

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Par :

BOUKROUS Rima

DJAIDER Cylia

Thème

Stabilité d'usinage de l'acier 42CrMo4, influence des paramètres de coupes sur les caractéristiques géométriques et dimensionnelles de la pièce et sur la durée de vie de l'outil de coupe.

Soutenu le 29/06/2022 devant le jury composé le:

Mr. METHIA Mounir	Président
Mr. BELAMRI Abdelatif	Rapporteur
Mr. HADJOU Madjid	Examineur

Année Universitaire 2021-2022

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, Dieu tout puissant, l'auteur de notre vie et la source de notre force pour nous avoir guidés et donné le courage et sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

On tient à remercier tout particulièrement notre encadrant Dr. BELAMRI Abdelatif. Pour nous avoir suivis et conseillés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail et pour leur conseils précieux.

On approuve notre gratitude envers toute personne ayant contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous ne saurions terminer sans exprimer nos remerciements à tous nos camarades et amis du hall de technologie, avec qui nous avons vécu et partager que des bons moments.

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail accompagné
d'un profond amour :

A ma chère mère ;

A mon cher père.

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et
épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères : Kouceila et Hachemi.

A ma chère sœur Nasserine, son mari Rabah et leurs enfant Melina et Islam.

Pour leur soutien moral et leurs conseils, précieux tout au long de mes études.

A mes oncles et mes tantes que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A mes cousines : Maria, Meriem, Ounissa, Samira, Djazia.

A tous les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant en particulier : Faroudja et
Alilou.

Sans oublier ma collègue Rima pour sa patience et sa compréhension tout au
long de ce projet.

Cyria

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance je dédie ce modeste travail accompagné
d'un profond amour :

A ma chère mère ;

A mon cher père.

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et
épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mon cher frère :Housseem.

A ma sœur : Feriel.

Pour leur soutien moral et leurs conseils, précieux tout au long de mes études.

A mes oncles et mes tantes que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant en particulier : Faroudja et
Alilou , Nasserine.

Sans oublier ma collègue Cylia pour sa patience et sa compréhension tout au
long de ce projet.

Rima

Table des matières

Table des figures liste des tableaux

1 Généralités sur les arbres de transmission et leur gamme d'usinage

1.1	Définition	2
1.1.2	Matériaux utilisés pour la fabrication des arbres	2
1.2	L'interchangeabilité.....	3
1.2.1	Les ajustements	4
1.2.2	Types d'ajustements	4
1.2.3	Système d'ajustement.....	5
1.3	Le procédé de fabrication des arbres	5
1.3.1	Tournage	5
1.3.2	Chariotage	6
1.4	Les paramètres de coupe	6
1.4.1	Les Conditions de coupe en tournage	7
1.5.1	Ebauche	9
1.5.2	Finition	9
1.5.3	Traitement thermique	9
1.5.3.1	Les étapes de chauffage	10
1.5.3.2	Conditions de chauffage	11
1.5.3.3	Le refroidissement	11
1.5.3.4	Domaine de température dans le diagramme TTT	13
1.5.3.5	Les différentes opérations de traitement thermique	15
1.6	Rectification au tour (tournage dur).....	17

2 Présentation et usinage du matériau 42CrMo4.

2.1	Le matériau étudié.....	18
2.1.1	L'influence des éléments d'addition.....	18
2.1.2	Désignations normalisées	20
2.1.3	Analyse chimique moyenne.....	20
2.1.4	Traitement thermique	20

2.2 Formation du copeau	21
2.2.1 Les principales étapes de la formation du copeau.....	21
2.2.2 L'influence de ces paramètres	23
2.2.3 L'influence des vitesses de coupe sur la formation du copeau	Erreur ! Signet non défini.
2.3 L'usure des outils de coupe	24
2.3.1 Phénomènes mécanique.....	24
2.3.2 Les paramètres influant l'usure des outils des coupe	25
2.3.3 Influence du couple mouvement de pièce / mouvement d'outil.....	26
2.3.4 Type d'usure des outils.....	26
2.3.5 Conséquence de l'usure des outils	31

3 Partie expérimentale, résultats et discussions

3.1 Préparation des pièces	32
3.2 Machine-outil	33
3.3 L'outil de coupe	36
3.4 Les essais.....	39
3.5 Méthodes.....	39
3.6 Résultats et discussion.....	41
3.7 Les essais de l'ébauche :.....	44
3.8 Les opérations de finition	51
3.9 Le traitement thermique	57
3.9.1 La trempe	57
3.10 L'influence de la dureté sur l'usinage.....	59
3.11 La rectification	59

Conclusion générale

Référence Bibliographiques

Table des figures

Figure1.1. Vue éclatée d'un système de transmission composé de plusieurs arbres.....	2
Figure1.2. Tournage mécanique.....	5
Figure1.3. Le chariotage cylindrique et conique.....	6
Figure1.4. Les choix des conditions de coupe.....	7
Figure1.5. Vitesse de coupe.....	8
Figure1.6. Vitesse d'avance V_f , Avance par tour f	8
Figure1.7. Diagramme de base d'un traitement thermique de trempe.....	10
Figure1.8. Diagramme TTT de l'acier 42CrMo4.....	12
Figure1.9. Diagramme TRC de l'acier 42CrMo4.....	13
Figure2.1. Formation de copeau.....	22
Figure2.2. fractionnement de copeaux en tournage des aciers.....	23
Figure2.3. Processus d'usure par adhésion mécanique.....	25
Figure2.4. Processus d'usure par abrasion.....	26
Figure2.5. Schéma de la caractérisation de l'usure d'un outil.....	27
Figure2.6. L'usure en dépouille.....	28
Figure2.7. L'usure en entaille.....	29
Figure2.8. L'usure en cratère.....	29
Figure2.9. L'écaillage de l'arête.....	30
Figure2.10. La rupture de la plaquette.....	30
Figure2.11. L'arête rapportée.....	31
Figure2.12. La déformation plastique.....	31
Figure2.13. La fissuration de l'arête.....	32

Figure3.1. Tour conventionnel Trens SN40C.....	34
Figure3.2. Un tour à commande numérique CAZENEUVE, OPTICA360.....	35
Figure3.3. Plaquette KNUX 160405R11.....	37
Figure3.4. Plaquette VNMG 160404-MA.....	38
Figure3.5. Copeaux obtenus lors de l'essai 01 ($V_c=120\text{m/min}$) : (A) représente le copeau après la première passe de 2mm et (B) la deuxième passe.....	41
Figure 3.6. Usure de la plaquette KNUX avec $V_c=120\text{m/min}$:(A) représente l'usure constaté après la première passe et B après la deuxième passe.....	41
Figure3.7. Copeaux obtenus lors de l'essai 02 ($V_c=180\text{m/min}$) : (A) représente le copeau après la première passe de 2mm et (B) la deuxième passe.....	42
Figure3.8. Usure de la plaquette KNUX avec $V_c=180\text{m/min}$	42
Figure 3.9. Copeaux obtenus lors de l'essai 03 ($V_c=240\text{m/min}$) : (A) représente le copeau après la première passe de 2mm et (B) la deuxième passe.....	42
Figure 3.10. Usure de la plaquette KNUX avec $V_c=240\text{m/min}$	43
Figure 3.12. Positionnement des pièces.....	58
Figure3.11. Le four et température de chauffage.....	59
Figure 3.13. Résultats de l'essai raté.....	65
Figure 3.14 Usure de la plaquette VNMG3 notée	66
Figure 3.15 Usure de la plaquette VNMG3.....	66
Figure 3.16 Usure de la plaquette VNMG6 CT.....	67
Figure 3.17 Usure de la plaquette VNMG.....	67
Figure 3.18 Usure de la plaquette VNMG7.....	68
Figure 3.19 Usure de la plaquette VNMG 4	69
Figure 3.20 Usure de la plaquette VNMGb6.....	69
Figure 3.21 Usure de la plaquette VNMG5CT	70
Figure 3.22 Usure de la plaquette KNUX3 CT.....	70

Figure 3.23 Usure de la plaquette KNUX 1 CT.....	71
Figure 3.24 Usure de la plaquette KNUX6 CT.....	72
Figure 3.25 Usure de la plaquette KNUX6.....	72
Figure 3.26 Usure de la plaquette KNUX7.....	73
Figure 3.27 Usure de la plaquette KNUX7 CT	73
Figure 3.28 Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe lors des opérations d'usinage en ébauche.....	74
Figure 3.29 Evolution de l'usure des plaquettes VNMG en fonction de la vitesse de coupe utilisée sur les pièces ébauchée avec les plaquettes KNUX	74

Liste des tableaux

Tableau 1. Appellation normalisée du 42CD4.....	21
Tableau 2. Composition chimique moyenne du 42 Cr Mo 4.....	21
Tableau3. Température et milieu de traitement thermique.....	21
Tableau4. Propriétés mécaniques du 42 Cr Mo 4.....	22
Tableau5. Les cotations des pièces obtenues.....	33
Tableau 6. Les caractéristiques du tour Trens SN 40C.....	34
Tableau7. Les caractéristique du tour à commande numérique CAZENEUVE, OPTICA360.....	36
Tableau8. Les caractéristiques de la plaquette KNUX.....	38
Tableau 9. Les caractéristiques de la plaquette VNMG.....	39
Tableau 10. Conditions de coupes utilisées dans la première étape d'usinage.....	40
Tableau 11 Conditions de coupe utilisées dans la deuxième étape d'usinage.....	41
Tableau 12. Les différents résultats en ébauche.....	45
Tableau 13. Les différents résultats en finition.....	52
Tableau14. Le diamètre des pièces avant et après traitement thermique, C pièces usinées en conventionnel, N en numérique.....	59
Tableau 15. Les différents résultats de rectification.....	61

Introduction

Introductions

Un arbre est un organe mécanique transmettant une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation.

