachon 1999], [MSaoubi 1998]. Ces essais permettent de montrer clairement les racines du copeau au niveau de la pièce usinée, et les classer suivant leurs formes.

I.4.1 Copeaux continus

Le copeau continu se forme dans la zone primaire où la matière se déforme plastiquement, sans arrachement continu à écouler au niveau de la face de coupe de l'outil, en respectant la contrainte de cisaillement qui ne dépasse pas le premier contact de rupture de la matière. L'obtention d'un copeau continu se fait par de faibles valeurs des vitesses de coupe et de faible pénétration (**Figure I.5**). [8]

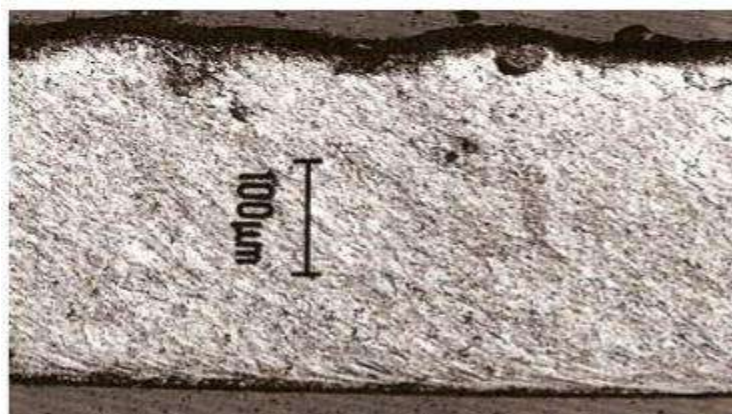


Figure I.5 Copeaux continus ($V_c=100\text{m/min}$, $f=0,2\text{mm/tr}$)

I.4.2 Copeaux discontinus

Le copeau discontinu se forme grâce à un déséquilibre dans la zone de cisaillement primaire, ce qui cause la rupture de la matière. On observe que pour les matériaux durs la rupture des matériaux va être fragile, par contre elle est ductile avec les matériaux moins dur mais avec des valeurs élevés des vitesses de coupe (**Figure I.6**). [8]

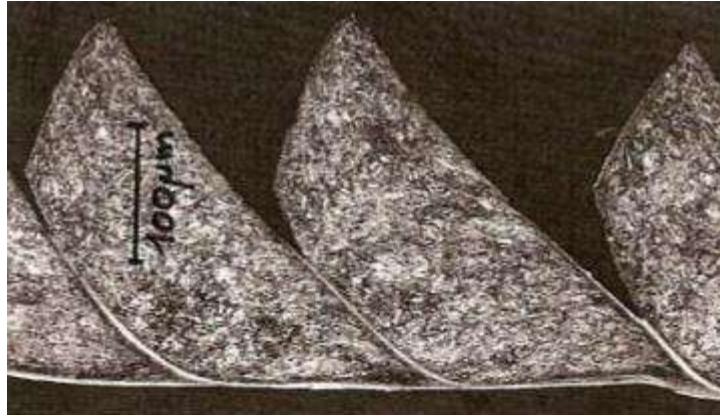


Figure I.6 Copeaux discontinus (1000m/min, f=0,2mm/tr)

I.4.3 Copeau avec arête rapportée

La formation de l'arête rapportée est un cas particulier dans la forme des copeaux au cours de l'usinage (**Figure I.7**). Le début de cette formation est au niveau la l'arête de coupe, les vitesses de glissement doit être proche de zéro et construit un petit tranchant et elle va changer le rôle essentielle de l'arête de coupe. La formation d'arête rapportée change a chaque fois la géométrie de l'outil de coupe, se qui cause le problème de la rugosité de surface usinée. [9]

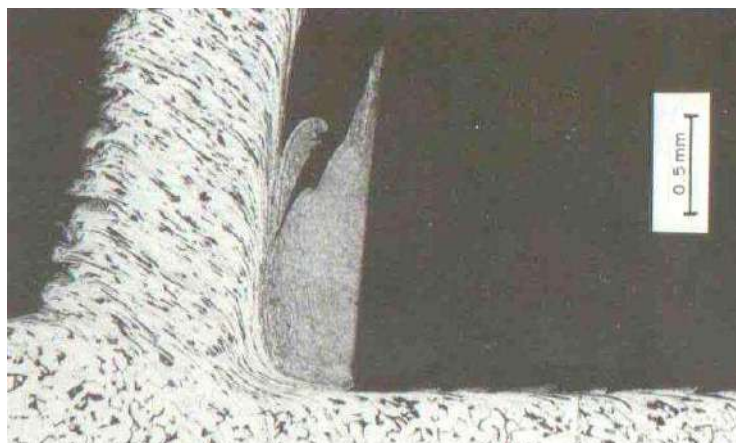

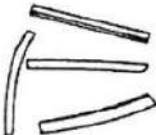

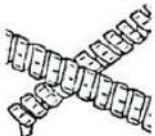




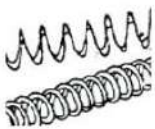











Figure I.7 Copeau avec arête rapportée [9].

I.5 Forme macrographique du copeau

Les principaux facteurs qui influent sur La formation de copeau selon l'échelle macrographique, sont les conditions de coupe et la combinaison matière-outil. La Figure I-8 montre les formes des copeaux à l'échelle macrographiques selon la norme NFE66505.

Types de copeaux	Formes		
1 : Copeau ruban	11 : Long 	12 : Court 	13 : Enchevêtré 
2 : Copeau tubulaire	21 : Long 	22 : Court 	23 : Enchevêtré 
3 : Copeau spirale	31 : Plat 	32 : Conique 	
4 : Copeau hélicoïdal en rondelle	41 : Long 	42 : Court 	43 : Enchevêtré 
5 : Copeau hélicoïdal conique	51 : Long 	52 : Court 	53 : Enchevêtré 
6 : Copeau élémentaire	61 : Enchevêtré 	62 : Détaché 	
7 : Copeau aiguille			
8 : Copeau en arc			

La Figure I-8 Formes macrographiques de copeaux classés [10].

Remarque

Les fabricants des pièces usinées préfèrent le copeau court et fragmenté, et cela pour faciliter son évacuation, aussi obtenir une matière non rayée, une bonne rugosité de surface et en fin obtenir un refroidissement de l'outil plus facile. Par contre il faut éviter les copeaux longs qui influent négativement sur la durée de vie de l'outil, cause l'échauffement excessif, aussi forme des arrêtes rapportées et responsables sur la rupture de l'arrête. Les inconvénients du copeau très fragmenté sont le mauvais état de surface et les vibrations de matière usinée [2].

Références Bibliographiques

1. **B.FNIDES**, étude expérimentale sur le comportement des outils de coupe en tournage des aciers pour travail à chaud, Université 08 Mai 1945 Guelma, Algérie, 2014.
2. **I.GRUESCU, F. DEFOURNE, P.QUAEGEBEUR et J.ANTOINE**, cours Préparation de Production en Productique Mécanique - Étude de Fabrication et Analyse d'Usinage, université de Lille, France, 2015.
3. **F. DARGNAT**, Modélisation semi-analytique par approche énergétique du procédé de perçage de matériaux monolithiques, Thèse de Doctorat en Mécanique, Université Bordeaux 1, France, 2006.
4. **M. CHERIF**, Modélisation générique des efforts de coupe en fraisage pour la CFAO et la surveillance de l'usinage, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes, France, 2003.
5. **G. POULACHON**, Aspects phénoménologiques, mécaniques et métallurgiques en tournage CBN des aciers durcis. Thèse de doctorat, ENSAM de Cluny, 1999.
6. **M.E.L.BENNEGADI**, cours Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, Algérie, 2018.
7. **P. CHRISTIAN**, Comportement de revêtement céramique sur outil en tournage à sec de finition, Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, 2003.
8. **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.
9. **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.
10. **P. DEPEYRE**, Fabrication mécanique, Licence de Technologie et Mécanique, Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, France, 2005.

CHAPITRE II : LES OUTILS DE COUPE PAR ENLEVEMENT DE MATIERE

Introduction

Lors l'usinage conventionnel, l'enlèvement de copeau résulte après le contact outils-matière, afin d'usiner des surfaces planes, de révolution,

Le copeau est l'interaction entre deux mouvements ; mouvement coupe rapide M_c et un mouvement d'avance lent M_f : qui sont les responsables sur l'effort de compression commis et le cisaillement respectivement.

On peut classer les outils de coupe suivant leur mode d'action en :

- Des outils coupants (outils pour tournage, fraisage et perçage...),
- Des outils à des grains d'abrasifs (les meules pour la rectification, etc....).

La structure de la surface usinée a l'aide d'un outil de coupe dépend sa partie attaque et de son mouvement. Parmi les facteurs qui influent d'une façon directe sur la forme voulue des pièces usinées est la géométrie de l'outil

Les outils qui peuvent être utilisés dans l'usinage conventionnel:

- à une seule dent (des outils de tournage ...),
- à plusieurs dents (des outils de fraisage, perçage ou se forme d'hélice (des outils de taraudage...)).

D'après la relation entre la forme de l'arête de coupe et le profil de la surface de matériau usinée, on distingue :

- les outils de forme : (ex. : rainure en té),
- les outils de génération : (ex. : outil de tournage). [1]

II.2 Géométrie des outils de coupe

La nature de matériau et les paramètres géométriques (les angles de coupe, rayon de bec,..) sont les principales caractéristiques d'un outil de coupe. Un bon choix de la géométrie d'un outil de coupe facilite la formation et l'écoulement de copeau, aussi grâce à une arête solide qu'elle peut facilement fragmenter les copeaux au niveau de longueur acceptable. [2]

La partie d'attaque ou active d'un outil de coupe contient des angles avec leurs dimensions normalisés, ils sont définis grâce à des plans (le croisement entre deux plans forme un angle de coupe). On peut classer le système d'outil comme suit:

- **Système de l'outil en main** destinée à la géométrie de l'outil de coupe pendant sa fabrication mais sans utilisation (**Figure II.1**)
- **Système de l'outil en travail** destinée à la géométrie de l'outil pendant son utilisation (**Figure II.2**).

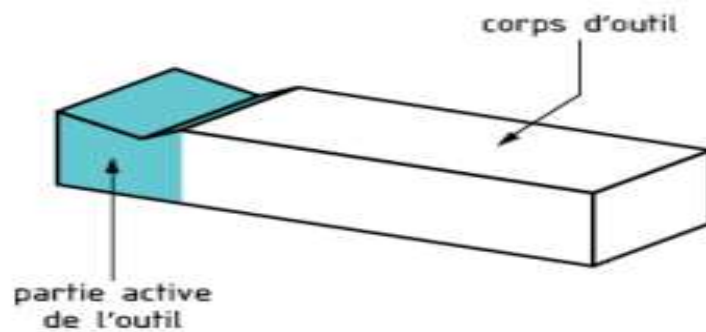


Figure II.1 Outil en main

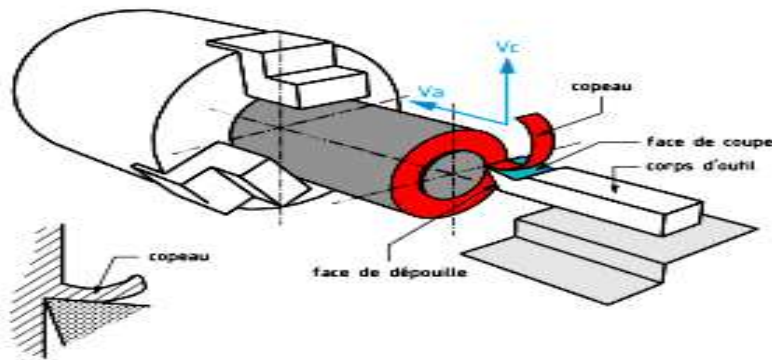


Figure II.2 Outil en travail

Un outil coupe se compose d'un **corps d'outil** et une **partie active**. L'arrête de la partie d'attaque a deux faces (**Figure II.3**) ; face de coupe A_δ et face dépouille A_α , ces deux faces passent par toutes les surfaces engendrées.

II.2.1 Les Parties des outils de coupe [3]

- **Corps** : c'est la partie ou se trouve la partie coupante taillées ou l'emplacement des plaquettes de coupe amovible.
- **Queue** : la Partie qui préserve l'outil de coupe.
- **Partie active** : la Partie d'attaque de l'outil sur la pièce usinée par ces faces ; tel que l'arrête tranchante, la face de coupe et la face de dépouille.
- **Face de coupe principale A_δ et secondaire A_δ'** : le long de cette face, le copeau va écouler.
- **Faces de dépouille principale A_α et secondaire A_α'** : c'est la Faces ou le contact entre une partie de l'outil de coupe et la pièce usinée.

- **L'Arête tranchante** : le premier point dans la face de coupe qui va enlever la matière.
- **Arête principale S** : c'est le croisement entre les deux faces principales de l'outil ; face de coupe et face de dépouille
- **Arête secondaire S'**: croisement entre les deux faces secondaire ; face de coupe et et face de dépouille.
- **Bec de l'outil r_ϵ** : cette partie de l'outil a une grande influence sur la qualité de surface usinée, qui situé après le croisement de l'arête principale et secondaire.

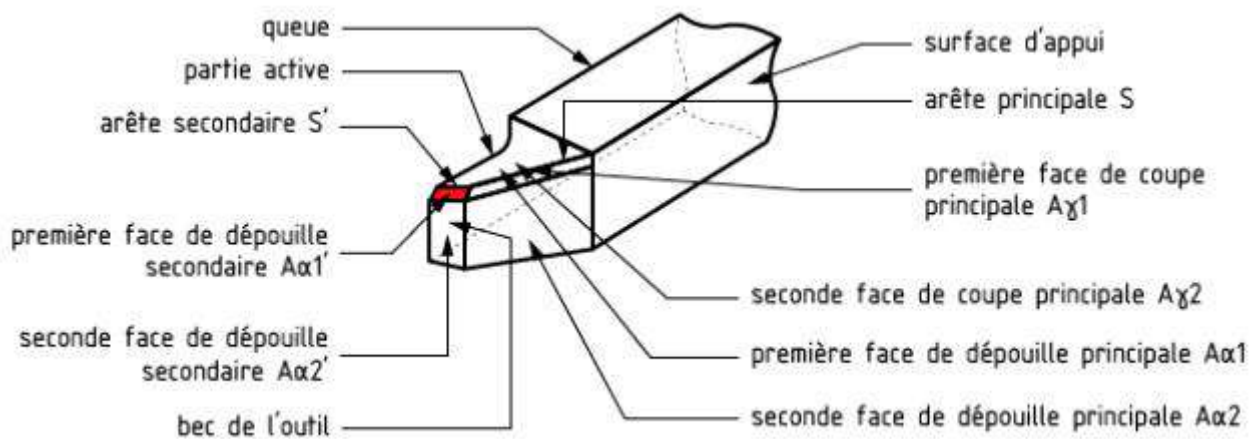


Figure II.3 Les principales arêtes et surfaces d'un outil de tournage.

II.2.2 Les plans de la partie active de l'outil en main [4]

- **Plan de référence P_r** : C'est le plan qui passe parallèlement par la surface d'appui d'un outil de coupe et aussi par l'arête tranchante (**Figure II.5**).
- **Plan d'arête P_s** : C'est un plan qui est perpendiculaire au premier P_r et tangent à l'arête tranchante (**Figure II.5**).