Un arbre de transmission tourne sur des paliers (Les paliers c'est des mécanismes de guidage en rotation), le montage des arbres se fait suivant certains types de montage (un serrage adéquat a la transmission de la puissance transmise). Plus la puissance transmise est grande plus l'arbre doit être très serré. Quand la puissance est faible, donc moins serrer, si l'arbre tourne avec jeu donc il tourne plus et les translations sont faibles.

Cette translation au niveau des paliers provoque de l'usure (usure abrasive), ce dernier est causé par les vibrations. Le bon ajustement de ces paliers avec les arbres et le traitement thermique donne un remède pour le phénomène usure.

Les objectifs de l'étude de fabrication d'un arbre de transmission est d'avoir un bon état de surface une bonne dureté et un respect des dimensions de la pièce, nous allons assurer alors le guidage et la bonne fixation. Le traitement thermique fait partie de la gamme de fabrication de ces organes mécanique, dans le but de durcir la surface et diminuer les vibrations.

Les arbres de machines sont généralement issus de bruts forgés puis usinés par tournage. L'usinage est un procédé d'enlèvement de matière avec une dynamique complexe. Il est défini comme le retrait des copeaux à partir d'une pièce afin d'obtenir la finition de surface souhaitée.

La haute qualité des pièces mécaniques peut être obtenue par le contrôle de plusieurs paramètres, comme les conditions de coupe, les propriétés du matériau à usiner, les matériaux de de l'outil de coupe.

Notre travail est une contribution scientifique dans le domaine de la technologie, qui a pour objectif d'étudier la stabilité d'usinage de l'acier 42CrMo4 et l'influence des paramètres de coupe et dimensionnels sur la géométrie de la pièce et sur la durée de vie de l'outil.

Notant que l'acier utilisé est un acier mi dur faiblement allié destinée à la fabrication des arbres.

Pour bien présenter l'aspect théorique et aussi l'aspect pratique du mémoire, nous avons partagé le manuscrit en trois chapitres :

Chapitre 1 : Généralités sur les arbres de transmission et leurs gamme d'usinage.

Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur les arbres de transmission ainsi leur gamme d'usinage (matériau utilisé, usinage, traitement thermique).

Chapitre 2 : Présentation et usinage du matériau 42CrMo4.

Dans ce chapitre nous présentons en premier lieu, le matériau que nous avons utilisé dans notre étude et ces propriétés mécaniques, chimiques, physiques, en deuxième lieu des généralités sur la formation de copeau.

Chapitre 3 : Partie expérimentale, résultats et discussion

Ce chapitre nous présentons les différentes observations de notre travail. Le traitement des résultats obtenus a permis d'aboutir à des conclusions assez importantes.

Chapitre 1

*Généralités sur les arbres de
transmission et leur gamme d'usinage*

1.1 Définition

Un arbre est un organe mécanique transmettant une puissance sous forme d'un couple et d'un mouvement de rotation. La forme cylindrique de cet organe est à l'origine de son nom.

Les arbres de machines sont généralement issus de bruts forgés puis usinés par tournage. L'extrusion est également un mode d'obtention courant pour ce type de pièce. Ils sont très rarement issus de bruts moulés, pour des raisons de résistance mécanique.

L'arbre supporte généralement des engrenages, poulies, volants, manivelles, pignons de chaînes ou autres éléments qui transmettent une position angulaire ou une puissance. Il est donc l'un des éléments mécaniques les plus fréquemment utilisés. Selon sa géométrie et ses fonctions, un arbre peut porter différentes qualifications telles que :

a. arbre de transmission

Un arbre de transmission, est un composant servant à transmettre la puissance mécanique, le couple et la rotation. Généralement utilisé pour connecter d'autres composants d'une transmission qui ne peut pas être connecté directement en raison de la distance ou de la nécessité de permettre un mouvement relatif entre elles.

b. arbre de renvoi

Un arbre de renvoi, s'il distribue un mouvement de rotation entre différents éléments.

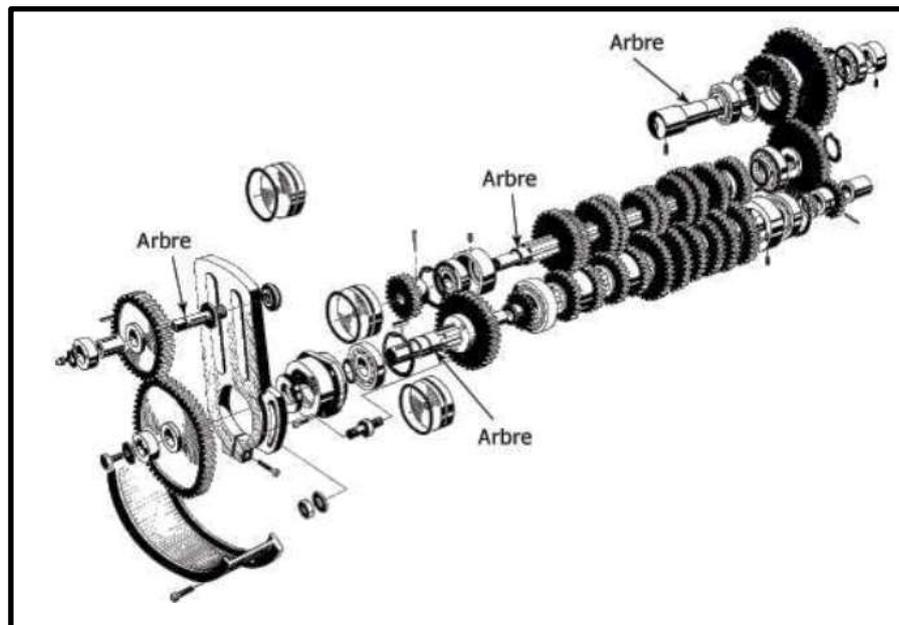


Figure1.1. Vue éclatée d'un système de transmission composé de plusieurs arbres

1.1.2 Matériaux utilisés pour la fabrication des arbres

Les matériaux utilisés pour la fabrication des arbres doivent généralement avoir certaines caractéristiques; Ils doivent avoir une résistance élevée, une bonne usinabilité, et une bonne propriété de traitement thermique.

Pour leur fabrication on utilise généralement :

- De l'acier ou de l'acier allié composé de chrome ;
- De nickel ;
- De silicium ;
- De carbone ;
- De soufre ;
- De phosphore ;
- De molybdène,

On cite les exemples de la fabrication d'un arbre ordinaire :

On utilise l'acier au carbone des nuances 40 C 8, 45 C 8, 50 C 4, et 50 C 12, Lorsque un arbre de haute résistance est requis. Un acier allié tel que le nickel, le nickel-chrome ou de l'acier au chrome-vanadium est utilisé quand il s'agit des arbres de transmission :

On utilisera généralement des aciers à teneur de carbone SAE 1040, 4140. Selon le code de désignation.

SAE : il s'agit d'une norme établie par la Society of Automotive Engineer.

Il y a aussi certains arbres qui doivent être fabriqués en :

- acier inoxydable.
- En laiton (alliage jaune).
- En aluminium.
- Même en plastique.

Les arbres sont généralement fabriqués par laminage à chaud et finis sur mesure par étirage à froid ou tournage.

Les arbres laminés à froid sont plus solides que les arbres laminés à chaud mais avec des contraintes résiduelles plus élevées [1].

1.2 L'interchangeabilité

L'interchangeabilité est la possibilité de prendre au hasard dans un lot de pièces semblables, une pièce quelconque, sans avoir besoin d'aucun travail d'ajustage pour assurer son montage et son bon fonctionnement dans un assemblage donné et dans les conditions de fonctionnement exigées (avec les conditions de jeu et de serrage voulu).

L'interchangeabilité des objets ou composants est à la base de tous les produits manufacturés construits en série.

N'importe quel composant interchangeable d'un mécanisme peut être démonté et remonté sur n'importe quel autre mécanisme du même type.

1.2.1 Les ajustements

C'est l'assemblage dont les deux pièces (contenu et contenant) ont la même cote nominale. L'ajustement est désigné par cette cote nominale suivie des symboles relatifs à chacune des deux pièces, en commençant par l'alésage.

Les pièces contenu et contenant ont la même dimension nominale mais des tolérances différentes offrant soit un jeu, soit un serrage, soit un jeu incertain.

L'ajustage regroupe les actions visant à parfaire des pièces mécaniques et à les assembler dans le but de fabriquer un organe mécanique fonctionnel.

1.2.2 Types d'ajustements

Le type d'ajustement est déterminé par les positions relatives des zones de tolérance des pièces à assembler. Si la différence entre la cote effective de l'alésage et celle de l'arbre est :

- Positive (Cote effective de l'alésage – Cote effective de l'arbre >0) est dit avec jeu.
- Au contraire si la différence est négative (Cote effective de l'alésage – Cote effective de l'arbre <0) nous avons le serrage.

Il existe trois types d'ajustement :

- Ajustement avec jeu (s'ils pénètrent librement).
- Ajustement avec serrage (s'il faut recourir à un procédé dynamique mécanique ou thermique pour assembler les deux éléments).
- Ajustement incertain (sur un même échantillon de couples de pièces, un certain nombre de couples présenteront un serrage d'autres un jeu).

1.2.3 Système d'ajustement

En vue de réduire le nombre des outils à dimension fixe et des calibres de contrôle, on limite le nombre d'ajustement en utilisant l'un des deux systèmes.

a-Système à alésage normal

Système généralement utilisé dans lequel la position de la tolérance est donnée par la lettre H, il en résulte que la cote nominale de l'alésage est égale à la cote nominale.

b-Système à l'arbre normal

Système peu utilisé, dans lequel la position de la tolérance est donnée par lettre h, il en résulte que la cote maximal de l'arbre est égale à la cote nominale. [2]

1.3 Le procédé de fabrication des arbres

Le procédé de fabrication est un ensemble de technique visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. L'usinage est le procédé de fabrication le plus adéquat pour la fabrication des arbres.

1.3.1 Tournage

Est un procédé de fabrication mécanique par coupe (enlèvement de la matière), mettant en jeu des outils à arête unique. La pièce est animée d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe), qui est le mouvement principal du procédé. L'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation (rectiligne ou non) appelé mouvement d'avance, permettant de définir le profil de la pièce. La combinaison de ces deux mouvements, ainsi que la forme de la partie active de l'outil, permettent d'obtenir des usinages de formes de révolution (cylindres, plans, cônes ou formes de révolution complexes) [3].

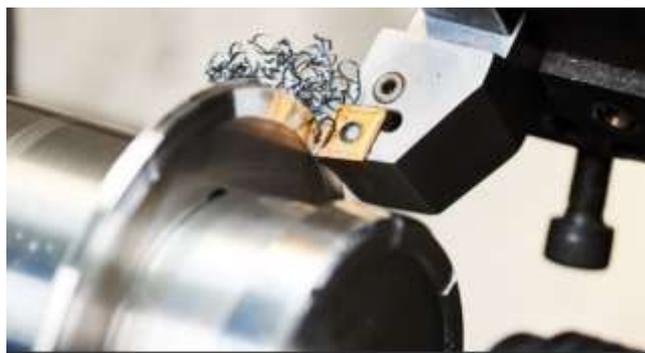


Figure1.2. Tournage mécanique.

1.3.2 Chariotage

En tournage, le chariotage (Figure 1.3) est une opération consistant à usiner sur un tour un cylindre d'un certain diamètre par déplacement de l'outil de coupe suivant un axe parallèle à l'axe de rotation de la pièce Z [3].

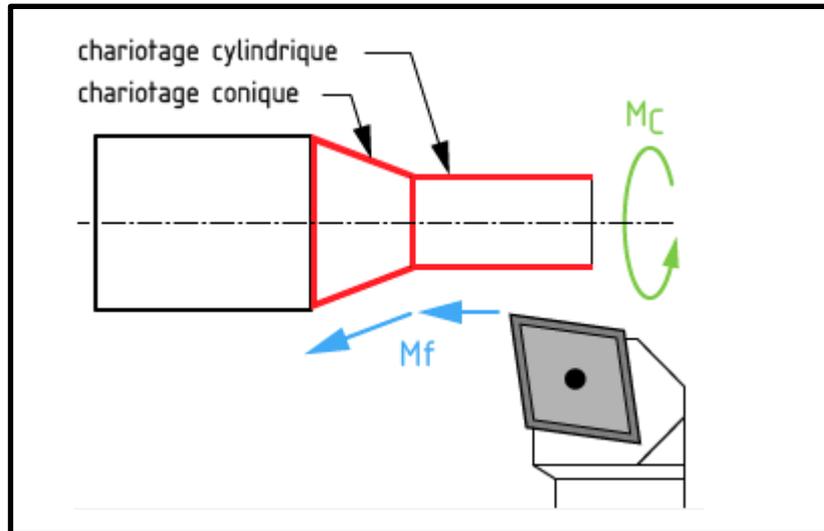


Figure 1.3. Le chariotage cylindrique et conique.

1.4 Les paramètres de coupe

Sont la vitesse de coupe, la vitesse d'avance et la profondeur de passe. Ces paramètres fondamentaux ont une influence significative sur les mécanismes de dégradation des outils 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, surfacage...)[4].

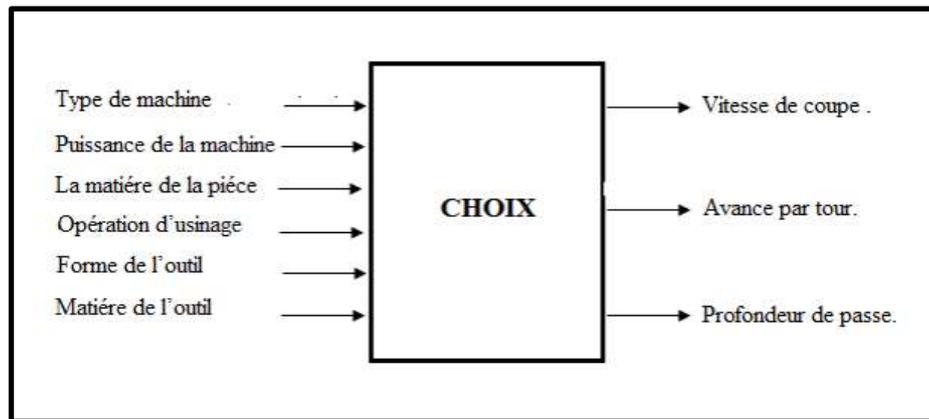


Figure1.4. Les choix des conditions de coupe.

1.4.1 Les Condition de coupe en tournage

Les conditions de coupe mises en jeu pendant le tournage, hormis les caractéristiques de l'outil, sont [3]. :

a. Vitesse de coupe

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

La relation reliant la vitesse de coupe et la vitesse de rotation est donnée par l'Équation suivante :

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

Avec :

D : diamètre de la pièce exprimée en mm ;

V_c : vitesse de coupe [m/mn] ;

N : vitesses de rotation [tour /mn].

D'où :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000}$$

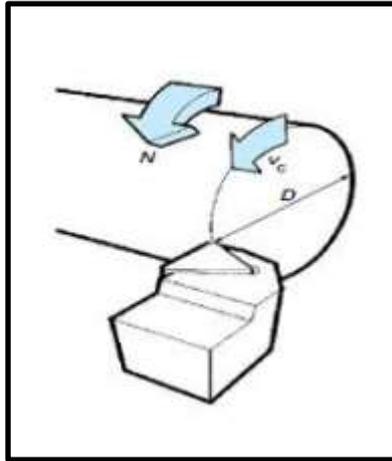


Figure1.5. Vitesse de coupe.

b. L'avance par tour

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

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

Avec :

V_f vitesse d'avance exprimée en mm/min.

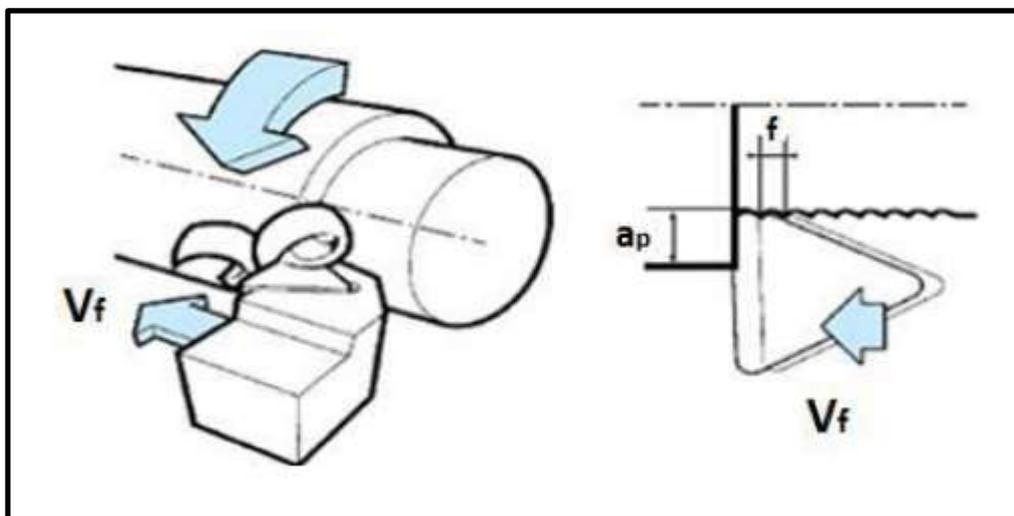


Figure1.6. Vitesse d'avance V_f , Avance par tour f .

c. La profondeur de passe

La profondeur de passe représente la différence des rayons avant et après usinage (Profondeur de la matière à enlever). Elle est notée a_p et exprimée en mm [4].

1.5 Gamme d'usinage des arbres

1.5.1 Ebauche

C'est une opération en tournage qui consiste à enlever un maximum de matière en un minimum de temps. L'objectif est dans ce cas d'augmenter au maximum le débit de copeaux.

1.5.2 Finition

Pour ce type d'opération c'est la qualité de réalisation qui est importante : la surface doit être lisse, les côtes doivent être correctes. Comme les efforts en jeu sont plus faibles que pour une ébauche.

1.5.3 Traitement thermique

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement, les traitements thermiques peuvent être classés par :

- Traitement dans la masse : (amélioration des propriétés de masse) trempe, revenu, recuit.
- Traitement superficielles : (amélioration des propriétés superficielles) durcissement par trempe après chauffage superficiel induction électromagnétique, flamme (chalumeau).

Effectuer un traitement thermique sur une pièce, c'est faire subir à celle-ci une variation de la température en fonction du temps.

Les cycles de traitement thermique sont composés de plusieurs étapes :

- ✓ Cycle de chauffe ;
- ✓ Maintenir en température ;
- ✓ Refroidissement sous atmosphère contrôlée pour chaque matériau à traiter (acier, alliages, inox). Les cycles sont adaptés en termes de durée, température, vitesse de refroidissement.