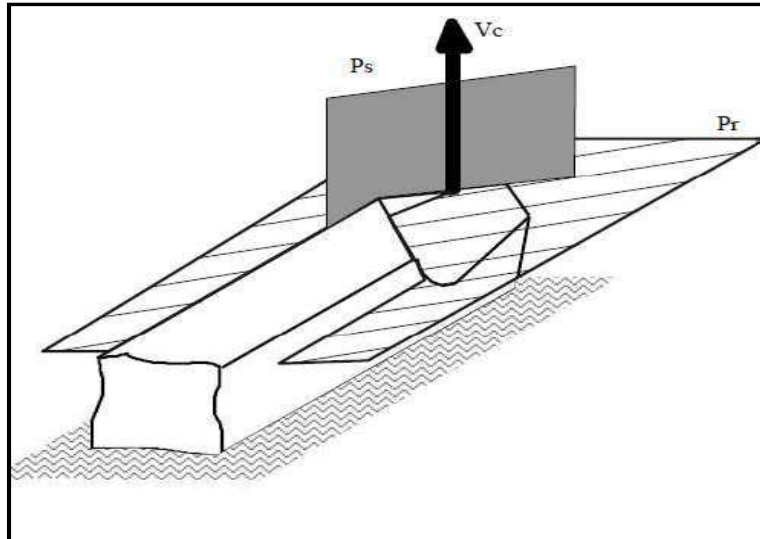


Figure II.4 Plan de référence P_r et plan d'arête tranchante P_s

Plan de travail P_f : C'est un plan qui passe par l'arête tranchante et perpendiculaire au premier plan P_r , et aussi parallèle à l'avance de l'outil (**Figure II.6**).

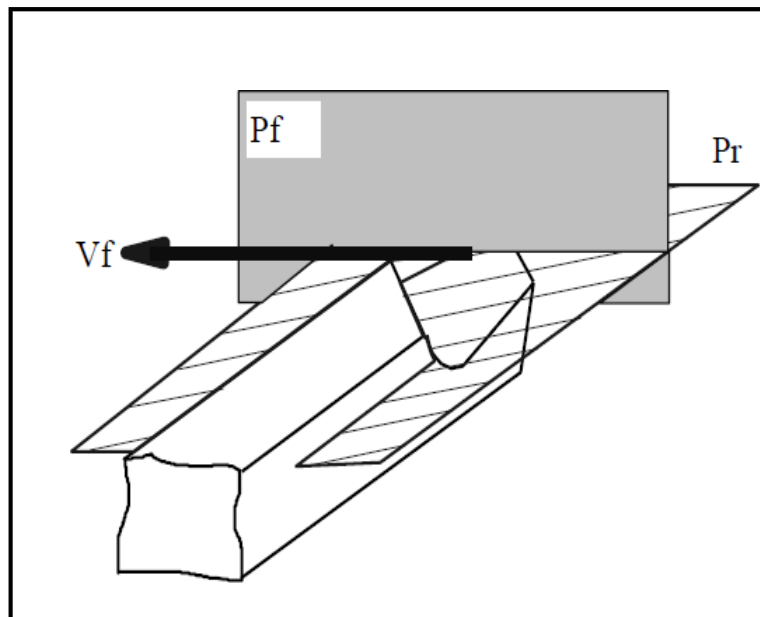


Figure II.5 plan de travail P_f

- **Plan orthogonal P_o** : C'est le plan qui passe par l'arête et perpendiculaire au deux plans ; le plan de référence P_r et le plan d'arête P_s (**Figure II.6**).

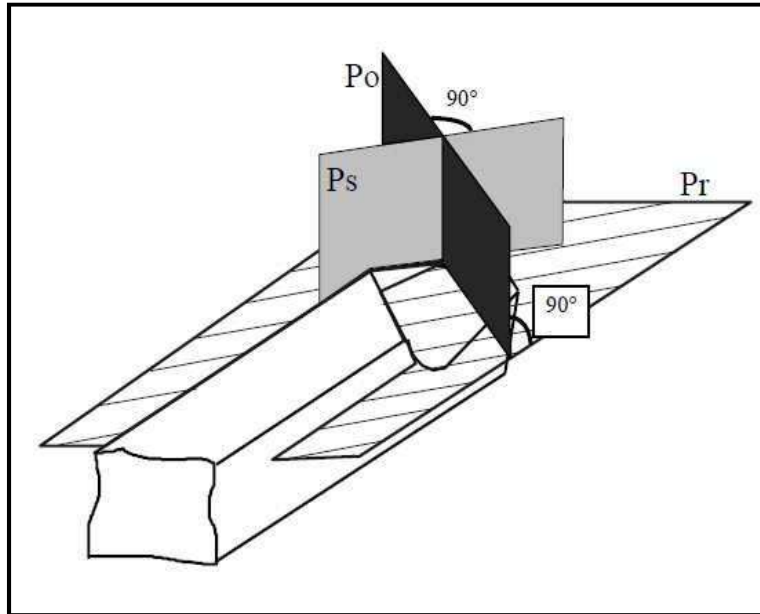


Figure II.6 Le Plan orthogonal

- **Plan normal P_n** : c'est le plan parallèle au plan orthogonal P_o et perpendiculaire au plan d'arête P_s (Figure II.7).

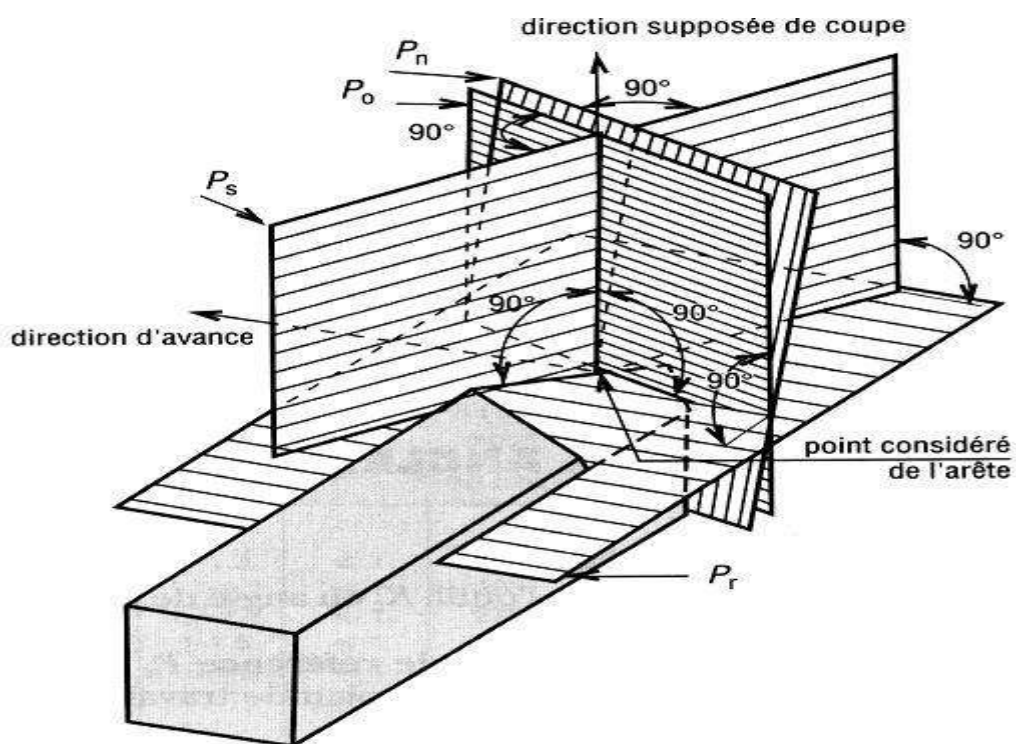


Figure II.7 Plans sur un outil en main [Norme NFE 66-502] [5]

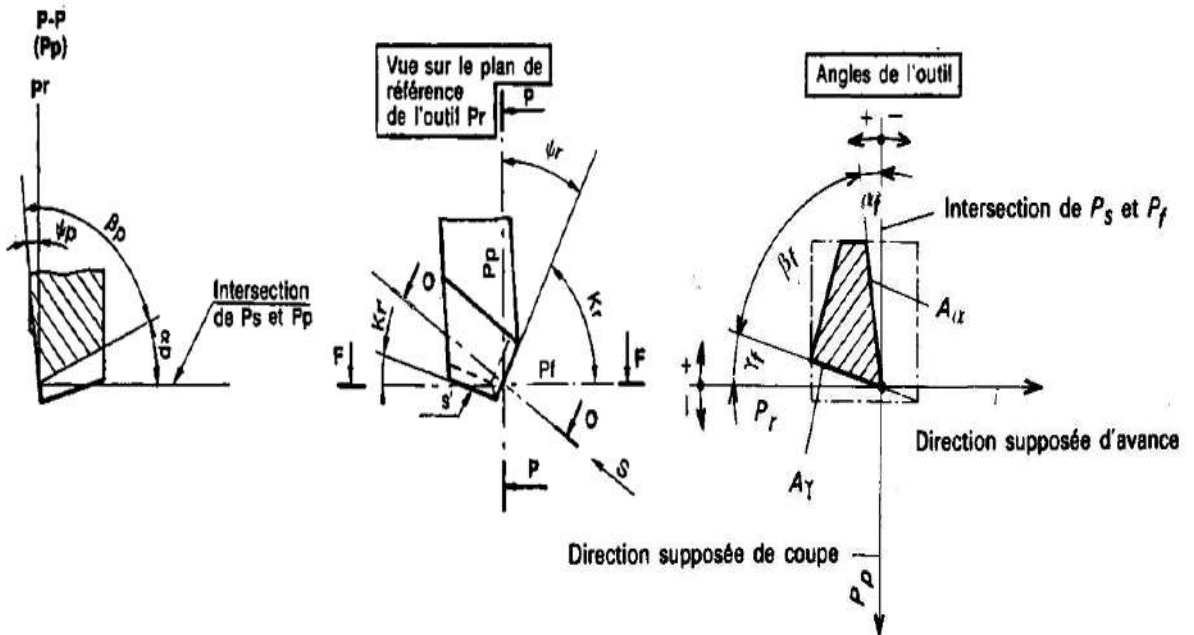
II.2.3 Les Angles de la partie active de l'outil en main [6]

II.2.3.1 Les angles d'arêtes (Figure II.8)

- **Angle de direction d'arête K_r** : c'est un angle situé au niveau de plan de référence P_r , entre les deux plans ; le plan d'arête P_s et le plan de travail P_f .
- **Angle d'inclinaison d'arête λ_s** : c'est un angle mesuré après le croisement entre les deux plans ; le plans d'arête P_s et le plan de référence P_r .
- **Angle de direction complémentaire ψ_r** : c'est un angle situé au niveau de plan de référence P_r , équivalent de $\psi_r + K_r = \pi/2$ (II.1)
- **Angle de pointe ϵ_r** : c'est angle localisé dans le plan de référence P_r , entre les deux arête ; principale et secondaire l'arête .

II.2.3.2 Les angles orthogonaux des faces

- **Angle orthogonal de dépouille α_o** : c'est un angle repéré dans au niveau de plan orthogonal P_o , entre le plans de d'arête P_s et la face de dépouille A_α .
- **Angle orthogonal de coupe γ_o** : c'est un angle placé dans le plan orthogonal P_o , entre le plan de référence P_r et la face de coupe A_γ .
- **Angle orthogonal de taillant β_o** : c'est un Angle localisé au niveau dans plan orthogonal P_o cela pour : $\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = \pi/2$. (II.2)



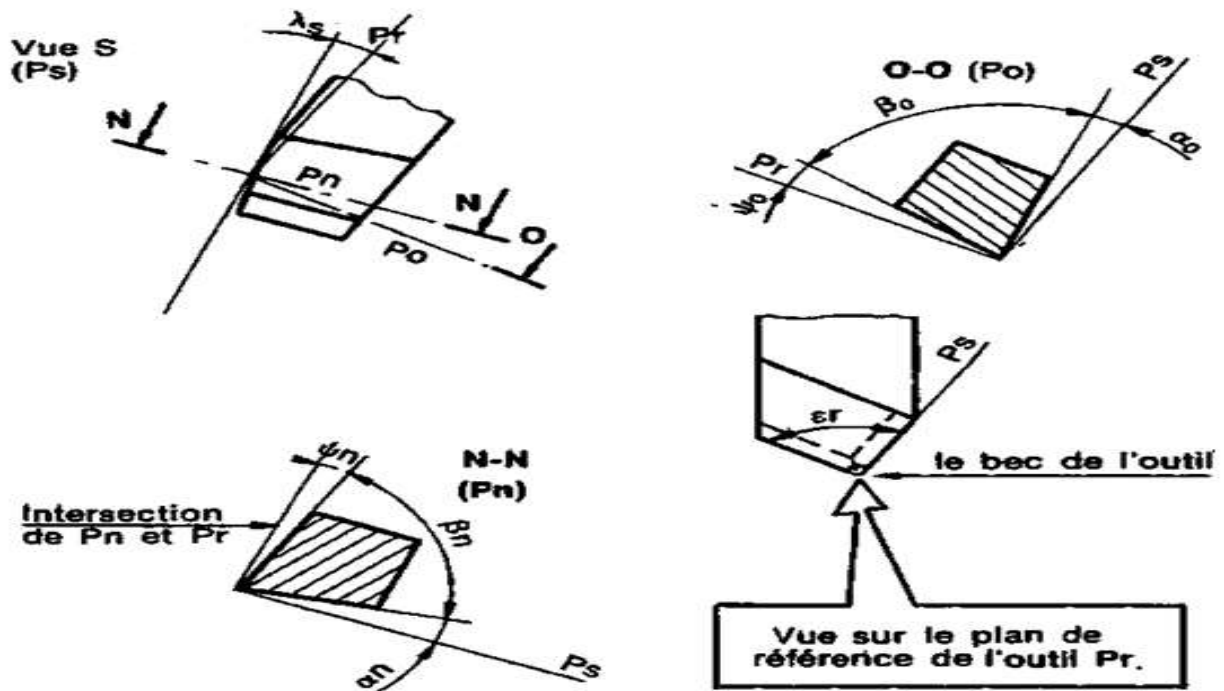


Figure II.8 Les angles de la partie active de l'outil en main [6]

II.2.3.3 Influence de la géométrie de l'outil Sur la coupe [7]

❖ Influence de l'angle K_r

On peut abréger l'impact l'angle K_r sur l'état de surface usinée comme suit,

- Lorsque l'angle $K_r < 90^\circ$ le rapprochement entre l'arête tranchante et la pièce usinée est progressif.
- Lors des très faible valeurs de l'angle K_r , la longueur la fréquentation entre la pièce usinée et l'arête va grandir, ce qui cause des valeurs des efforts de coupe assez élevée.
- Une influence importante de l'angle K_r sur évacuation des copeaux.

❖ Influence de l'angle λ_s

L'inclinaison de l'angle λ_s (Figure II.9) repose sur de le type d'opération à effectuer : si un travail d'ébauche ou finition.

- $\lambda_s < 0$ destiné au travail d'ébauche. Une valeur négative de l'angle λ_s garanti une grande résistance de l'arête de coupe, aussi facilite l'écoulement d'un copeau fragmenté.
- $\lambda_s > 0$ destiné au travail de finition. Une valeur positive de l'angle λ_s permet de produit des faibles fragments d'un copeau minimum.