Les paramètres importants des traitements thermiques pour chaque cycle :

- ✓ La vitesse et le mode de mise en température ;
- ✓ Le temps et la température de maintien ;
- ✓ La vitesse et le mode de refroidissement.

But de traitement thermique :

Améliorer les caractéristiques des matériaux et rendre ceux-ci plus favorable à un emploi donné à partir des modifications suivantes :

- ✓ Augmentation de la résistance à la trempe et de la limite élastique R_m , R_e , $A\%$ en donnant une meilleure tenue de l'élément.
- ✓ Augmentation de la dureté, permettant à des pièces de mieux résister à l'usure ou aux chocs.

De régénérer un métal qui présente un grain grossier (affiner les grains, homogénéiser la structure) cas des matériaux avant de subir un forgeage.

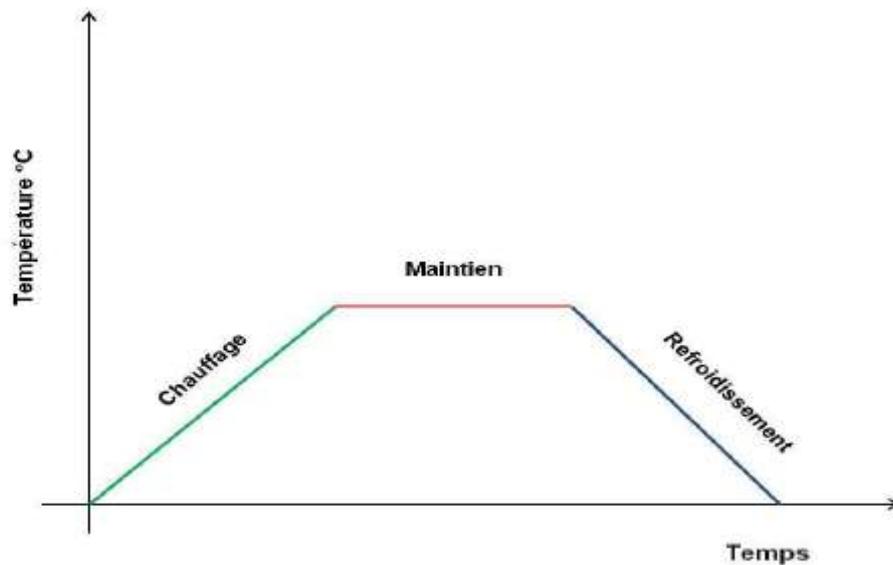


Figure1.7. Diagramme de base d'un traitement thermique de trempe.

1.5.3.1 Les étapes de chauffage

- Durée de préchauffage : le début de chauffage jusqu'à ce que la température nominale atteinte à la surface de la pièce.
- Durée de chauffage de pénétration ou l'égalisation : c'est le temps nécessaire pour atteindre la température nominale à la surface et le cœur de la pièce.

- Durée de maintien : c'est le temps nécessaire pour maintenir la pièce à une température, et à partir de la température atteinte dans le cœur.

Beaucoup de facteurs qui influencent sur le régime de chauffe des aciers tel que le diamètre (épaisseur), conductibilité, température de four...

C'est possible de déterminer la durée de chauffage de la pièce en dépendance de son diamètre et de son carbone équivalent (C_{eq}).

$$C_{eq} = c + \frac{Mn}{5} + \frac{Cr}{4} + \frac{Mo}{3} + \frac{Ni}{10} + v + \frac{Si-0.5}{5} + \frac{W}{10} + \frac{Ti}{5} + \frac{Al}{10}$$

Les teneurs maximal 0,9 % C 1,1 % Mn 1,18 % Cr 0,5 % Mo 5 % Ni 0,25 % V

1,18 % Si 2 % W 0,4 % Ti 2 % Al.

1.5.3.2 Conditions de chauffage

- L'appareil de chauffage doit permettre d'atteindre et avec précision de l'ordre de plus ou moins 5°C.
- D'éviter une dénaturation du métal et principalement une décarburation de notre acier (la décarburation se produit aux températures élevées par interaction des atomes de carbone de l'acier avec l'oxygène).
- De présenter des possibilités de préchauffage lorsque la température à atteindre est élevée.

1.5.3.3 Le refroidissement

Le point important pour la détermination du régime de refroidissement de la pièce est celui de structure souhaité à obtenir, on cherche toujours à refroidir rapidement pour avoir une productivité élevée mais cela a des dangers de fissuration et d'étirage des pièces.

Le refroidissement de notre acier s'effectue dans des bacs utilisant l'huile, le bain est maintenu à température constante.

La vitesse de refroidissement nécessaire à l'obtention d'un état de structure souhaité est déterminée selon le diagramme TTT (Température, Temps, Transformation).

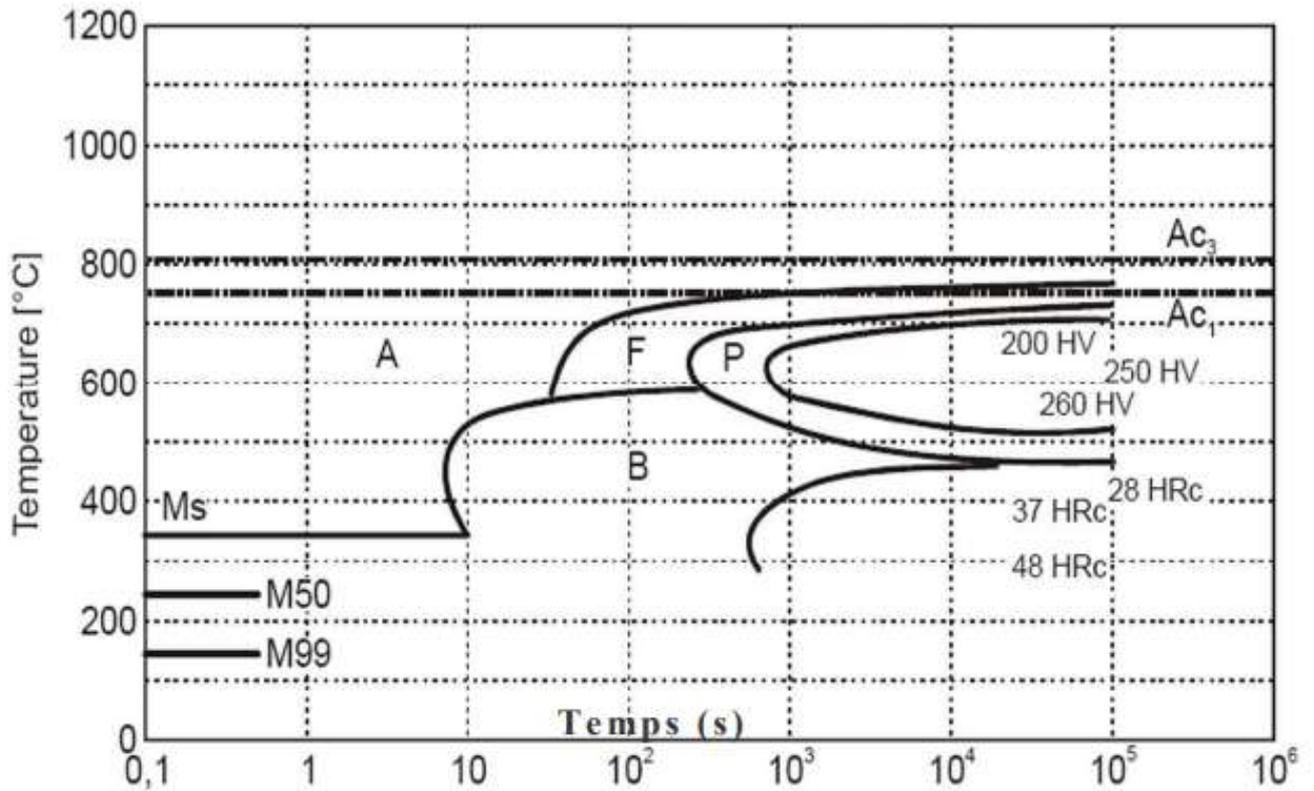


Figure1.8. Diagramme TTT de l'acier 42CrMo4.

Ac1 : température de début de transformation allotropique (α - γ) de fer.

Ac3 : température de fin de transformation allotropique (α - γ) de fer, début d'austénisation total.

La température varie assez lentement pour donner aux transformations le temps de s'effectuer, dans le cas contraire les transformations pourront se faire incomplètement, et pourront ne pas avoir lieu du tout, on n'obtient pas des nouveaux constituants que le diagramme d'équilibre ne peut l'indiquer, ils correspondant à des états hors d'équilibre.

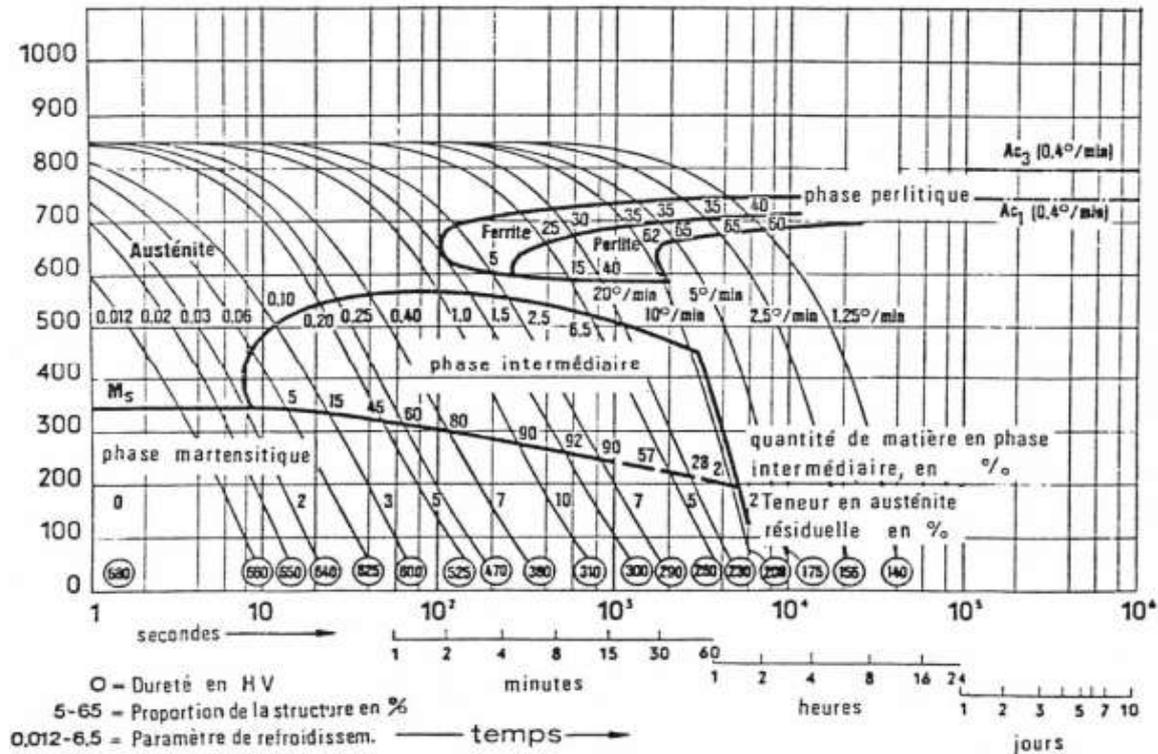


Figure 1.9. Diagramme TRC de l'acier 42CrMo4.

- a. L'austénite : est obtenue par chauffage à une température supérieure AC3.
- b. La martensite

Un acier est porté à une température supérieure à AC3 devient austénitique et par refroidissement à une vitesse suffisante on obtient de la martensite qui correspond à une maximum de dureté.

Quand l'acier est surfusion à un petit degré, le nombre de germes est petit et le temps d'incubation est grand.

L'augmentation du degré de surfusion le nombre de germes augmentent et le temps d'incubation diminue.

L'abaissement de la température provoque une diminution de la vitesse de diffusion et la stabilité de l'austénite augmente.

1.5.3.4 Domaine de température dans le diagramme TTT

- a. Perlite : au-dessus 550°C.
- b. Bainitique : entre 550 et 200 °C.

c. Martensite : au-dessus de 200°C.

Si le bain de refroidissement est à une température supérieure à A3 devient austénite et par refroidissement à une vitesse suffisante, on obtient de la martensite qui correspond au maximum de dureté.

L'austénite donne au refroidissement de la martensite mais en raison de l'homogénéisation température réalisée pendant l'arrêt momentané du refroidissement sont réduit.

La grosseur de grain d'austénite réel est déterminée par la température de chauffage.

- Si le bain de refroidissement est à une température supérieure à "Ar" on aura de l'austénite mais pas de martensite.
- Si la température maintenue constante et proche de "Ar" tout en lui étant supérieure l'austénite peut varier de quelques heures, jours, se transforme en bainite qui semble correspondre à une disposition particulière de ferrite et de cémentite, ce constituant

Conféré au métal une dureté aussi élevée que celle de martensite et une ténacité plus grande.

- Si la température est maintenue pendant un temps assez court l'austénite donne au refroidissement de la martensite.

- **Transformation Perlitique**

Se fait en trois étapes :

- L'apparition des germes de cémentite sur les joints de grains de l'austénite.
- Développement des germes de la cémentite tout en provoquant l'appauvrissement des places voisines en carbone et en se transformant en ferrite.
- Formation de perlite.

- **Transformation Bainitique**

Comme pour la transformation perlitique, l'austénite se décompose en deux phases par diffusion, la bainite comme la perlite, elle se décompose de ferrite et de cémentite mais elle ne se forme pas directement à partir de l'austénite, elle possède une dureté assez élevée.

- **Transformation Martensitique**

C'est au-dessus d'une température d'environ 180°C que se forme la cémentite à partir de l'austénite sur-fusionné, la martensite apparaît quand la température de l'austénite sur-fusionné diminue jusqu'à $T=180^{\circ}\text{C}$ et le processus de diffusion.

La martensite est une solution solide de carbone dans le fer α mais très saturée, son réseau cristallin est très détorse (déformé), la transformation martensite se produit sans déplacement des atomes de carbone, seulement les atomes de fer qui se déplacent à une distance plus petite que la distance interatomique. Elle se produit très vite, est une structure très dure.

Le phénomène de durcissement a un caractère physico-chimique avec le réseau cristallin du fer α très déformé par la présence des atomes de carbone.

L'acier est refroidi continuellement à partir du domaine de l'austénite.

1.5.3.5 Les différentes opérations de traitement thermique

a. La trempe

La trempe est un traitement thermique qui consiste à chauffer l'acier à une température correspondante à son point de transformation le plus élevé (entre 760 et 825°C) à cette température l'acier est maintenue jusqu'à la transformation des phases.

Ensuite l'acier subit un refroidissement rapide (pour obtenir une structure martensite et éviter une transformation perlitique).

La transformation de l'austénite doit commencer et terminer dans le domaine de la martensite.

La trempe est suivie d'une revenu pour diminuer la fragilité et les contraintes internes.

Après la trempe, la matrice martensite compte des particules de cémentite non dissoutes lors du chauffage, ce qui assure une dureté et une teneur à l'usure plus élevées.

- **Les défauts éventuels de la trempe :**

Ils sont généralement provoqués par des irrégularités de chauffage :

- ✓ Le brûlage : provenant d'une surchauffe prolongée modifie la structure cristalline du métal par grossissement des grains, tout en diminuant leur cohésion.
- ✓ La décarburation : neutralisant les effets de la trempe est dû à des réchauffages trop fréquents.
- ✓ Les tapures : sortes de fissures au sein des pièces trempées dues à des tensions internes.

b. Le revenu

Le revenu est un traitement thermique pratique vient après la trempe pour corriger les défauts causés par la trempe, à fin de lui faire perdre graduellement sa dureté primitive et sa fragilité.

Le chauffage de l'acier trempé est effectué à une température inférieure à AC1 suivie d'un maintien à cette température et le refroidissement jusqu'à la température ambiante.

Le revenu est destiné pour obtenir les propriétés mécaniques requises la martensite se Transforme en de nouveaux constituants (sorite, bainite).

La vitesse de refroidissement après revenu n'influence pas sur l'état des contraintes résiduelles, plus que le refroidissement lent plus que les contraintes sont faible.

c. Le maintien

Le maintien doit assurer le chauffage de la pièce jusqu'au cœur et l'achèvement des transformations de phases, faut pas être trop long pour ne pas provoquer le grossissement des grains et la décarburation des couches superficielles de l'air.

La durée totale de chauffage : $T_t = T_{ec} + T_{si}$

T_{ec} : durée d'échauffement à cœur jusqu'à la température demandé.

T_{si} : durée de séjour (dépend la composition de l'acier).

d. Vitesse de refroidissement

Le refroidissement doit se réaliser à une vitesse supérieure à la vitesse critique de trempe. Le milieu de trempe doit assurer le refroidissement dans toute la section de la pièce et l'obtention d'une structure martensite sans produire de défauts [5].

1.6 Rectification au tour (tournage dur)

La combinaison du tournage dur et de la rectification assure les avantages d'un usinage complet et d'une augmentation de la qualité et de la flexibilité. Lorsqu'un usinage de précision (tournage dur et rectification) est réalisé sur une machine, les temps de passage ainsi que les temps productifs peuvent être réduits de manière stricte.

Chapitre 2

Présentation et usinage du matériau

42CrMo4

2.1 Le matériau étudié

Le matériau utilisé est un acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempe et revenu. Il présente une bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité. C'est un acier à usinabilité améliorée; très employé en mécanique, pour des pièces de moyenne à forte sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, pignon. Permet de réaliser des pièces de moyennes et grosses sections soumises à des contraintes élevées. Il permet d'obtenir une dureté élevée ainsi qu'une bonne résistance à l'usure.

Les aciers faiblement alliés sont en général utilisés à l'état trempé et revenu. Leur niveau de résistance est essentiellement dû à la trempe. Il résulte des caractéristiques particulières du mode de décomposition de l'austénite qui se produit lors d'un refroidissement rapide. A l'état trempé, ces aciers contiennent un grand nombre de défauts cristallins ponctuels et de dislocations qui leur confèrent une résistance mécanique augmentée. Par conséquent, la ductilité tend à être réduite, c'est pour cette raison que ces aciers ne sont jamais utilisés à l'état trempé, mais subissent toujours des traitements de revenu. Ces traitements permettent de modifier et d'ajuster les propriétés mécaniques de l'acier : limite élasticité, résistance à la traction, ténacité, dureté et résilience aux besoins de l'utilisation [6].

2.1.1 L'influence des éléments d'addition

Pour leurs emplois, ces aciers doivent posséder les propriétés suivantes :

- Une grande dureté, pour résister aux déformations lors du travail par enfoncement, ou par cisaillement du métal, ou par pénétration.
- Une bonne résistance à l'usure.
- Une absence de fragilité, notamment dans les utilisations pour lesquelles la pièce est soumise à des changements de température brusques et répétés.
- Une bonne trempabilité pour que la structure soit homogène sur une très grande épaisseur après traitements thermiques de trempe.