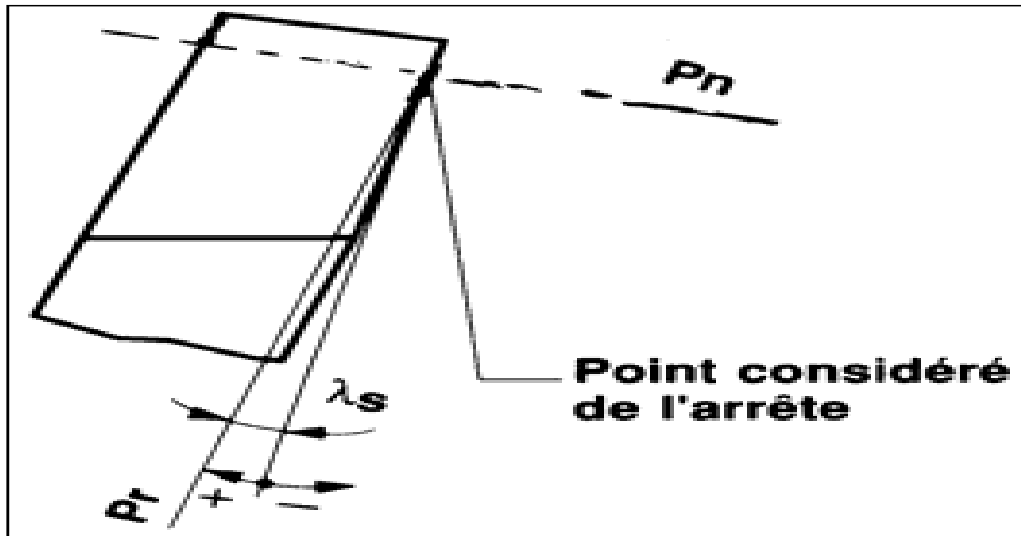


Figure II.9 Inclinaison de l'arête de coupe [3]

❖ **Influence de l'angle α_o**

L'angle de dépouille α_o a une influence majeure sur la qualité de surface, c'est pour cela il faut bien choisir :

- Pour des valeurs importantes de l'angle α_o , l'arête tranchante de coupe devient trop fragile ce qui provoque des efforts élevés de coupe .
- Pour des valeurs minimales de l'angle α_o , le risque de contact entre la face de dépouille et la matière usinée augmente, ce qui influe négativement sur l'état de surface.

❖ **Influence de l'angle γ_o**

- Pour des grandes valeurs de l'angle γ_o , l'arête de coupe devient fragile, donc le copeau devient continu.
- Pour des faibles valeurs de l'angle γ_o , l'accumulation de copeau sur la face de coupe cause des frottements ce qui résulte en un échauffement excessif.
- Pour des valeurs de l'angle $\gamma_o < 0$, ce qui facilite la brise-copeau et donne une meilleure tenue aux efforts de coupe. (on travaille avec des valeurs négatives de l'angle de coupe γ_o pour les outils de coupe en carbure et céramique).

❖ **Influence du rayon du bec ϵ_r**

Le choix de l'angle ϵ_r dépend du profil usiné, il a une grande influence sur la rugosité de surface usinée ; l'augmentation des valeurs de cet angle avec la diminution des valeurs des avances donne de meilleures valeurs de rugosité. La diminution des valeurs de ϵ_r influe négativement sur l'état de surface.

II.3 Matériaux a outils

Pour un meilleur usinage par enlèvement de matière de la pièce, l'outil de coupe doit respecter certaines exigences :

- Pour que l'outil de coupe pouvoir approfondir dans la pièce a usinée, il faut que les deux faces face de coupe et face de dépouilleremportent une dureté élevée.
- Pour que l'outil de coupe supporte l'usure en cratère dans la face de coupe et l'usure en dépouille dans la face de dépouille, il doit recueillir une résistance à l'abrasion.
- L'outil de coupe doit résister a des températures élevées allant jusqu'à 1000°C (dans les traitements thermiques). L'augmentation de la température donne une dureté élevé de matériau et améliore son usure.
- L'outil de coupe doit subir des résistances mécaniques important, pour qu'il puisse supporter efforts de coupe.
- Un Bon état de surface des deux faces de l'outil : face de coupe et de dépouille, assure une bonne rugosité de surface de la matière usinée ($Ra \leq 1,6 \mu m$). [3]

II.3.1 Les aciers rapides (ARS)

Ce type d'acier (fortement alliés) acquiert un traitement thermique spécial, qui se compose d'une trempe à l'huile ou à l'air d'une température allant jusqu'à 1350°C (proche de la température de fusion) a soutenu par un revenu d'une température de 600°C. Le composant chimique carbone dans les aciers rapides est à 0.7%.le reste des composants sont, le molybdène (D), le tungstène (W), le vanadium (V) et le cobalt Les éléments d'addition sont, le tungstène (W), le molybdène (D), le vanadium (V), le chrome (C) et aussi le Cobalt (Co) qui est le responsable sur l'augmentation de la dureté a chaud. [3]

II.3.2 Les carbures métalliques

Les outils en carbure métallique sont obtenus par un mélange de matières agglomérés de carbures variés (70% à 90% de la matière) et de cobalt(Co) qui se faire par le frittage .plusieurs types de carbures utilisé dans la fabrication des outils, tel que les carbures de tantale (TaC), les carbures de Niobium (NbC), les carbures de tungstène (WC) et les carbures de Titane (TiC). Les carbure métallique est un matériau très résistant à l'usure, grâce a leur dureté élevé qui est même proche de dureté de diamant, aussi capable de l'utiliser avec des grandes vitesses de coupe et des valeurs élevés de profondeur de passe, par contre cette matière est fragile et délicat aux changements des températures. Actuellement les paquettes de carbures métallique sont le plus utilisé dans l'usina moderne et avec différents géométries. [8]

II.3.3 Les revêtus

Le revêtement des outils de coupe que se soit en aciers rapides ou en carbures métalliques, est une épaisseur de 4 à 10 microns de couches d'alliage ;

- Alliage Carbure de titane (TiC) d'une dureté d'environ 3900 HV.
- Alliage d'Oxyde d'aluminium (Al_2O_3) d'une dureté près 2400 HV.
- Alliage de Nitrure de Titane (TiN) d'une dureté entour 2000 HV.

Les principaux avantages des revêtements, ce qui donnent une grande dureté, une résistance assez importantes a l'usure, améliorent la durée de vie d'un outil coupe, aussi facilitent l'écoulement du copeau sur l'outil qui assure l'évacuation de la chaleur. [8]

II.3.4 Les céramiques

La céramique est un alliage d d'oxydes d'aluminium et de chrome avec une grande dureté. Parmi les avantages de ce matériau de coupe ; qu'on peut l'utilisé avec des grandes valeurs des vitesses de coupe, aussi maintenir leur qualité même avec des températures élevés allant vers $1200^{\circ}C$, par contre il est fragile et leur résistance au choc est très faible. [10]

On distingue deux types de la céramique :

- **La céramique pure** ; alliage d'oxyde d'aluminium et des additifs, la formation des plaquettes de cet alliage se faite a partir de d'une première étape appeler pastillage (pressage à froid) suivi par un frittage.
- **Le céramique mixte** alliage de 70 % d'oxyde d'aluminium plus 30% de carbure de titane, l'élaboration des plaquettes de cette composition se réalise par frittage sous pression.

II.3.5 Le diamant

L'élaboration des plaquettes diamant polycristallin se réalise par le frittage. Cette matière a une dureté très élevés et être capable d'usiné des pièces très dur (plus de 55HRC), par contre elle est trop cher. Ce matériau d'un part à une résistance d'usure plus que les autres matériaux de coupe, et d'autre part il ne peut pas tolérer des températures supérieur à $850^{\circ}C$. [10]

L'élaboration diamant polycristallin est comme suit:

La première étape c'est qu'en place la matière première de diamant (poudre) dans un moule de la forme souhaité, en suite charger ce moule au niveau d'une presse d'une pression très élevé avec un échauffement allant jusqu'à $2100^{\circ}C$, et enfin une opération de refroidissement sous pression de la matière.

II.3.6 Nitrure de bore cubique (CBN)

Le nitrure de bore cubique mené d'une dureté équivalente à celle de diamant polycristallin, aussi il peut garder ses caractéristiques mécaniques à des valeurs importantes de températures. Ce matériau est composé d'environ de 50% à 90% de nitrure de bore cubique, le reste c'est du céramique. Grâce à sa grande dureté, cette matière peut se maintenir à chaud avec des valeurs de températures allant jusqu'à 1 000 °C, c'est pour cela on est capable d'usiner des pièces durs avec des grandes valeurs de vitesses de coupe. [11]

II.4 Les valeurs optimales de vitesses de coupe et des avances

Des intervalles des paramètres de coupe ; principalement les vitesses de coupe et les avances par tour ont été placés pour chaque matériau d'outil de coupe, on respectant la nature de la matière et aussi sa géométrie et sa forme. L'importance de choix des paramètres optimales, assure une bonne rugosité de surface et aussi forte résistance à l'usure. (Figure II.10).

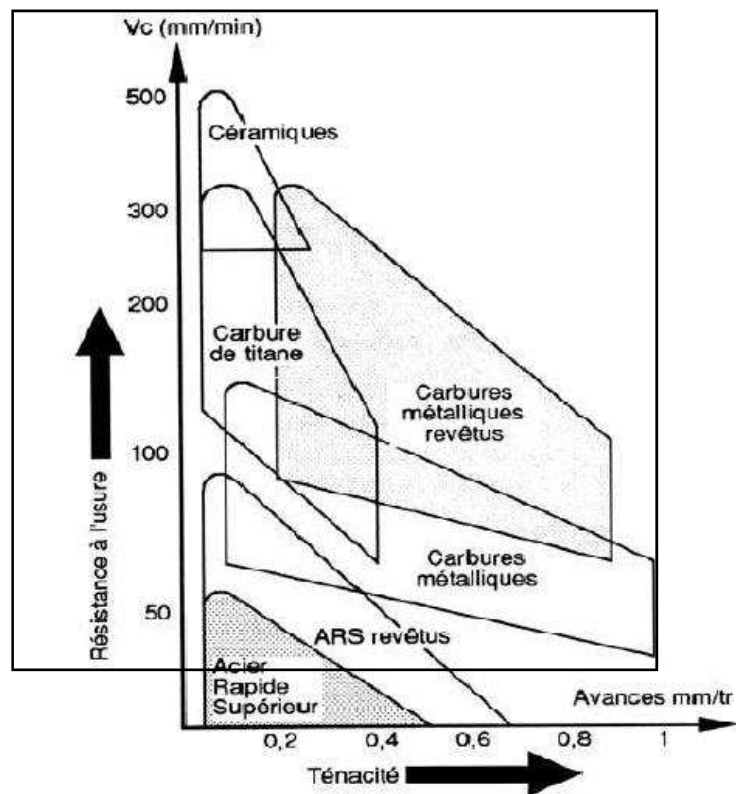


Figure II.10 Les valeurs optimales de vitesses de coupe et des avances [12]

Références Bibliographiques

1. **I.GRUESCU, F. DEFOURNE, P.QUAEGEBEUR et J.ANTOINE**, cours Préparation de Production en Productique Mécanique - Étude de Fabrication et Analyse d'Usinage, université de Lille, France, 2015.
2. **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.
3. **N.RACHED**, cours étude de la coupe, institut supérieur des études technologiques de GAFSA, Tunisie, 2014.
4. **P. DEPEYRE**, Fabrication mécanique, Licence de Technologie et Mécanique, Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, France, 2005.
5. **M. HABAK**, Etude de l'influence de la microstructure et des Paramètres de coupe sur le comportement en Tournage dur de l'acier a roulement 100Cr6, Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure d' Arts et Métiers / Paris 6 – France, 2006.
6. Formation Professionnelle en Afrique: Technologie Générale pour Construction Métallique - Tome 3, 2012.
7. **I.GRUESCU, F. DEFOURNE, P.QUAEGEBEUR et J.ANTOINE**, cours Préparation de Production en Productique Mécanique - Étude de Fabrication et Analyse d'Usinage, université de Lille, France, 2015
8. **J. L. BATTAGLIA, H. ELMOUSSAMI et 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.
9. **P. POLLET**, Usinabilité en fraisage d'un acier 42CrMo4 traité calcium, mémoire de PFE, (2000), ENSAM de Metz.
10. **A. SEBHI**, Etude tribologique des outils de coupe et aciers, thèse de doctorat de l'Université Ferhat Abbès – Sétif – Algérie, 2013.
11. **S. Bensaada**, Coupe des métaux, Université Mohamed Khider – Biskra –Algérie.
12. **A. MOUFI, A. DEVILLEZ, D. DUDZINSKI, and A. MOLINARI**. Thermomecaical modeling of cutting and experimental validation. In Kluwer Academic Publishers, editor, Metal Cutting and High Speed Machining, pages pp. 51–67, 2002.

CHAPITRE III : USURE DES OUTILS DE COUPE

Introduction

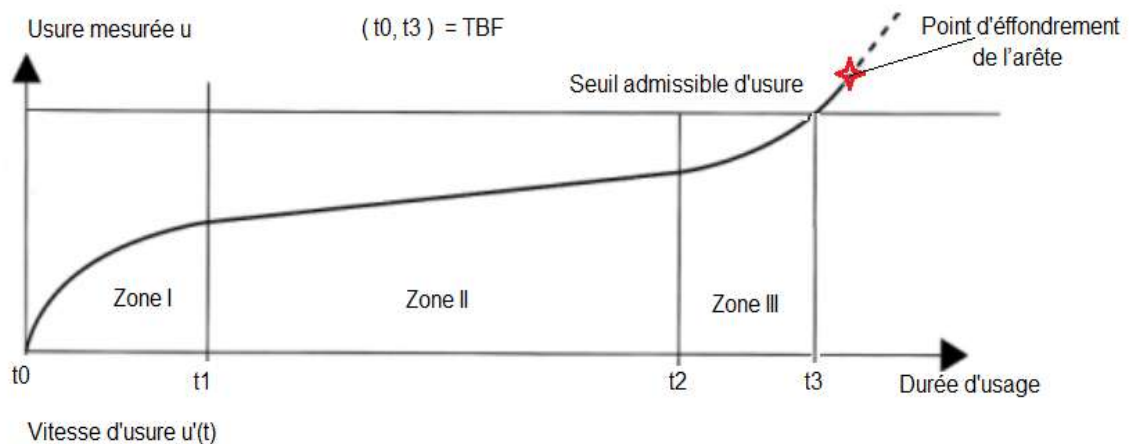
Le contact des surfaces de l'outil de coupe, la pièce usinée et le copeau, transmis le métal avec la présence des actions mécaniques (frottement) et thermique (haute température dans le point de contact) pendant la coupe, ce phénomène appelle l'usure. Selon l'effet de l'usure sur la qualité de surface usinée, On la peut classer comme suit :

- **Une usure par une réaction mécanique** : on prend l'exemple de l'usure abrasive, usure par fatigue l'usure par fatigue.
- **Usure par une réaction physico-chimique** : on donne l'exemple de l'usure corrosive et l'usure par diffusion. [1]

Pendant phase de coupe, la transformation de l'usure en fonction du temps au cours d'un effort exercé par l'outil de coupe résulte trois zones d'évolutions ;

- **La première Zone** : (le temps T_0 jusqu'à T_1) étape de mise a jour de l'arête tranchante avec paramètres de coupe, se résulte une usure rapide.
- **La deuxième Zone** : (le temps T_1 jusqu'à T_2) une étape ou l'usure prend des valeurs presque stable d'usure sous forme d'un progression linéaire.
- **La troisième Zone** : (le temps T_2 jusqu'à T_3) étape ou l'usure prend une ligne de progression rapide , ce qui cause un endommagement de l'arête.