Cet ensemble de propriétés peut être atteint par l'addition des éléments d'alliage. On distingue à cet effet :

a. Effet du carbone

Le carbone est l'élément d'alliage de l'acier ayant la teneur la plus importante et aussi celui qui a le plus d'influence. C'est un élément qui participe activement à la formation des carbures. C'est un élément à grand pouvoir abrasif. Il en résulte que l'augmentation de la teneur en carbone accroît la dureté, la charge à la rupture et la limite élastique, par contre l'allongement, la striction et la résilience diminuent.

b. Effet du chrome

Le chrome est un élément carburigène, il augmente la dureté, la trempabilité et favorise l'obtention d'un grain fin. Des additions de chrome améliorent les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion. Cet élément est très employé en teneur variant de (0.25 à 30%). Suivant l'application précise que l'on veut obtenir.

c. Effet du Molybdène

Le molybdène est un élément d'addition principale dans la composition chimique étudiée. Il élève la résistance à la traction et à la fatigue, augmente la dureté et la trempabilité, tout en diminuant l'allongement. Sa présence conduit à la formation de petites particules résistantes à l'abrasion et évite le grossissement des grains austénitiques à haute température.

d. Effet du tungstène

Le tungstène est un élément alphasé et carburière. Il augmente la résistance à l'usure par abrasion. Le tungstène possède une vaste gamme de propriétés intéressantes.

Ce métal très dense, a le point de fusion le plus élevé de tous les métaux (3410°). Il se caractérise par un coefficient de dilatation thermique bas, une grande résistance à la traction à la température élevée. Le tungstène est un métal le plus dur des métaux réfractaires et le carbure de tungstène qu'il développe compte parmi les plus durs des carbures. Les carbures de tungstène sont peu sensibles au revenu d'où son avantage dans les aciers devant résister à chaud.

e. Effet de silicium

Le silicium est un élément alphasé et un désoxydant, permet également d'améliorer la trempabilité de l'alliage et accroît la résistance à l'usure abrasive. La trempabilité est l'aptitude d'un acier à se transformer en martensite dans la masse d'une pièce.

Grace à cette propriété, on peut augmenter la dureté après traitement thermique d'un acier. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'une augmentation de dureté se fait très souvent au détriment de la ductilité. Il améliore la résistance à l'oxydation des aciers au chrome.

f. Effet du manganèse

Le manganèse est un élément désoxydant et désulfurant, tout comme le silicium, il augmente la trempabilité d'un acier et élevé à la fois la limite d'élasticité et la ténacité, l'apport de manganèse fait décroître la conductivité thermique de l'acier de contenant, ce qui peut être un atout ou une faiblesse en fonction de l'utilisation voulue. Il se combine au soufre [6].

2.1.2 Désignations normalisées

Tableau 1. Appellation normalisé du 42CD4.

AFNOR	DIN	NF EN 10027-1
42 CD 4	42 Cr Mo 4	42 Cr Mo 4 (1.7225)

2.1.3 Analyse chimique moyenne

Tableau 2. Composition chimique moyenne du 42 Cr Mo 4.

	C %	Si %	Mn %	P %	S%	Cr %	Mo%
% en poids	0.38/0.45	0.40 Au max	0.60/0.90	0.035 Au max	0.035 Au max	0.90/1.20	0.15/0.30

2.1.4 Traitement thermique

Tableau3. Température et milieu de traitement thermique.

	Température	Milieu
Recuit de normalisation	725°-750°C	Air
Trempe	825°-875°C	Huile
Revenu	450°-650°C	Air

Tableau4. Propriété mécanique du 42 Cr Mo 4

Norme	Limite élastique (N/mm ²)	Résistance à la traction (N/mm ²)	Allongement A (%)	Striction à la rupture S(%)	Résilience (J/cm ²)	Dureté Brinell HB
42 CrMo4	650	900-1100	12	50	35	217

Les arbres de transmission sont généralement usinés. Nous présentons dans ce qui suit, l'usinabilité du 42CrMo4 et un aperçu sur l'usure des outils de coupe car on s'intéresse à la durée de vie de nos outils.

2.2 Formation du copeau

La coupe des métaux signifie la formation de copeau lors d'un usinage par enlèvement de matière l'arrête de l'outil pénètre dans la pièce et enlève le copeau, ce phénomène se fait par :

- ✓ La compression de la matière sur la face d'attaque ;
- ✓ Le cisaillement dynamique du copeau suivant le plan de cisaillement ;
- ✓ L'écoulement du copeau.

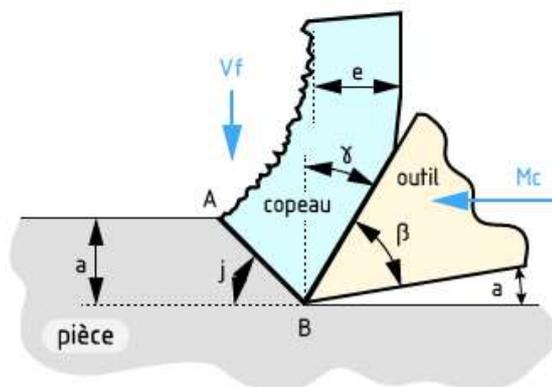


Figure2.1. Formation de copeau.

2.2.1 Les principales étapes de la formation de copeau sont

- ✓ Pénétration (l'outil s'engage dans la pièce).
- ✓ Accumulation (compression de la matière).
- ✓ Formation (glissement).

- ✓ Séparation.

La chaleur joue un rôle important dans la formation de copeau, pour un acier rapide est 400 C° et les carbure est 600 C°.

Dans le cas d'un acier rapide coupe un acier la couleur de copeau est jaune pâle, par contre le cas d'un carbure coupe un acier la couleur de copeau est Blue fiancé.

Si le copeau est froid y' aura une difficulté de glissement.

La surface intérieure de copeau est en contact avec l'outil c'est la surface écrasé (une surface très chaude) subit la plus grande déformation par contre la surface extérieure ne touche pas l'outil (une surface froide) très tendue.

Il existe trois types de copeau :

- ✓ Continue : avec une forme longue spirale (le bon copeau).
- ✓ Arraché : c'est un résultat d'une déformation excessif de la pièce (copeau à éviter).
- ✓ enchevêtré : c'est un copeau mort obtenu par une coupe excessif ou un outil inné à cause de la chaleur.

Type	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E
Faible profondeur de passe $d < 7\text{mm}$					
Grande profondeur de passe $d = 7 - 15\text{mm}$					
Longueur copeau l	Pas en spirale	$l \geq 50\text{mm}$	$l \leq 50\text{mm}$ 1-5 spirale	≈ 1 spirale	Moins de 1 Demie spirale
Nota	<ul style="list-style-type: none"> ● Forme continue irrégulière ● Copeaux enroulés autour de la pièce et de l'outil 	<ul style="list-style-type: none"> ● Forme régulière continue ● Copeaux longs 	Bon	Bon	<ul style="list-style-type: none"> ● Copeaux giclent ● Broutements ● Mauvais état de surface ● Maximum

Figure2.2. fractionnement de copeaux en tournage des aciers.

Pour former un parfait copeau, il faut une égalité de la quantité de déformation, la fluidité de la matière et la différence de température.

La vitesse de coupe, angle d'attaque, l'avance, profondeur de coupe et pente de coupe sont les paramètres qui influencent la formation du copeau.

2.2.2 L'influence de ces paramètres :

vitesse de coupe: elle varie d'après le type de métal.

- ✓ vitesse de coupe très basse obtention d'un copeau arraché.
- ✓ vitesse de coupe élevée obtention d'un copeau enchevêtré.
- ✓ La bonne vitesse de coupe produit un copeau continue (bon copeau).

Dans le cas d'un matériau dur faut éviter les outils à angle positives une pente de coupe négative pour plus de chaleur, l'usinage à l'aide d'un outil négative récré beaucoup d'effort donc des machines outil très puissantes et rigides.

Pente de coupe :

- ✓ Pente positif produit un copeau spirale par ce qu'elle coupe sur le côté froid.
- ✓ Pente neutre produit un copeau spirale continue.
- ✓ Pente négative produit un copeau arrachée par ce que c'est une coupe avec beaucoup de chaleur.

La profondeur de la coupe :

- ✓ Très profonde donne un copeau arrachée.
- ✓ Profondeur normal donne un copeau continu.
- ✓ Profondeur très légère donne une poussière ce que signifie l'incapacité de l'outil à former un copeau.

2.2.3 L'influence des vitesses de coupe sur la formation du copeau

- Pour les outils en acier rapide supérieure :
 - Acier à bas niveau de carbone 30 m/min.
 - Acier à moyen niveau de carbone 23 m/min.
 - Acier à haut niveau de carbone 16 m/min.
 - Aluminium 130 m/min.
 - Laiton 65 m/min.
 - Bronze 26 m/min.

- pour les outils en carbure faut multiplier par 4 [7]

2.3 L'usure des outils de coupe

L'usure est un ensemble complexe de phénomènes difficiles à interpréter, amenant une émission de débris avec perte de masse, de cote, de forme, et s'accompagnant de transformations physiques et chimiques des surfaces. L'usure comporte une part importante de réactions chimiques; des couches superficielles chimiquement inertes peuvent parfois se révéler plus résistantes au frottement que des couches dures, surtout en présence de milieux agressifs. Elle est généralement combattue à cause de ses effets négatifs mais elle présente aussi des aspects favorables tels que l'affûtage des outils, la finition d'une surface par rectification [8].