La figure III.1 montre usure les différents zones de progression d'usure de l'outil pendant le temps d'usinage.



La figure III.1 Evolution de l'usure pendant le temps d'usinage. [2]

III.2 Phénomènes provoquant l'usure

Le contact entre deux matériaux cause une usure physico-chimique et mécanique, elle a une liaison directe avec la température de coupe, c'est pour cela le chercheur König divise ce phénomène comme suit : [3]

❖ sure par abrasion mécanique

La formation de l'usure par abrasion mécanique construites dans les parties ; outil de coupe-matière et outil de coupe-copeau, qui subit des frottements eux (figure III.1).

❖ Usure par déformation plastique

La formation de l'usure par déformation plastique structurée après des efforts de coupes importantes commises avec la progression de la température du bec d'outil, ce qui cause un endommagement au niveau de l'arête de coupe.

❖ Usure par fissuration

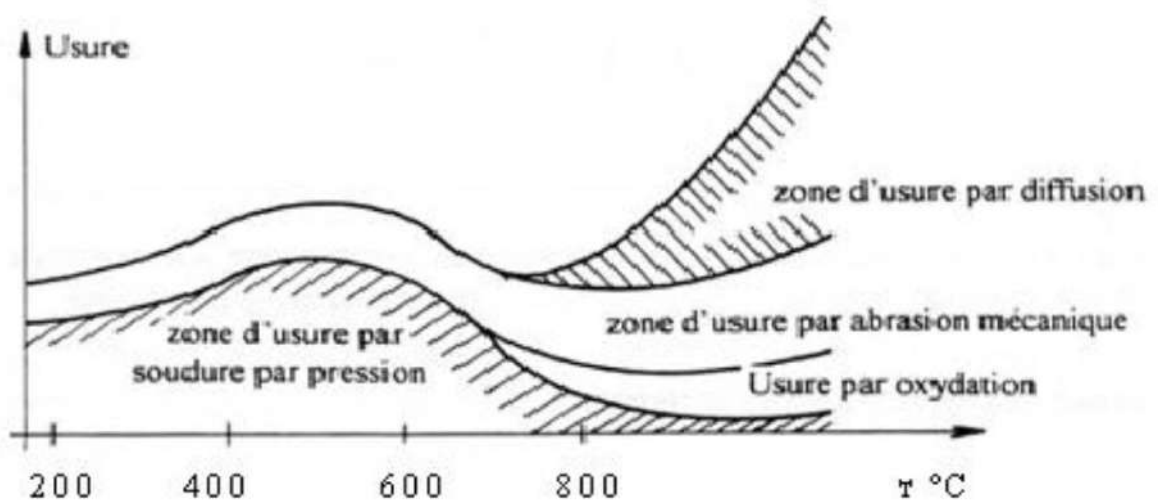
La création d'usure par fissuration construites après un choc au cours de d'usinage (coupe discontinue), ce qui résulte une fragilité au niveau l'arrête de coupe.

❖ Usure par diffusion

La formation d'usure par diffusion due à l'augmentation de la température pendant les opérations de coupe avec des valeurs de vitesses très élevés.

❖ Usure par corrosion

Le frottement entre deux matériaux composant l'outil de coupe et la pièce usinée avec la présence spécialement de liquide de lubrifiant, résulte la création de l'usure par corrosion.



La figure III.2 Détermination de l'usure en fonction de la température de coupe [4]

III.3 Les Principaux modèles de calcul de durée de vie de l'outil de coupe

Le calcul de la durée de vie de l'outil de coupe est un problème compliqué, c'est pour cela plusieurs chercheurs ont créé des lois mathématiques telles que ; [5]

III.3.1 Loi de TAYLOR

Un modèle qui a été créé par le chercheur TAYLOR en 1906 est défini en fonction de la vitesse de coupe, l'exposant n (appelé coefficient de Taylor) qui dépend du matériau de l'outil de type

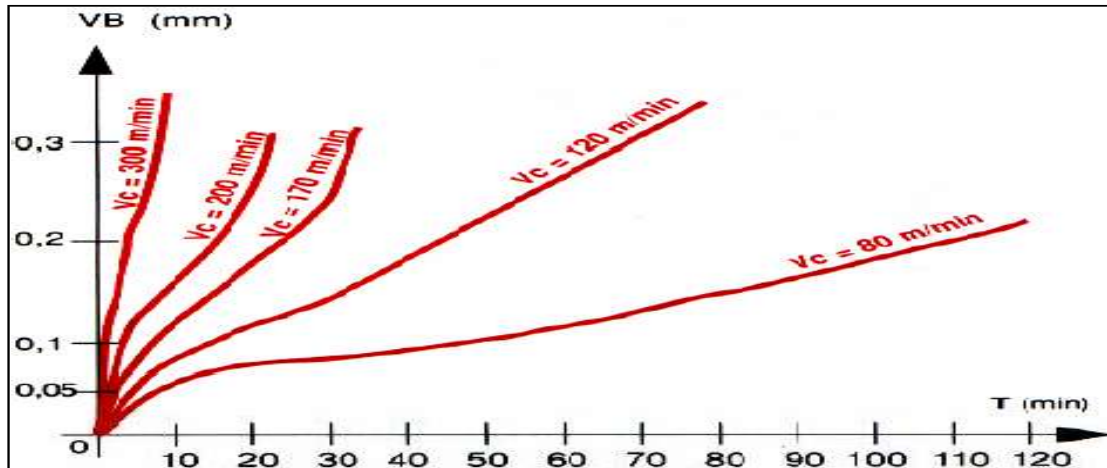
d'usinage [6] [7], par l'équation mathématique III-1 :

$$T = C_v V_c^n \quad \text{(III-1)}$$

C_v : Constante dépendant du matériau de la pièce usinée $10^4 < C_v < 10^{14}$.

n : Constante dépendant du matériau de l'outil de coupe $-8 < n < -1$.

V_c : Vitesse de coupe en m/min.



La figure III.3 L'usure en dépouille VB en fonction du temps de coupe [7]

III.3.2 III.3.2 Loi de GILBERT

Un modèle qui a été créé par le chercheur GILBERT en 1950, la différence entre TAYLOR et GILBERT ce que le dernier prend en considération l'effet de l'avance et profondeur de pénétration sur la durée de vie de l'outil de coupe [8]. Il est défini par l'équation III-2 :

$$T = K^{a_3} * V_c^{-a_3} * f^{a_2} * a^{a_1} \quad \text{(III-2)}$$

a_1, a_2, a_3 : constantans

k : Constante dépendant de la matière usiné. .

III.3.3 III.3.3 Loi de KRONENBERG

Un modèle qui a été défini en 1968, contrairement de GILBERT, cette loi ne prend pas en considération l'effet de l'avance et la profondeur de pénétration sur la durée de vie de l'outil de coupe [8]. Il est caractérisé par l'équation III-3:

$$T + K = C * V_c^n \quad \text{(III-3)}$$

Où k est une constante

NB : les deux coefficients ; C et n n'ont pas des valeurs similaires que dans la loi de Taylor.

III.3.4 Loi de KÖNIG-DEPIEREUX

Un modèle qui a été créé en 1969, il est comme GILBERT prend en considération l'intérêt des avances et les profondeurs de pénétrations, mais il définit l'équation III-4 à sa propre méthode :

$$T = \exp(-\alpha V_c^v - \gamma a^\mu - \sigma a^\lambda) \quad (\text{III-4})$$

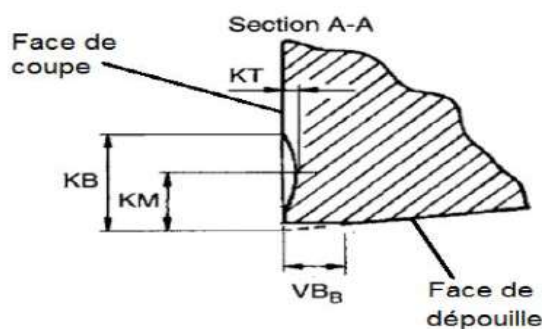
III.4 Les Principaux Formes de l'usure

III.4.1 Usure en cratère

L'usure en cratère se forme après un frottement sévère entre le coupeau et la face de coupe de l'outil, elle est définie essentiellement par sa valeur limite de profondeur du cratère appelée KT , on peut mesurer cette valeur au dernier temps d'usinage en fonction de l'avance par tour (selon la norme NF E66-505) par cette équation :

$$KT = 0.06 + 0.3f \quad (\text{III.5})$$

f : avance en mm/tr

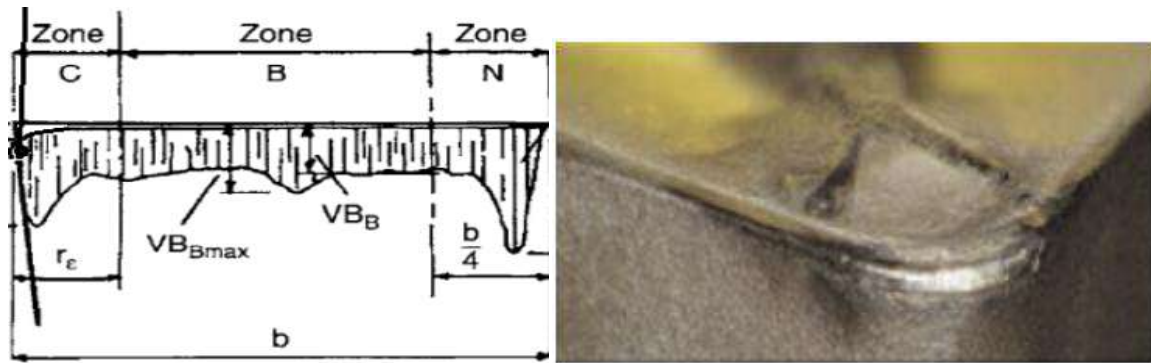


La figure III.4 Usure en cratère et ses critères [1], [9].

III.4.2 Usure en dépouille

L'usure en dépouille se construit lors d'un contact entre la matière usinée et la face de dépouille de l'outil de coupe, elle dépend de sa valeur limite de la largeur moyenne de la partie d'usure appelée VB . au dernier temps d'usinage, L'outil de coupe peut arriver aux valeurs limites de VB (selon la norme NF E66-505) [2];

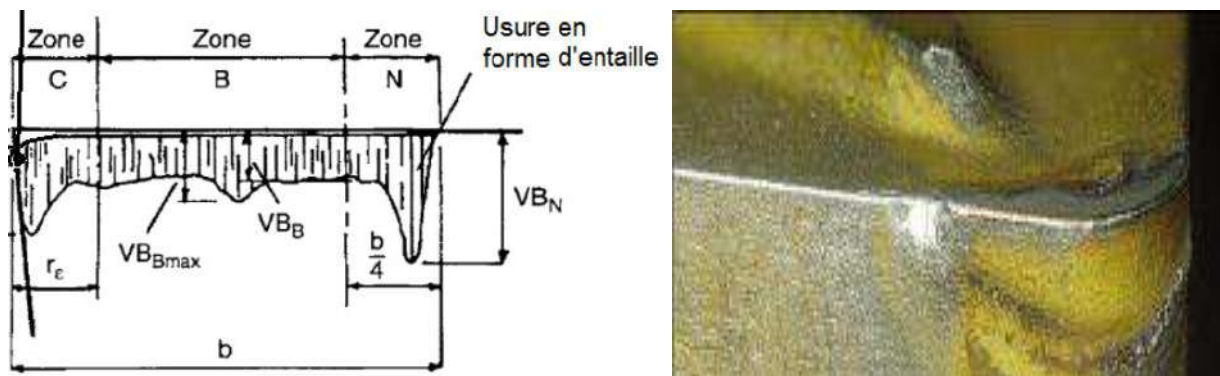
- $VB = 0,3\text{mm}$ si une usure en dépouille est constante.
- $VB_{max} = 0,6\text{mm}$ lorsque l'usure en dépouille est non constante.



La figure III.5 Usure en dépouille et ses critères [1], [9].

III.4.3 III.4.3 Usure en entaille

La formation d'usure en entaille dépend d'un contact avec des surfaces dures non coupées, aussi des faibles vibrations qui causent des frottements de coupeaux de profil irrégulier. Au dernier temps d'usinage, l'outil de coupe peut arriver aux valeurs limites de $VB_N = 2 \text{ mm}$ (selon la norme NF E66-505) d'usure en entaille



La figure III.6 Usure en entaille et son critère [1], [9].

III.4.4 III.4.4 Usure par ébréchure

La formation d'usure ébréchure dépend principalement d'une nuance faible de l'outil coupe, ce qui cause une résistance basse des arêtes de coupe et manque de robustesse de la tige ou de support.



La figure III.7 Usure par ébréchure [1].

III.4.5 III.4.5 Usure par déformation Plastique

La création de l'usure par déformation plastique dépend d'un mauvais choix des paramètres de coupe ; tel que des grandes valeurs des vitesses de coupe et des profondeurs de pénétration assez élevés, ce qui donne des hautes températures de coupe.



La figure III.8 Usure par déformation Plastique [1].

III.4.6 III.4.6 Usure par fissuration en peigne

La création de l'usure par fissuration en peigne est due à des instabilités thermiques pendant la coupe, aussi parmi les causes de cette usure une faible Nuance d'outil de coupe, qui est constaté beaucoup dans l'opération de fraisage et en cours d'un usinage périodique.



La figure III.9 Usure par fissuration en peigne [1].

Références Bibliographiques

1. **N.RACHED**, cours étude de la coupe, institut supérieur des études technologiques de GAFSA, Tunisie, 2014.
2. **M.E.L.BENNEGADI**, cours Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, Algérie, 2018.
3. **D. Gelin, M. Vincent**, «Elément de Fabrication», COPYRIGHT ,1995.
4. **H.BEN, ABDELALI**, Caractérisation et modélisation des mécanismes tribologiques aux interfaces outils-pièces-copeaux en usinage à sec de l'acier C45, Ecole Centrale de Lyon – France, 2013.
5. **P. BOURDET**, Coupe des métaux, Ecole normale supérieure de Cachan – France – 2004.
6. **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.
7. **A. BIERLA**, Usinage des aciers prétraités à l'huile entière - effets physico-chimiques des additifs soufrés. Thèse de doctorat de l'école des Arts et Métiers ParisTech – France – 2009.
8. **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.
9. **L. CERCE, F. PUSAVEC, J. KOPAC**, Spatial cutting tool wear evaluation, journal of production engineering, N° 2, Vol 15, 2012.

CHAPITRE VI : ACTIONS MECANIKES DE LA COUPE

Introduction

Pendant la coupe des métaux, des efforts importants commis pout assuré un écoulement de coupeau appeler « efforts de coupe F », avec une puissance nécessaire a la broche, appeler « puissance de coupe P », qu'elle dépend de la puissance du moteur électrique de la machine-outil appeler P_m et le rendement mécanique appeler μ (les déperditions causé par le contact entre les mécanismes qui transmis les mouvements).

$$P_m = P_c / \mu \quad (\text{IV.1})$$

La détermination des valeurs des efforts de coupe F_c et de la Puissance de coupe P_c est très importante, parce qu'elle permet :

- De choisir les dimensions exactes des outils de coupe et les portes pièces.
- Déterminer les appuis des montages d'usinage.
- Assurer la bonne fixation de la pièce usinée et de l'outil coupe.
- Choisir le type de la machine-outil en fonction de sa puissance.
- Retenir le régime de coupe optimale pour un bon état de surface.

IV.2 Calcules les efforts et les puissances de coupe

Connaitre les valeurs les valeurs approchées des efforts et la puissance de coupe sont important pour le choix des outils de coupe, aussi définis leurs sens de mouvement pour que les appuis du montage affrontent ces efforts.

IV.2.1 Efforts et puissances de coupe cas tournage

➤ Calcul les efforts de coupe

Si on prend un exemple d'un de chariotage sur un tour, selon les trois trajectoires du mouvement, nous avons trois efforts de coupe ; l'effort de coupe peut être décomposé suivant les trois directions principales ce qui donne [1], [2];

- F_c : Effort tangentiel suivant la trajectoire de la vitesse de coupe
- F_f : Effort axial suivant la trajectoire du mouvement d'avance par tour
- F_p : Effort radial suivant la trajectoire du mouvement de profondeur de passe

D'après le type d'outil de coupe et son géométrie, on peut calculer les efforts de coupe pendant l'opération de tournage par les équations suivantes :

$$F_f \cong \frac{1}{2} F_c \quad (\text{VI.2})$$

$$F_p \cong 0.3 F_c \quad (\text{VI.3})$$

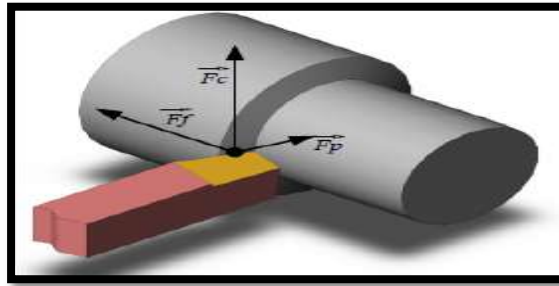


Figure IV.1 Efforts outil-pièce en tournage

Dans l'intention de réduire l'erreur de l'effort F_c causé par l'utilisation des propriétés de la résistance du matériau de la pièce usinée, alors on peut mesurer l'effort de coupe par le modèle appuyé sur le coefficient spécifique de coupe :

$$F_c = K_c * S_c = K_c * a * f \quad (\text{VI.4})$$

Avec :

F_c : Effort de coupe (N)

S_c : Section du copeau (mm^2),

$$S_c = a * f \quad (\text{VI.5})$$

K_c : Coefficient spécifique de coupe (N/mm^2)

Le facteur K_c défini par des successions d'essais expérimentaux, il fait partie du matériau de la pièce, aussi il est en corrélation avec les paramètres de coupe ; tel que l'avance f et l'épaisseur de copeau h_m , également un rapport avec la géométrie de l'outil ; tel que l'angle de coupe γ et aussi l'angle de direction d'arête K_r . La détermination des valeurs du coefficient K_c pour chaque opération d'usinage est très importantes [1], [2].

Le facteur spécifique de coupe K_c est présenté dans des tableaux en corrélation avec de l'épaisseur du copeau h_m (mm) et de la matière de la pièce usinée

$$h_m = f * \sin K_r \quad (\text{VI.6})$$

Le tableau ci-après présente les valeurs approximatives de K_c pour un outil en carbure avec $\gamma = 6^\circ$. La correction des valeurs de K_c dépend de l'angle γ . On utilise une correction de 1,5% par degré de changement d'angle. Un angle de coupe positif donnera donc un K_c réduit et inversement.

Matière	Résistance Rm en N/mm ² ou dureté Brinell	Force de coupe par unité de surface pour une épaisseur h _D en mm de :			
		0,1	0,2	0,4	0,8
Aciers d'usage général					
A 34-2*	330 à 410	3600	2600	1900	1350
E 295	490 à 630	4000	2900	2100	1500
E 335	590 à 710	4200	3000	2200	1550
E 360	690 à 830	4400	3150	2300	1650
Aciers non alliés pour TTh.					
C 35E, C 45E, XC 65*	500 à 600	3700	2800	2050	1500
C 35E, C 45E, XC 65*	850 à 1190	4700	3400	2500	1800
XC 80*	630 à 850	4800	3600	2600	1900
Aciers faiblement alliés	470 à 770	4100	3000	2200	1600
Aciers faiblement alliés	750 à 1570	4800	3600	2600	1900
Aciers fortement alliés	540 à 850	4800	3600	2600	1900
Aciers fortement alliés	850 à 1750	7900	5800	4250	3100
Acier inox ferritique	540 à 910	4700	3400	2500	1800
Acier inox austénique	540 à 910	4800	3600	2600	1900
Acier au manganèse coulé	690 à 1010	6000	4300	3200	2300
Fonte EN-GJL 150	HB jusqu'à 200	2050	1500	1100	800
Fonte EN-GJL 200	HB 200 à 250	2900	2080	1500	1080
Fonte EN-GJS 350-22	350 à 400	1850	1360	1000	720
Fonte EN-GJS 500-7	500 à 600	3350	2500	1800	1300
Cuivre	HB 50 à 85	2100	1520	1100	800
Laiton	HB 60 à 110	1400	1000	750	550
Laiton rouge	HB 60 à 110	1300	950	700	520
Bronze coulé	HB 85 à 110	3250	2400	1750	1300
Alliage au zinc (Z A10 U2)		940	700	560	430
Aluminium pur	HB 25	1050	760	550	400
Alliage d'aluminium à haute teneur en Si (11 à 13,5 % Si)	HB 55 à 95	1400	1000	700	520
Alliage pour pistons AL-Si (11 à 13 % Si)	HB 55 à 95	1100	1000	700	620
G-Al-Si (11...13,5 % Si)	HB 65 à 80	1250	900	650	480
Alliages de magnésium	HB 60 à 65	580	300	300	220

Tableau VI.1 Valeurs approximatives de k_c pour un outil en carbure ($\gamma = 6^\circ$).[5]

➤ Calcul la puissance de coupe

La puissance de coupe [**K watts**] est égale a le la force de coupe [**newtons**] multiplié par la vitesse de coupe [**m/min**], On observé en générale deux puissances :

- la puissance de coupe (P_c) qui être lié essentiellement a la vitesse de coupe (V_c) et de l'effort de coupe tangentiel (F_c) ;
- la puissance au moteur (P_m), donné par la puissance du moteur de la machine-outil, le rendement mécanique μ . Elle dépend aussi de la direction de l'arête et de l'angle de coupe [6].

Pour la puissance de coupe, on peut donner la relation suivante:

$$P_c = F_c * V_c / 60 * 10^3 \quad (VI.7)$$

Ou

$$P_c = K_c * f * a * V_c / 60 * 10^3 \quad (VI.8)$$

IV.2.2 Efforts de coupe et puissances de coupe cas fraisage

➤ Calcul l'effort tangentiel F_c

Le calcul des efforts de coupe dans les opérations de fraisage pour une dent est le même à celle du tournage ($Z=1$), donc on peut donner la relation suivante :

$$F_c = K_c * S_c * Z = K_c * a * f * Z \quad (VI.9)$$

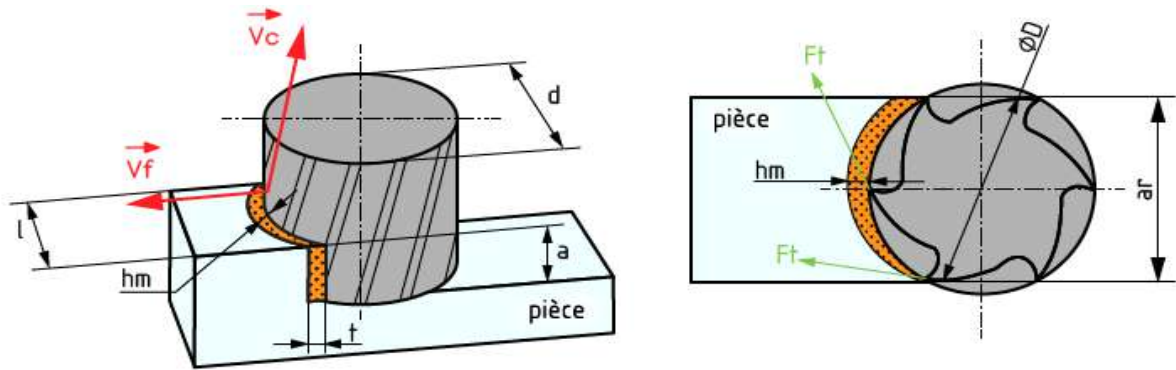


Figure IV.2 Les efforts de coupe en fraisage

Le facteur spécifique de coupe K_c lié aussi de l'épaisseur du copeau. Pour choisir la valeur approximative de ce facteur, il faut identifier une épaisseur de copeau moyenne h_m selon les étapes suivante :

- ❖ La définition du facteur K_c dépend essentiellement de type de matière à usiner, de sa dureté ou sa résistance a la traction, Le tableau ci-dessous donne des valeurs approximatives de K_c avec un outil de coupe en carbure ($\gamma = -6^\circ$), pour les matériaux souvent employés en construction mécanique.
- ❖ La correction des valeurs de K_c dépend de l'angle de coupe γ . On utilise donc une correction de 1,5% par degré de changement d'angle. Un angle de coupe positif donnera donc un K_c réduit et inversement.

Matière	Résistance R_m en N/mm^2 ou dureté Brinell	Force de coupe par unité de surface pour une épaisseur h_m de:					
		0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Aciers d'usage général :							
A 50-2	300 à 600	3230	2700	2280	2025	1900	1800
A 70-2	550 à 850	3350	2680	2150	1850	1720	1600
Aciers non alliés pour TTh :							
XC 12	< 400	3000	2530	2130	1900	1790	1690
XC 35, XC 42	500 à 600	3150	2640	2210	1970	1850	1750
XC 35, XC 42	600 à 750	3240	2650	2180	1910	1780	1670
XC 65	700 à 950	3040	2570	2180	1950	1850	1750
Aciers faiblement alliés recuits :							
16 MC 5	500	2650	2340	2060	1890	1810	1740
16 NC 6	590	3040	2550	2140	1910	1800	1700
42 CD 4	570	3210	2680	2230	1980	1860	1750
42 C4	620	3200	2670	2220	1970	1850	1740
100 C6	625	3230	2820	2460	2250	2150	2060
Aciers faiblement alliés traités pour :	690 à 1570	4180	3510	2950	2630	2490	2350
Aciers fortement alliés recuits :	540 à 850	3750	3150	2650	2360	2240	2110
traités pour :	850 à 1750	4390	3690	3100	2770	2620	2470
Aciers inoxydables							
- ferritiques	610 à 770	3860	3240	2720	2430	2300	2170
- austénitiques	540 à 690	4180	3510	2950	2630	2490	2350
Aciers coulés							
- non alliés	770	2790	2340	1970	1760	1660	1570
- faiblement alliés	540 à 850	3000	2520	2120	1890	1790	1690
Fonte FGL							
- faible résistance	HB 150 à 225	1500	1260	1060	950	890	850
- haute résistance	HB 200 à 300	1930	1620	1360	1220	1150	1090
Fontes malléables							
- à copeaux courts	HB 110 à 145	2360	1980	1670	1490	1400	1330
- à copeaux longs	690 à 850	2140	1800	1510	1350	1280	1200

Tableau VI.2 Valeurs de K_c pour un outil en carbure ($\gamma = -6^\circ$) [5]

❖ Définir la valeur de l'épaisseur moyenne de copeau par de l'avance par dent.

(a)										(b)									
Epaisseur moyenne de copeau "hm" en mm ($\kappa_r = 75^\circ$)										Epaisseur moyenne de copeau "hm" en mm ($\kappa_r = 90^\circ$)									
avance par dent : fz										avance par dent : fz									
a_r/D	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	a_r/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	
1/10	0,05	0,1	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,77	0,96	1/20	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,18	0,22	
2/10	0,05	0,1	0,19	0,28	0,38	0,48	0,57	0,76	0,95	1/10	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,26	0,32	
3/10	0,05	0,09	0,19	0,28	0,38	0,47	0,56	0,75	0,94	2/10	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,34	0,43	
4/10	0,05	0,09	0,19	0,28	0,37	0,47	0,56	0,74	0,93	3/10	0,06	0,10	0,16	0,21	0,26	0,31	0,42	0,52	
5/10	0,05	0,09	0,18	0,28	0,37	0,46	0,55	0,74	0,92	4/10	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,35	0,47	0,59	
6/10	0,04	0,09	0,18	0,27	0,36	0,44	0,53	0,71	0,89	5/10	0,06	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,50	0,63	
7/10	0,04	0,09	0,17	0,26	0,35	0,43	0,52	0,70	0,87	6/10	0,07	0,14	0,20	0,27	0,34	0,41	0,54	0,68	
8/10	0,04	0,08	0,16	0,25	0,33	0,41	0,49	0,66	0,82	7/10	0,07	0,14	0,21	0,28	0,36	0,43	0,57	0,71	
9/10	0,04	0,08	0,15	0,23	0,31	0,39	0,46	0,62	0,77	8/10	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,58	0,72	
1/1	0,03	0,07	0,12	0,18	0,24	0,31	0,37	0,49	0,61	9/10	0,07	0,14	0,21	0,28	0,36	0,43	0,57	0,71	
										1/1	0,06	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,50	0,63	

Tableau VI.3 (a) Valeurs h_m du fraisage centré, (b) Valeurs h_m du fraisage décalé [5]

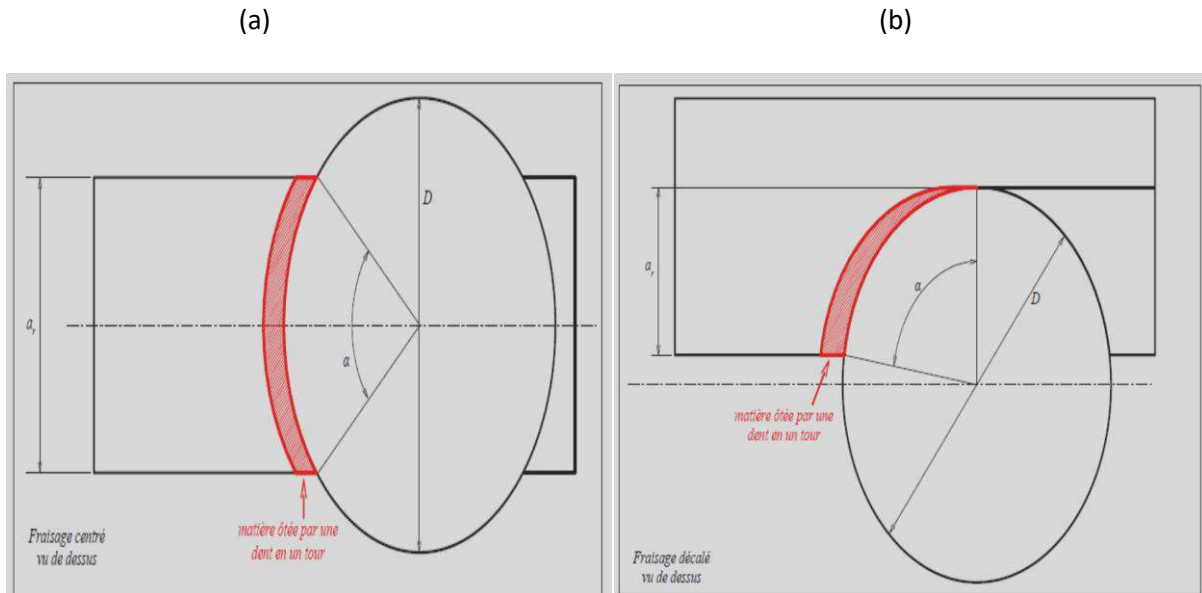


Figure IV.3 Mode de fraisage : (a) fraisage centré, (b) fraisage décalé [5]

➤ **Calcul la puissance de coupe**

Dans le cas de fraisage, la puissance de la coupe est approximativement relatif l'écoulement de matière enlevée, on peut calculer la puissance par les équations suivantes [6] :

$$P_c = K_c * l * a * f * Z * N \quad \text{(VI.10)}$$

où

$$P_c = (K_c * l * a * f * V_c * Z * /60 * 10^3 * \pi * d) \quad \text{(VI.11)}$$

l Ou a_r Largeur de coupe

Z le nombre de dents

N est la fréquence de rotation (tour/min)

P_c La puissance de coupe (kw)

IV.2.3 Efforts de coupe et puissances de coupe cas perçage

➤ Calcul l'effort d'avance F_a

La figure ci-après montre un schéma qui présente les efforts de coupe s'exerçant sur les arêtes. Nous avons conclu qu'il y a trois efforts décomposé suivant les trois directions principales:

- f_c , l'effort tangentiel de coupe,
- f_p , l'effort de la profondeur de coupe,
- f_a , l'effort d'avance par tour.