2.3.1 Phénomènes mécanique

a. 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 microrugosités de ces surfaces, par contact et sous l'influence des fortes pressions engendrées par l'usinage, vont générer des microsoudures.

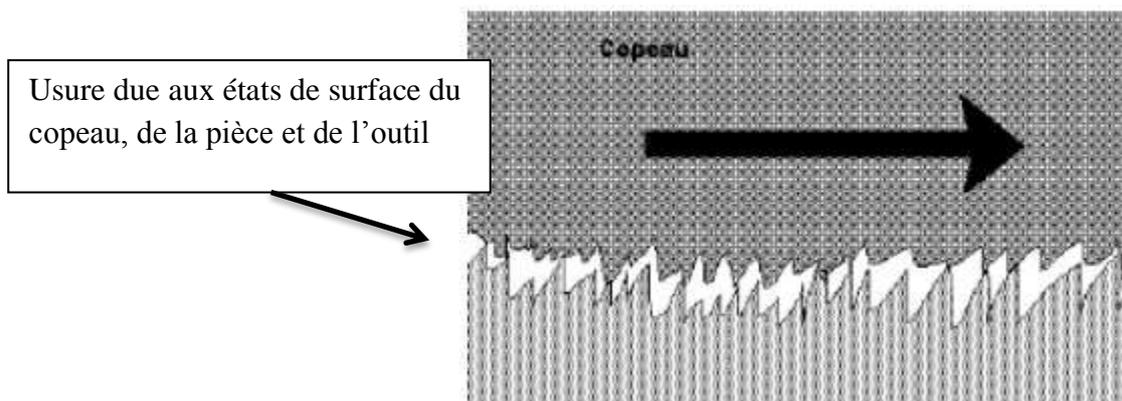


Figure2.3. Processus d'usure par adhésion mécanique.

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. Cette usure est très faible et généralement négligeable.

b. 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 proportion des phases) 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 11). 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.

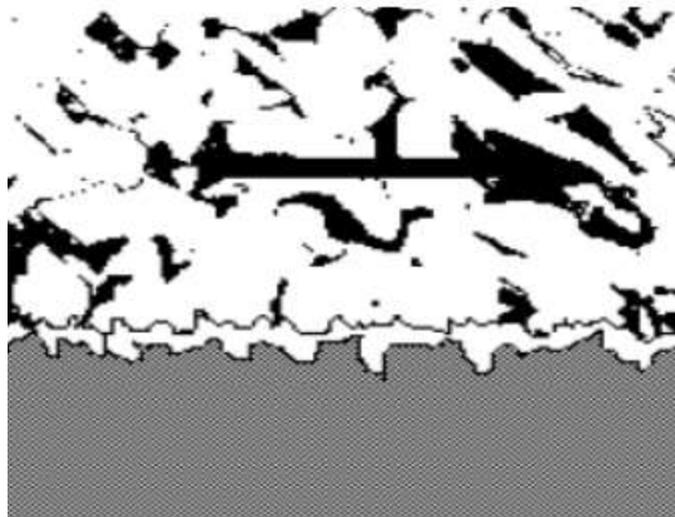


Figure2.4. Processus d'usure par abrasion.

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.

2.3.2 Les paramètres qui influencent 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 deuxième des conditions de coupe (vitesse de coupe, avance, profondeur de passe, lubrification).

- Vitesse de coupe : La température de coupe étant croissante avec la vitesse de coupe, ce paramètre aura une très grande influence sur l'usure.
- Avance : Les grandes avances font augmenter l'intensité des efforts de coupe, et diminuent la durée de vie de l'outil.
- Profondeur de passe : La variation de la profondeur de passe modifie légèrement l'écoulement de la chaleur le long de l'arête tranchante, son influence reste modeste.

2.3.3 Influence du couple mouvement de pièce / mouvement d'outil

Son influence sur l'usure dépend de ses propriétés physiques (conductivité 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.

2.3.4 Type d'usure des outils

Dans cette partie, nous décrivons les conséquences de l'usure. Ces dernières sont mesurables (figure2.5).

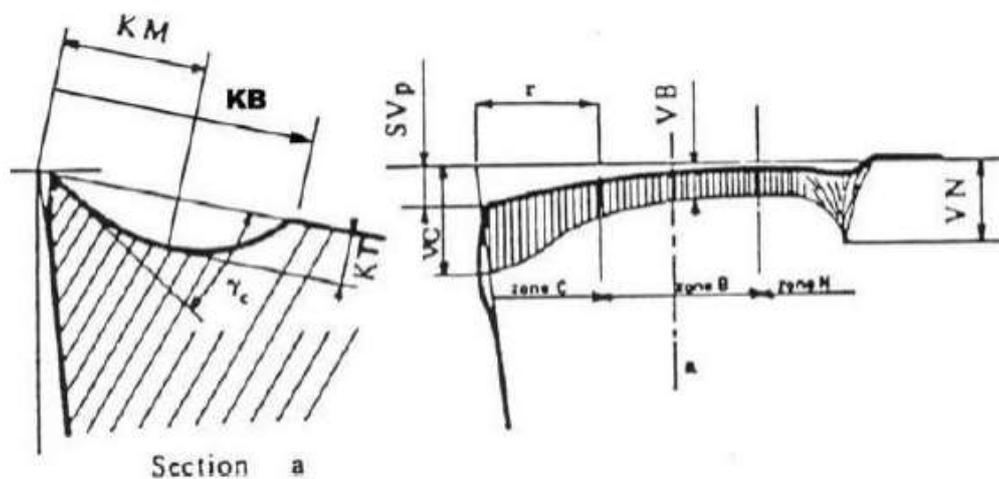


Figure2.5. Schéma de la caractérisation de l'usure d'un outil.

Indice :

- KM : Distance du centre du cratère / pointe initiale de l'outil
- KT : profondeur d'un cratère
- KB : Largeur du cratère

- γ_C : Angle de cratérisation
- VB : Hauteur de l'usure en dépouille
- VN : profondeur d'entaille par rapport à l'arête de coupe initiale
- VBC : Profondeur entre l'arête initiale et la zone usée
- SV: Profondeur entre l'arête initiale et la pointe de l'outil usé

a. Usure en dépouille

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. C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée par une valeur d'usure admissible VB.

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

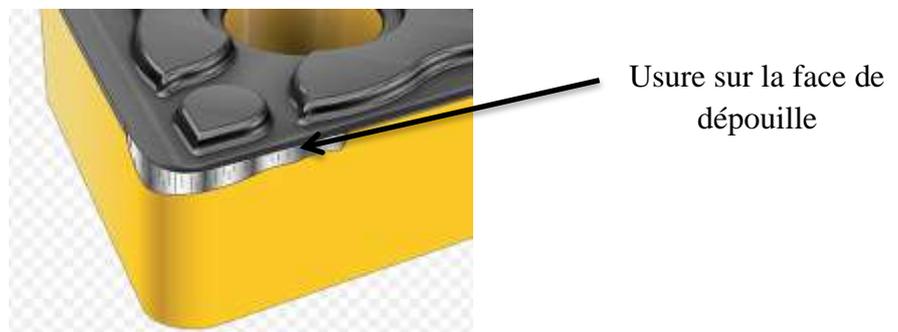


Figure2.6. L'usure en dépouille.

b. Usure en entaille

Elle apparaît ponctuellement au niveau du point de contact entre l'arête principale de coupe et la surface de la pièce mais elle peut aussi apparaître sur la face de dépouille secondaire. Elle est due à l'écrouissage ou l'oxydation de la pièce.

Ce genre d'usure due à des phénomènes métallurgiques (calamine des pièces forgées, différence de taille de grain des pièces moulées, oxydation des aciers, austénitiques par exemple) est caractérisé par l'indice VN.

Suivant l'importance de cette usure, il y a des risques de rupture, Cependant il est à remarquer que les entailles doivent être exclues de la mesure de VB.

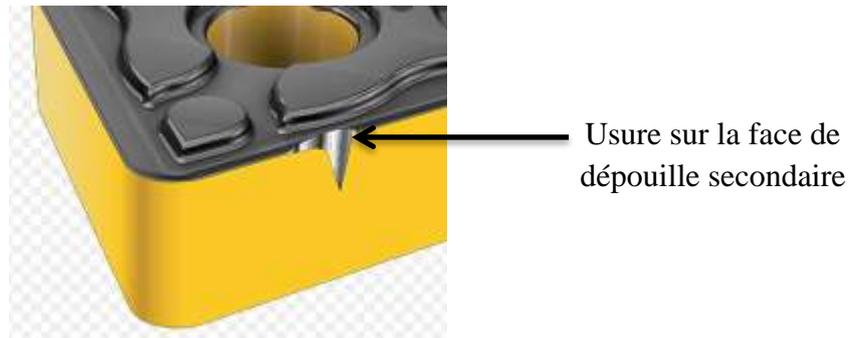


Figure2.7. L'usure en entaille.

c. Usure en cratère

C'est une usure en creux sur la face de coupe, caractérisée par la profondeur de cratérisation (indice KT) et le rapport (KT/KM), ou son angle de cratérisation γ_c .

Elle peut avoir à terme une incidence sur la tenue d'outil (durée de vie : effondrement ou recul de l'arête de coupe).

L'usure est souvent constatée sur les outils en carbures, elle provoque généralement la rupture de la pointe de l'outil.

A valeur critique est celle à partir de laquelle l'outil est considéré comme hors d'usage avec risque important de rupture de l'outil.