Si le foret est bien affûté et le matériau de la pièce usinée est similaire on a $F_c = F'_c$, $F_p = F'_p$, $F_a = F'_a$. Les composantes de l'effort de profondeur sont approximatifs mais pratiquement opposées s'annulent. Le résultat de l'effort d'avance $F_a = 2f_a$ qui passe par l'axe du foret et les forces F'_c , F_c compose le couple résistant au perçage.

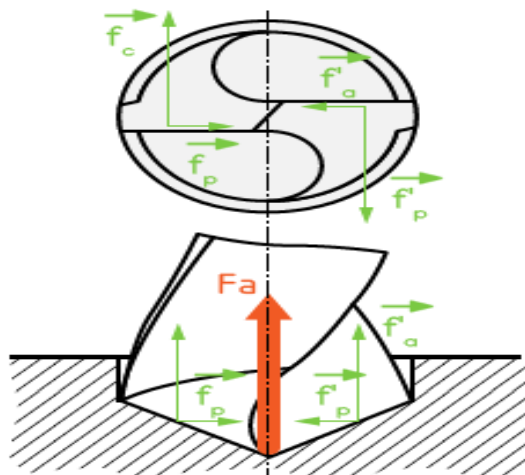


Figure IV.4 Les Efforts exerçant sur une arête

On peut calculer l'effort d'avance par l'équation suivante

$$F_a = K_c * f * D \quad (VI.12)$$

Le coefficient spécifique de coupe K_c est liée par l'épaisseur du copeau h_m (mm), la nature de la matière, l'avance par tour f et le diamètre du foret D .

$$h_m = f * \sin K_r \quad (VI.13)$$

Le tableau ci-dessous présente les valeurs approximatives de K_c pour un outil en carbure avec $\gamma = +6^\circ$ (pour la fonte $\gamma = -6^\circ$). La correction des valeurs de K_c dépend de l'angle de coupe γ . On utilise donc une correction de 1,5% par degré de changement d'angle. Un angle de coupe positif donnera donc un K_c réduit et inversement.

Matière	Résistance Rm en N/mm ² ou dureté Brinell	Force de coupe par unité de surface pour une épaisseur h _m de :					
		0,04	0,06	0,1	0,16	0,25	0,4
Aciers d'usage général :							
A 50-2	560	3840	3350	2920	2540	2220	1930
A 70-2	820	4500	3870	3320	2860	2450	2110
Aciers non alliés pour TTh:							
XC 12	< 400	3670	3210	2810	2470	2160	1890
XC 35	500	4000	3450	2970	2560	2200	1900
XC 48	660	3510	3090	2710	2380	2100	1840
XC 65	770	3380	3050	2760	2490	2250	2030
Aciers faiblement alliés à l'état recuit :							
16 MC 5	500	3710	3220	2800	2430	2110	1830
16 NC 6	590	3400	3030	2680	2380	2100	1860
20 MC 5	590	3370	2980	2640	2340	2070	1830
42 CD 4	780	3620	3230	2870	2560	2280	2020
35 NCD 6	830	3190	2880	2600	2340	2110	1900
50 CV 4	670	3770	3320	2920	2580	2270	2000
100 C6	620	4300	3770	3300	2880	2520	2210
Aciers fortement alliés à l'état recuit :							
Z 200 C12	700	3970	3510	3110	2750	2440	2160
Inoxydable martensitique :							
Z 20 C13	880	2790	2580	2390	2210	2050	1900
Z 40 C 14	700	3340	3040	2770	2520	2300	2090
Inoxydable austénitique							
Z 6 CND 17-11	560	2940	2700	2480	2270	2090	1920
Fonte FGL							
- faible résistance	HB 190	3150	2690	2300	1960	1670	1430
- moyenne résistance	HB 200	3200	2780	2410	2090	1820	1580
	HB 210	2990	2610	2270	1980	1730	1510

Tableau VI.4 Valeurs de K_c , un outil ($\gamma = +6^\circ$ pour le carbure, $\gamma = -6^\circ$ pour la fonte)[5]

➤ La puissance de coupe

On peut calculer la puissance de coupe pour le cas de perçage, avec ou sans trou, par l'équation suivante [6] :

- Dans le cas de perçage sans avant-trou

$$P_c = K_c * f * d * V_c / 240 * 10^3 \quad (\text{VI.14})$$

Avec K_c un coefficient déterminé expérimentalement (N/mm²) (voir le tableau).

f L'avance (mm)

d Le diamètre du fore (mm)

V_c La vitesse de coupe (m/min)

P_c La puissance de coupe (kw)

- Dans le cas de perçage avec avant-trou

$$P_c = \frac{K_c * f * d * V_c}{240 * 10^3} * \frac{D^2 - d^2}{D} \quad (\text{VI.15})$$

Avec K_c un coefficient déterminé expérimentalement (N/mm²) (voir le tableau).

f L'avance (mm)

D Le diamètre du fore (mm)

d le diamètre du trou (mm)

V_c La vitesse de coupe (m/min)

P_c La puissance de coupe (kw)

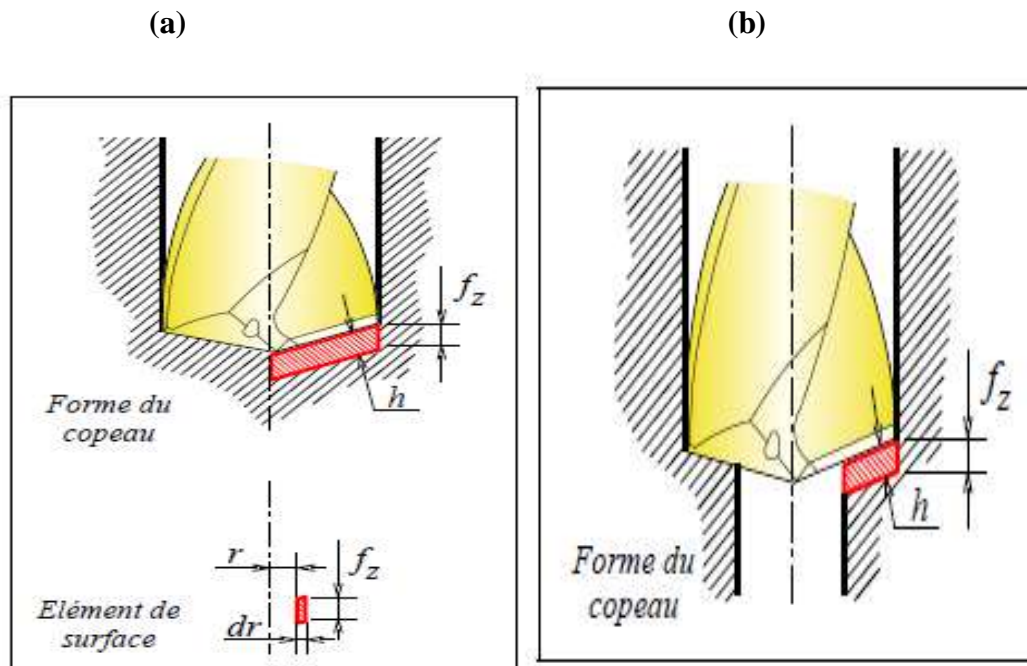


Figure IV.5 Mode de Perçage : (a) Perçage sans avant-trou, (b) Perçage avec avant-trou

Références Bibliographiques

1. **M. HABAK**, Etude de l'influence de la microstructure et des Paramètres de coupe sur le comportement en Tournage dur de l'acier a roulement 100Cr6, Thèse de doctorat de l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers / Paris 6 – France, 2006.
2. **R. BUTIN, M. PINOT**, Fabrications mécaniques technologie » tome3 juillet 1988.
3. **L. DESHAYES**, Méthodologie d'étude de la coupe. Liaison entre Couple Outil Matière et Système Pièce Outil Machine, Thèse de doctorat, , INSA de Lyon, France, 2003.
4. **M.A. YALLES**, Etude du comportement à l'usure des matériaux de coupe modernes en tournage dur, Thèse de doctorat, Université de Annaba, 2005.
5. **Cours efforts de coupe de et puissance**, <https://fr.scribd.com/doc/267566512/694-11-Efforts-de-Coupe-Et-Puissances>.
6. **C. GRUESCU, F. DEFOURNE, P. QUAEGBEUR 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.

CHAPITRE V : CHOIX DES CONDITIONS DE COUPE

Introduction

L'usinage est le processus de mise en forme par enlèvement de matière. Il est le plus souvent utilisé pour fabriquer des pièces mécaniques. Le principe de base est de produire et d'éliminer des copeaux plastiques déformés dans les copeaux et leur contact avec l'outil.

L'enlèvement de matière est obtenu par la combinaison du mouvement relatif entre la pièce et l'outil : le mouvement défini par la vitesse de coupe V_c , le mouvement d'avance (défini par la vitesse d'avance f) et le mouvement de pénétration (défini par la profondeur de coupe a_p). Par exemple, en tournage, la coupe est une opération d'usinage d'un cylindre qui est animé d'un mouvement et qui est animé d'un mouvement linéaire de l'outil de coupe parallèlement à l'axe de rotation de la pièce.

V.2 Paramètres de coupe

V.2.1 Vitesse de coupe V_c [m/min]

Indique l'espace (en mètres) que la pointe de la dent de l'outil se déplace en une minute. Il s'agit de la vitesse relative entre l'arête tranchante de l'outil et le matériau à enlever. Ce paramètre affecte la durée de vie de l'outil et change avec [1]:

- Le type de matière à traiter et la matière de l'outil,
- Selon la nature de l'opération (ébauche ou finition),
- Concernant le type d'usinage effectué (le facteur de réduction est appliqué lorsque l'usinage est difficile),
- Dépend des conditions de lubrification (travail à sec ou lubrifié).

La valeur couramment utilisée de la vitesse de coupe dépend de la matière à usiner et de la matière de l'outil, et est donnée dans le tableau.

V.2.2 La fréquence de rotation N [tour/min]

Calculé par la formule suivante:

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi D} \quad (\text{V.1})$$

D représente le diamètre de la pièce (lors du tournage) ou le diamètre de l'outil/perceuse (fraisage/perçage).

A l'aide du tableau indiquant les fréquences de rotation disponibles de la machine-outil, sélectionnez la valeur la plus proche de la valeur calculée. [2],[3].

V.2.3 L'avance f ou f_z [mm/tour]

Se montre par le mouvement de la pièce usinée (cas fraisage) ou de l'outil de coupe (cas tournage) pour :

- Une dent; c'est l'avance par dent f_z pratiqué dans le fraisage.

- un tour; c'est l'avance par tour f pratiqué dans le fraisage.

L'avance est le facteur plus dominant sur la qualité de surface usinée, elle prend des grandes valeurs pour un travail d'ébauche qu'en finition. Les valeurs des avances déterminent par des tableaux qu'on va les voir par la suite du document.

La vitesse de mouvement de la pièce/outil qui se calcule par l'équation suivante :

$$V_f = f_z * Z * N \quad (\text{V.2})$$

D'où Z est le nombre de dents de l'outil fraise et N la fréquence de rotation.

V.2.4 La profondeur de passe a_p [mm]

Dépend de la couche de matière usinée, aussi le type d'opération (ébauche ou finition). La profondeur de pénétration est perpendiculairement au mouvement d'avance.

V.2.5 La section du copeau

La valeur de l'avance par tour f multipliée par la profondeur de pénétration a_p détermine la section du copeau enlevée par chaque dent, qui influe sur la puissance de la machine-outil.

$$S_c = f * a_p \quad (\text{V.3})$$

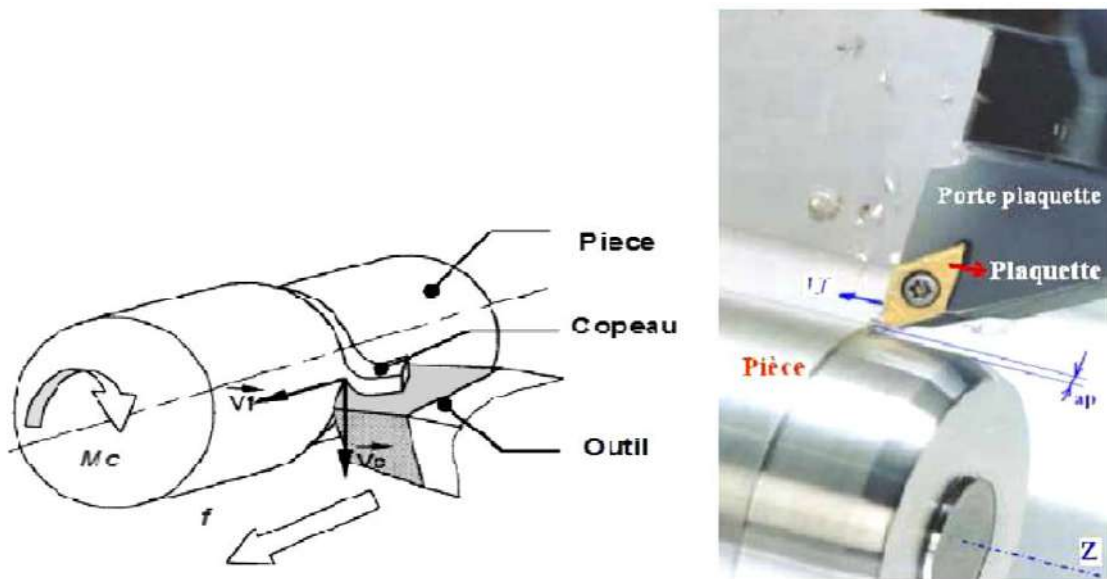


Figure V.1 Les paramètres de coupe [4].

V.3 Choix des outils et des conditions de coupe

La Sélection des outils et conditions de coupe se tourne de plus en plus vers des outils à plaquettes changeables. En effet, ces plaquettes présentent de nombreux avantages :

- Plusieurs arêtes de coupe sur la même plaquette.
- durable.

- Elimination les opérations d'affûtage.
- Répéter le positionnement de la partie mobile de l'outil de coupe sur le porte-outil.
- Réduire le réserve pour diverses caractéristiques de la partie d'attaque.

V.4 le choix d'un outil de coupe et ses conditions de coupe associées

Le processus de sélection d'un outil de coupe est important pour de collecter le maximum d'informations, qui doivent être prises en compte lors de la sélection. Le plan d'usinage est la source de ces informations, nous y avons trouvé :

- Des Informations concernant la pièce usinée ; que ce soit sa forme, sa matière et son état de surface.
- Des informations sur la puissance et les caractéristiques de la machine-outil.
- Des informations dépend des opérations ; tel que travail d'ébauche, semi finition et finition, le type et le nombre d'outil de coupe pour chaque opération.

V.4.1 Le Choix du système de fixation de la plaquette

La **Figure V.2** explique la fixation des plaquettes de coupe sur les porte plaquettes, selon la norme ISO nous avons quatre type de fixation ; S, M, P et C :

- **La fixation S et C** accepte des plaquettes de forme de base positive qui donne une fragilité de l'arrête de coupe, par contre attribue une bonne évacuation du copeau.
- **La fixation M et P** accepte des plaquettes de forme de base négative qui donne une résistance importante de l'arrête de coupe.

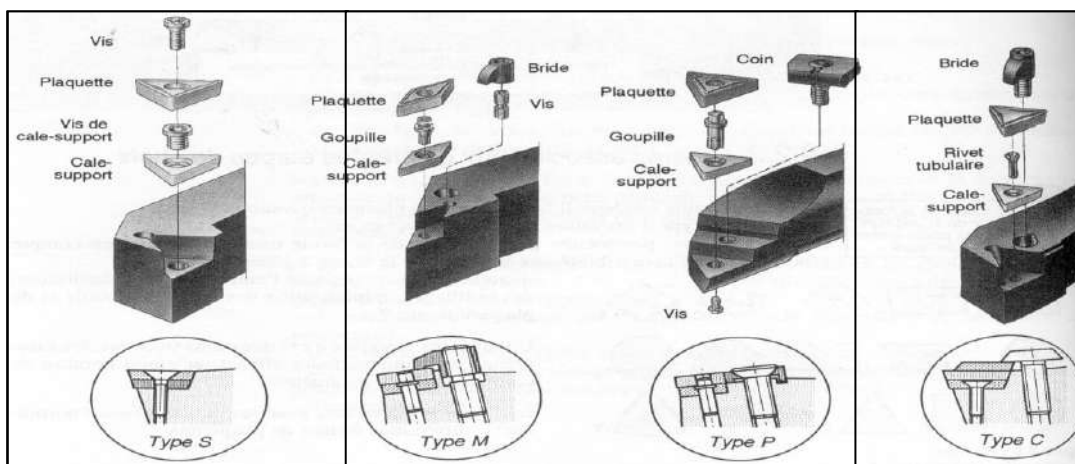


Figure V.2 types de fixation de la plaquette [4].

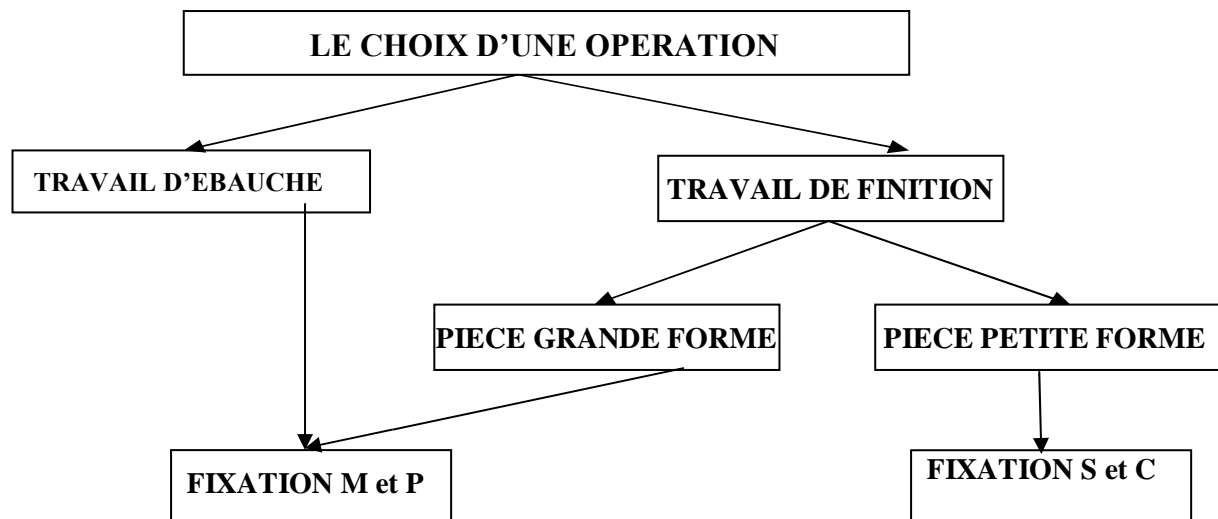


Figure V.3 Diagramme du choix du type de fixation.

V.4.2 Choix de la partie active de l'outil

Pour le choix d'une fixation de la partie d'attaque de l'outil, on doit connaître :

- Si le mouvement de la tourelle de la machine-outil est avant ou arrière.
- les surfaces qui vont être usiné par l'outil de coupe.
- les trajectoires d'usinage que l'outil va débiter.

Les fabricants des outils de coupe offrir des schémas qui nous informe sur les mouvements possible d'usinage favoriser pour l'outil de coupe (Figure V.4).

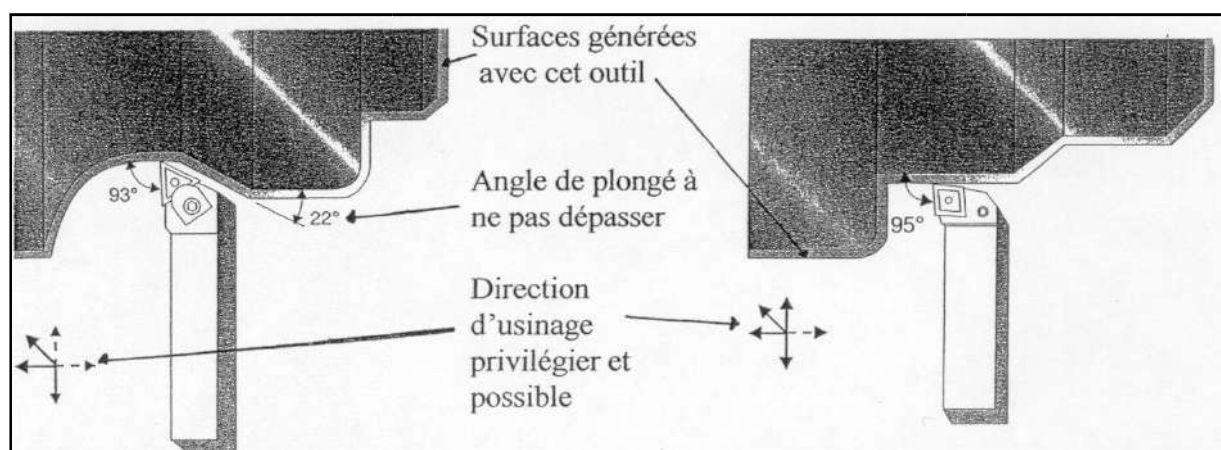


Figure V.4 Surfaces générées avec un outil de coupe [5].

Lors d'un mouvement d'outil de coupe pendant l'usinage, il faut tenir compte sur la position de plongé et particulièrement l'angle de plongé, si non l'outil de coupe va être touché par la pièce usinée (**Figure V.5**).

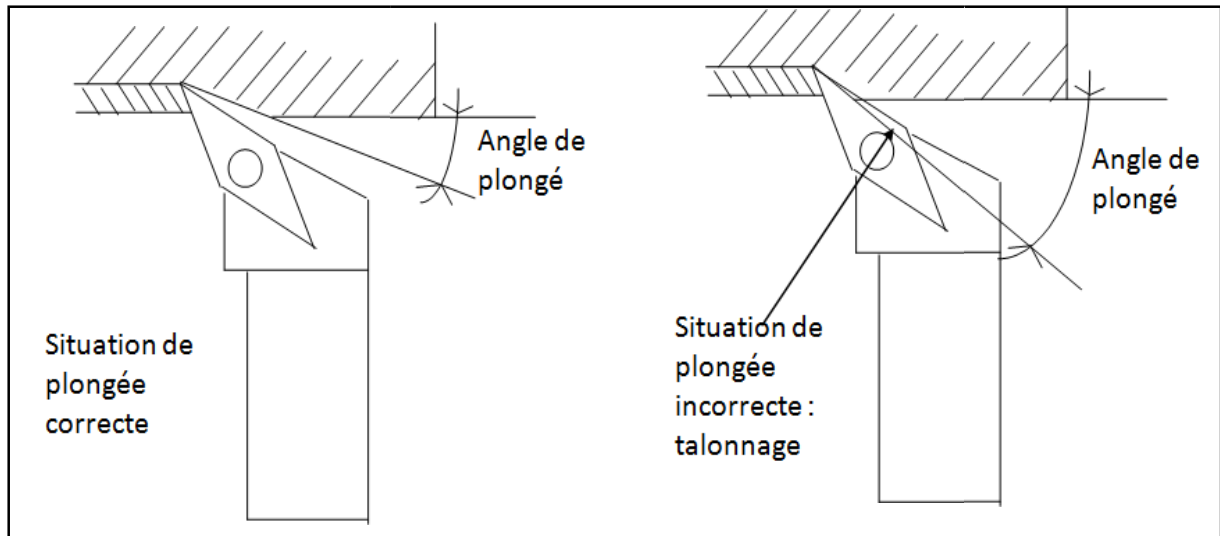


Figure V.5 Importance de l'angle de plongé [5].

Pour chaque mouvement d'usinage, on a une liste d'outil avec ses angles de coupe qu'on doit la respecter pour assure sa meilleur trajectoire.

V.4.3 Choix de la forme de la plaquette

Le choix de la forme des plaquettes est aussi important et spécialement la forme de l'arrête tranchante ; si l'angle de la pointe est petit la diversification et l'accessibilité remonte, et si l'angle est grand la résistance de l'arrête de coupe va grandir mais les vibrations et la puissance imposé sont élevées.

Il faut connaitre aussi la rigidité (pour éviter les vibrations) et la puissance de la machine-outil qu'on va utiliser.

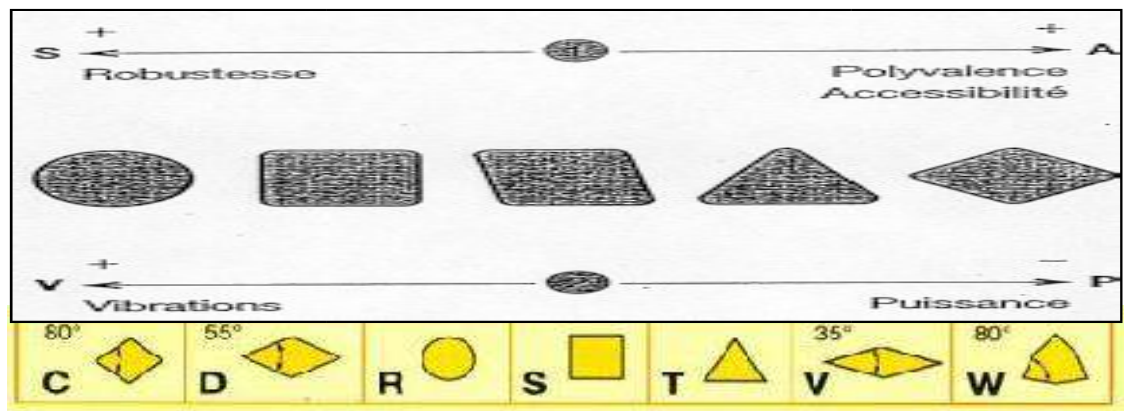


Figure V.5 Les formes de la plaquette [5], [6].

V.4.4 Choix de la taille de la plaquette

On parle ici de la longueur nominale de l'arrête "l". En fait, chaque type de plaquette a une longueur effective de l'arrête (la longueur maximale de l'arrête en contact avec la pièce) qui est proportionnelle à sa longueur nominale. Si cette longueur effective est dépassée, l'outil se cassera. La détermination de la longueur effective de l'arrête tranchante dépend de l'angle de direction K_r et de la profondeur de pénétration a_p . Une fois la longueur efficace déterminée, la longueur de l'arrête de coupe nominale peut être dérivée de la forme de la plaquette.












4. TYPE DE PLAQUETTE		5. TAILLE DE PLAQUETTE = LONGUEUR D'ARÊTE DE COUPE						
A 	G 							
M 	T 	l mm: 06-19 07-15 06-12 09-19 06-22 11-16 06-08						

Figure V.6 Tailles des plaquettes [5].

V.4.5 Choix de la nuance de la plaquette

Le choix des propriétés mécaniques, thermiques et chimiques du matériau de la plaquette due aux caractéristiques la matière à usinée (dureté principalement), du type d'usinage à réaliser (ébauche ou finition) et des conditions optimales de coupe (subir le choc). Pour déterminer la matière des plaquettes, Tout d'abord, nous devons déterminer à quelle catégorie appartient le matériau à traiter. Ensuite, nous sélectionnons le type d'opération et les conditions optimales de travail. Enfin, on choisi la nuance exacte de la plaquette.

Chaque fabricant a sa propre marque des plaquettes, il utilise des tableaux qu'ils sont correspondant entre la norme ISO et sa propre désignation.

V.4.6 Sélections des conditions de coupe

Les conditions de coupe requises sont la vitesse de coupe V_c , l'avance par tour f et la profondeur de passe a . On définit les valeurs de ces conditions à travers des tableaux ; dans un premier temps, on recherche la matière à traiter sur cet établi (si la matière recherchée n'apparaît pas sur l'établi, on choisit une matière du même type avec des caractéristiques similaires). Par la suite, on trouve la nuance de la plaquette de coupe, ensuite prend les valeurs d'avance et la profondeur de passe selon l'opération (ébauche ou finition). Le paramètre de la vitesse de coupe V_c prêté par des tableaux, qu'elle dépend de la durée de vie et une certaine dureté du matière de la pièce usinée. Dans le cas où ces deux facteurs ne figure pas aux valeurs fournis dans le tableau, il faut faire des corrections.

V.4.6.1 Choix des conditions de coupe : cas de tournage

Les conditions de coupe défini dans les tableaux pour une durée de vie d'outil de 60 à 90 minutes, seuls des essais peuvent permettre de déterminer les conditions de coupe optimales. les tableaux des vitesses dans le cas de tournage sont données pour l'usinage à l'outil à chariotier, pour les

autres outils, il faut multiplier la vitesse trouvée par le coefficient K (outil à couteau $K=0.8$, outil à tronçonner $K=0.5$, outil à aléser $K=0.7$, outil à fileter $K=0.3$).

Aciers	Résistance à la rupture N/mm^2	Conditions de coupe			Outils acier rapide				Tour	
		Prof. de passe a (mm)	(Avance) f (mm/tr)	V de coupe n/min durée d'outil 60 à 90 mn	Nuance abrégée W-D-V-C	Angle de coupe (degré)	Rayon de bec (mm)	Section du corps de l'outil (mm × mm)	Puissance (kW)	
Recuit	< 400°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	65 à 60	6-5-2	20°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	60 à 45			0,8	16 × 16	1 à 4	
		4 à 8	0,4 à 0,8	45 à 30			1,2	25 × 25	4 à 10	
Recuit	400 à 600°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	55 à 52	6-5-2	18°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	52 à 36			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	36 à 26			1,2	25 × 25	3 à 5	
Recuit	600 à 750°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	50 à 45	6-5-2	14°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	46 à 30			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	30 à 25			1,2	25 × 25	3 à 5	
Trempe revenu	750 à 900°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	40 à 35	2-9-1-8	14°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	35 à 25			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	25 à 20			1,2	25 × 25	3 à 5	
Trempe revenu	900 à 1100°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	28 à 22	2-9-1-8	14°	0,4	12 × 12	< 1	
		1 à 4	0,2 à 0,4	22 à 17			0,8	16 × 16	1 à 3	
		4 à 8	0,4 à 0,8	17 à 14			1,2	25 × 25	3 à 5	
Fontes	État	Dureté (HB)								
Ft 10-15	Ferritique recuite	< 150°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	70 à 65	6-5-2	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	65 à 50			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	50 à 35			1,2	25 × 25	2 à 6
Ft 20	Perlite ferrite moulée	160 à 200°	0,2 à 1	52 à 45	12-0-5-5	0°	0,4	12 × 12	< 1	
			1 à 4	0,2 à 0,4			45 à 35	0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8			35 à 20	1,2	25 × 25	2 à 3
Ft 30	Perlite moulée	180 à 220°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	45 à 40	12-0-5-5	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	40 à 30			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	30 à 15			1,2	25 × 25	2 à 3
Ft 35	Perlite fine moulée	220 à 260°	0,2 à 1	0,1 à 0,2	30 à 28	12-0-5-5	0°	0,4	12 × 12	< 1
			1 à 4	0,2 à 0,4	28 à 22			0,8	16 × 16	< 2
			4 à 8	0,4 à 0,8	27 à 15			1,2	25 × 25	2 à 3

Tableau V.1 Chariotage avec outil en acier rapide des aciers non alliés et faiblement alliés et des fontes grise [6].

Aciers	Résistance à la rupture (hbar)	Conditions de coupe			Outil carbure (plaquette à jeter)				Tour
		Prof. de passe α (mm)	Avance f (min/tr)	V de coupe m/min durée d'outil 30 à 45 mn	Nuance ISO	Angle de coupe (degré)	Rayon de bec (mm)	Section du corps de l'outil (mm x mm)	Puissance (kW)
Recuit	< 40	0,2 à 1	0,1 à 0,2	280 à 270	P 20		0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	270 à 180	P 30		0,8	16 x 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	180 à 130	P 40		1,6	25 x 25	20 à 35
Recuit	40 à 60	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 250	P 10	14	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	250 à 160	P 20	14	0,8	16 x 16	3 à 20
		4 à 8	0,4 à 0,8	160 à 120	P 30	14	1,6	25 x 25	20 à 30
Recuit	60 à 75	0,2 à 1	0,1 à 0,2	200 à 190	P 10	6	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	190 à 130	P 20	6	0,8	16 x 16	3 à 15
		4 à 8	0,4 à 0,8	130 à 90	P 30	12	1,6	25 x 25	15 à 30
Trempe revenu	75 à 90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	180 à 170	P 10	6	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	170 à 120	P 20	6	0,8	16 x 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	120 à 80	P 30	12	1,6	25 x 25	10 à 30
Trempe revenu	90 à 110	0,2 à 1	0,1 à 0,2	170 à 160	P 10	0	0,2	12 x 12	< 3
		1 à 4	0,2 à 0,4	160 à 115	P 10	6	0,8	16 x 16	3 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	115 à 75	P 20	6	1,6	25 x 25	10 à 30
Trempe recuit	110 à 130	0,2 à 1	0,1 à 0,2	160 à 150	P 01	0	0,2	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	150 à 100	P 10	6	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	100 à 65	P 20	6	1,6	25 x 25	10 à 20
Trempe revenu	130 à 145	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 105	P 01	0	0,2	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	105 à 75	P 10	0	0,8	16 x 16	2 à 8
		4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 50	P 20	6	1,6	25 x 25	8 à 20
Fontes	Dureté (HB)								
Ft 10-15	< 150	0,2 à 1	0,1 à 0,2	260 à 240	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	240 à 190	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	190 à 130	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 30
Ft 20	160 à 200	0,2 à 1	0,1 à 0,2	190 à 180	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	180 à 140	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	140 à 100	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 20
Ft 30	180 à 220	0,2 à 1	0,1 à 0,2	140 à 130	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 2
		1 à 4	0,2 à 0,4	130 à 110	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	2 à 10
		4 à 8	0,4 à 0,8	110 à 80	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	10 à 20
Ft 35	220 à 260	0,2 à 1	0,1 à 0,2	110 à 100	K10-M10	-7	0,4	12 x 12	< 1
		1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 85	K10-M10	-7	0,8	16 x 16	1 à 7
		4 à 8	0,4 à 0,8	85 à 60	K20-M20	-7	1,6	25 x 25	7 à 15

Tableau V.2 Chariotage avec outil en carbure des aciers non alliés et faiblement alliés et des fontes grise [6].

Alliages légers	Dureté (HB)	Conditions de coupe			Outil			
		Prof. de passe (mm)	Avance (mm/tr)	Vitesse de coupe m/min				
Légers sans silicium	15	0,2 à 1	0,1 à 0,2	1 000 à 900	Acier rapide nuance 6-5-2 (W-D-V)	20 à 30°	0,5	12 × 12
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	900 à 800			1,2	16 × 16
		4 à 8	0,4 à 0,8	800 à 700			2,0	25 × 25
Légers avec silicium (≤ 5 %)	90	0,2 à 1	0,1 à 0,2	800 à 700		20 à 30°	0,5	12 × 12
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	700 à 650			1,2	16 × 16
		4 à 8	0,4 à 0,8	650 à 600			2,0	25 × 25
Légers avec silicium (≤ 13 %)		0,2 à 1	0,1 à 0,2	600 à 500		20 à 30°	0,5	12 × 12
		1 à 4	0,2 à 0,4	500 à 450			1,2	16 × 16
		4 à 8	0,4 à 0,8	450 à 400			2,0	25 × 25
Alliages cuivreux								
Bronzes Laitons Maillechorts	60	0,2 à 1	0,1 à 0,2	130 à 110	6 à 15°	0,5	12 × 12	
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	110 à 80		1,2	16 × 16	
		4 à 8	0,4 à 0,6	80 à 70		2	25 × 25	
Cupro-aluminium Cupro-nickels	130	0,2 à 1	0,1 à 0,2	120 à 100	6 à 15°	0,5	12 × 12	
	à	1 à 4	0,2 à 0,4	100 à 75		1,2	16 × 16	
		4 à 8	0,4 à 0,8	75 à 70		2	25 × 25	

Tableau V.3 Chariotage avec un outil en acier rapide des alliages légers et cuivreux [6].

V.4.6.2 Choix des conditions de coupe : cas de fraisage

Les conditions de coupe définies dans les tableaux sont déterminés pour un surfacage en bout, en roulant et fraisage combiné, seuls les essais peuvent nous conduit d'établir les conditions de coupe optimales.les tableaux des vitesses en fraisage sont déterminées pour l'usinage avec un outil en acier rapide (avec lubrification), et avec un outil en plaquette de carbure (sans lubrification).

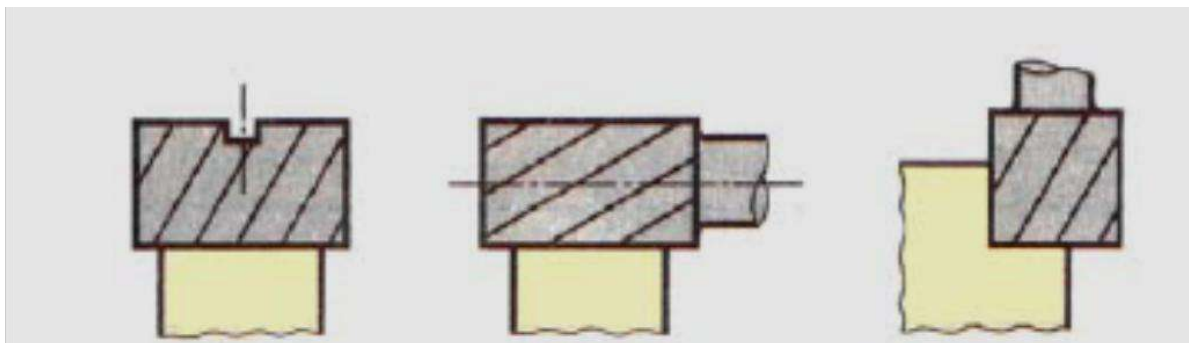


Figure V. 8 Surfacage en bout, en roulant et fraisage combiné

Matière	R_m ou HB	Vitesses de coupe moyennes en m/mm		
		Outil en acier rapide*	Outil à plaquette carbure** Nuances	
			P 10	P 35
Aciers non alliés ou faiblement alliés	$R_m < 600$	32 à 45	200 à 235	150 à 190
	$600 < R_m < 800$	25 à 32	150 à 235	125 à 150
	$800 < R_m < 1\ 100$	15 à 25	125 à 150	100 à 125
	$1\ 100 < R_m < 1\ 400$	8 à 15	70 à 125	60 à 100
Fontes grises Ft 10-15 et 20	$110 < HB < 140$	30 à 50	k 20	M10-20
			80 à 100	150 à 160
Fontes grises Ft 25 - Ft 30	$150 < HB < 200$	20 à 30	80 à 100	150 à 160
Fonte malléable	$R_m < 420$	32 à 45	60 à 75	110 à 140
Laitons Bronzes Maillechorts	$60 < HB < 100$	70 à 30	150 à 300	
Cupro-aluminiums et cupro-nickels	$130 < HB < 200$	30 à 15	80 à 130	
Alliages légers au silicium		300 à 60	k 10	
			130 à 300	
Alliages légers sans silicium	$15 < HB < 90$	600 à 300	300 à 600	

Tableau V.4 Les conditions de coupe cas fraisage [6].

V.4.6.3 Choix des conditions de coupe : cas de Perçage

Dans le tableau V.5, nous avons données Les conditions de coupe (vitesse de coupe et avance de perçage) avec un foret en acier rapide nuance 6-5-2, seuls des essais permettre de déterminer les conditions de coupe optimales.

Matériaux	Vitesse de coupe en m/mm	\varnothing du trou Angle au sommet du foret et hélice	2 à 4	5 à 7	8 à 12	13 à 20	21 à 30
			Avance en mm par tour				
Aciers non alliés et faiblement alliés	$R_m < 450$ N/mm ²	28 à 30	$\delta = 118^\circ$ hélice standard 0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,3	0,32 à 0,40
	$450 \leq R_m \leq 650$	24 à 26	$\delta = 118^\circ$ hélice standard 0,08 à 0,16	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,3	0,32 à 0,40
	$650 \leq R_m < 900$	20 à 20	$\delta = 120^\circ$ hélice standard 0,05 à 0,08	0,10 à 0,12	0,12 à 0,15	0,15 à 0,20	0,25 à 0,30
Fonte grise Ft 10 à Ft 20	40	$\delta = 118^\circ$ hélice standard 0,08 à 0,12	0,12 à 0,16	0,17 à 0,25	0,26 à 0,35	0,35 à 0,40	
Laitons Bronzes Maillechorts	40 à 100	$\delta = 120^\circ$ hélice longue 0,12	0,16	0,25	0,3	0,40	
Alliage d'aluminium laminés (1 050-2 017...) moulés (AS 13-AS 7 G...)	60 à 200	$\delta = 140^\circ$ hélice courte 0,12	0,16	0,25	0,3	0,40	
Matières plastiques	• dures	$\delta = 70^\circ$	0,14	0,18	0,20	0,22	0,25
	• tendres	$\delta = 140^\circ$	0,08	0,10	0,12	0,12	0,16

Tableau V.5 Les paramètres de perçage avec un foret en acier rapide [6].

V.4.7 Choix du rayon de bec d'outil

L'état de surface fait partie essentiellement de la relation avance, rayon de bec d'outil et les vibrations. Un grand rayon de bec d'outil avec une faible valeur de l'avance nous donne une meilleure rugosité de surface. Si l'opération d'usinage qu'on va la réaliser dépend d'une grande valeur d'avance à ce moment là on choisit le plus grand rayon de bec pour obtenir un bon état de surface, par contre si l'outil est grand risque d'augmenter les vibrations. Dans cette phase le choix de rayon de bec de l'outil ou l'avance dépend de la rugosité désiré. Dans cette perspective, on utilise les tableaux ci-après.

Rayon de Bec (mm)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.4
Avance (mm)	0.25- 0.35	0.4-0.7	0.5-1	0.7-1.3	1-1.8

Tableau V.6 Tableau choix de rayon de bec d'outil travaux d'ébauche [6].

Etat de surface		Rayon de Bec r (mm)						
Ra (μm)	R (μm)	0.4	0.8	1.2	1.6	2.4	10	12
		Avance (mm/tr) (valeurs théoriques)						
0.6	1.6	0.07	0.10	0.12	0.14	0.17	0.25	0.28
1.6	4	0.11	0.15	0.19	0.22	0.26	0.40	0.44
3.2	10	0.17	0.24	0.29	0.34	0.42	0.63	0.69
6.3	16	0.22	0.30	0.37	0.43	0.53	0.80	0.88
8	25	0.27	0.38	0.47	0.54	0.66	1.00	1.10
32	100				1.08	1.32	2.00	2.20

Tableau V.7 Tableau choix de rayon de bec d'outil travaux de finition [6].

Références Bibliographiques

1. **Y.ABIDI**, usinabilité des aciers et impact du matériau à outil sur les paramètres technologiques, thèse de doctorat, Université Badji Moktar Annaba, Algérie, 2018..
2. **A. PASSERON**. Tournage, Techniques de l'Ingénieur, 1998.
3. **M.E.L.BENNEGADI**, cours Coupe des Métaux en Fabrication Mécanique et Productique, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF, Algérie, 2018.
4. **SANDVIK COROMANT** : Guide technique d'usinage, 2005
5. **N.RACHED**, cours étude de la coupe, institut supérieur des études technologiques de GAFSA, Tunisie, 2014.
6. **R. DIETRICH, D. GARSAUD, S.ENTILLON, M.NICOLAS**, Précis de méthodes d'usinage, livre dans la collection AFNOR, 2ème édition, Paris, France, 1981