L'usure est généralement due à une vitesse de coupe excessive ou à une avance trop faible.



Figure2.8. L'usure en cratère.

d. Ecaillage de l'arête de coupe

C'est une destruction de l'arête de coupe par arrachement de petits fragments d'outil, elle est généralement accompagnée d'une usure de la face de dépouille et de ce fait n'est pas

toujours reconnaissable. Elle est générée par les chocs thermiques et les vibrations. Elle peut générer des ruptures. Les écaillages en dehors de la partie active de l'arête proviennent de l'impact de copeaux, par suite d'une mauvaise évacuation. Cette usure est souvent le fait de chocs thermiques ou d'arête trop fragile.



Figure2.9. L'écaillage de l'arête.

e. Rupture de la plaquette

Une rupture de la plaquette signifie en général détérioration de l'outil et de la pièce. Ses causes sont multiples et dépendent de la machine et de la pièce. Elle est souvent le résultat d'entailles sur l'arête de coupe, d'une craterisation ou d'une usure trop importante.

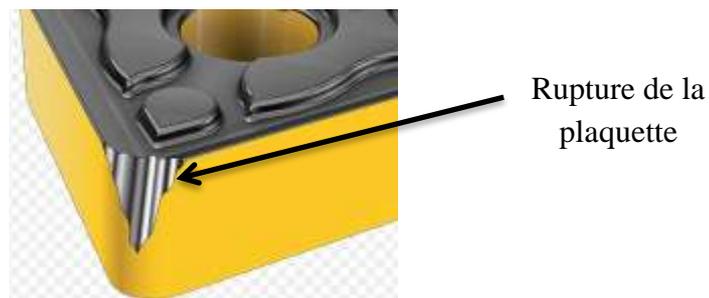


Figure2.10. La rupture de la plaquette.

f. Arêtes rapportées

Les arêtes rapportées résultent d'une accumulation de métal de la pièce usinée sur la face de coupe, en particulier dans le cas de matériaux difficilement usinables. Il arrive parfois que cet apport de métal se détache et détériore l'arête de coupe. Il mène en outre à des états de surface médiocres. Le phénomène est dû à une vitesse de coupe et une avance trop faible ou des angles de coupe non appropriés.

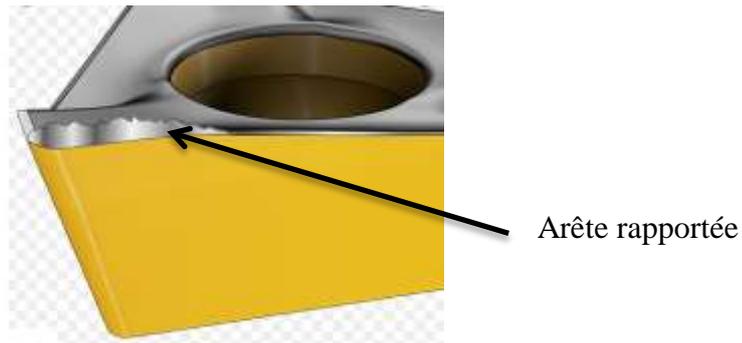


Figure2.11. L'arête rapportée.

g. Déformation plastique

Elle est occasionnée par une sollicitation trop importante de l'arête de coupe (matériaux usinés trop durs) en combinaison avec des températures d'usinages élevées. La zone de déformation plastique du matériau dépassée, il y aura rupture. On peut trouver cette déformation plastique en parallèle d'une cratérisation. En effet le cratère affaiblit la section de l'outil. Critère caractéristique : VBC et SVP.

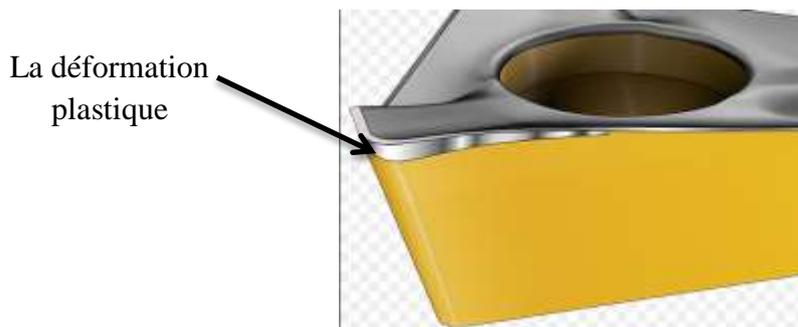


Figure2.12. La déformation plastique.

h. Fissurations de l'arête de coupe ou usure en peigne

Légères fissures sensiblement perpendiculaires à l'arête de coupe occasionnées par les chocs thermiques résultant des interruptions de coupe, en particulier le Risque de rupture [8].



Figure2.13. La fissuration de l'arête.

2.3.5 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.

Chapitre 3

*Partie expérimentale, résultats et
discussions*

Partie Expérimentale

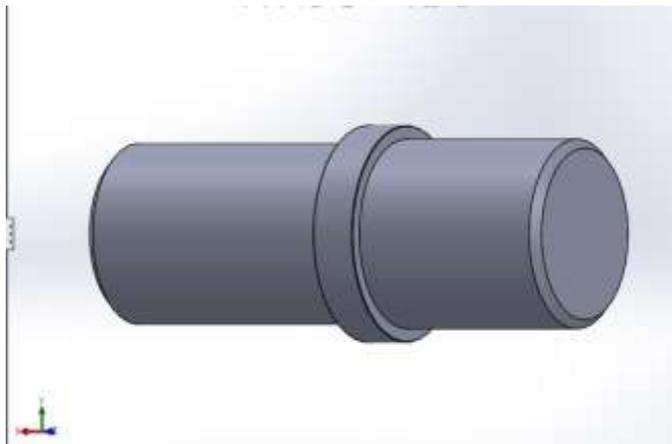
3.1 Préparation des pièces

Pour nos besoins en échantillon, 9 pièces en acier 42CrMo4 ont été découpées sur une scie mécanique. Les pièces ont un diamètre 50 mm et 119 mm de longueur.



La pièce subit un ensemble d'opérations de tournage :

- ✓ un chariotage ;
- ✓ un dressage ;
- ✓ chanfrein vers la fin.



La pièce a une longueur de 115 mm et un épaulement de 10 mm, la partie plaquée contre le mandarin doit avoir 45 mm de longueur, 42 mm de diamètre avec un chanfrein, et un épaulement de 10 mm de longueur et 48 mm de diamètre.

La longueur a charioté doit avoir 60 mm de longueur et 48 mm de diamètre et un chanfrein. (voir l'anex)

Les cotations des pièces obtenues sont données dans le tableau suivant :

Tableau5. Les cotations des pièces obtenues.

N° de pièce	Longueur de la partie à charioter	Diamètre de la partie plaqué contre mandrin	Diamètre de la partie à charioter	Masse
1conventionnel	60.96 mm	42.27 mm	48.26 mm	1.210 Kg
2conventionnel	59.50mm	42.03 mm	48.04 mm	1.226 Kg
3conventionnel	59.70 mm	42.09 mm	48.41 mm	1.234 Kg
1 Numérique	60.20 mm	42.31 mm	48.22 mm	1.242 kg
2 Numérique	60.20 mm	42.14 mm	47.90 mm	1.245 Kg
3 Numérique	59.70 mm	42.11 mm	47.77 mm	1.226 Kg
4 Numérique	59.80 mm	42.34 mm	48.27 mm	1.204 Kg
5 Numérique	59.65 mm	42.13 mm	47.79 mm	1.229 Kg
6 Numérique	59.40 mm	42.01 mm	47.86 mm	1.226 Kg

3.2 Machine-outil

Nos études basées sur l'usinage en tournage avec une variation de la vitesse de coupe,

Pour cela nous avons utilisé deux types de tour :

Tour parallèle universel



Figure3.1. Tour conventionnel Trens SN40C.

Un tour conventionnel sa vitesse de rotation max c'est 2000 tr/min. les caractéristiques du tour utilisé sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 6. Les caractéristiques du tour Trens SN 40C

Diamètre admis au-dessus du banc	400 mm
Diamètre admis au-dessus du chariot	220 mm
Diamètre maximum à charioter dans le rompu	600 mm
Largeur du rompu en amont du plateau de serrage	230 mm
Hauteur des pointes au-dessus du banc	200 mm
Distance entre pointes	1060 mm
Longueur de tournage SN 40C	1000 mm
Couple de torsion permis	1200 mm
Vitesse de rotation limite du couple de torsion	45 m^{-1}
Poids maximal de la pièce à usiner à 45 $mn^{-1}kg$	300 $mn^{-1}kg$
Poids maximal entre pointes /vitesse de rotation 45 $mn^{-1}kg$	200 $mn^{-1}kg$
Poids maximal entre pointes et lunette/vitesse de rotation 45 mn^{-1}/kg	200 45 $mn^{-1} kg$
Moteur électrique type	4 AP71-2
Puissance	5.5K W
Vitesse d'avance rapide	2840 l mn^{-1}
Mandrin de serrage universel à 3 ou 4 mors	Φ 200 mm
Nombre de degré d'avance	38

La deuxième partie de nos essais est effectuée sur un tour à commande numérique de type OPTICA 360 de chez CAZENEUVE, machine disponible au niveau de l'atelier ets GUERROUT, sise à Russel, Bejaia, que nous remercions infiniment pour son aide à réaliser cette partie de notre étude nous permettant de faire des comparaisons entre l'usinage en conventionnel et en numérique.



Figure3.2. Un tour à commande numérique CAZENEUVE, OPTICA360.

Le tour à commande numérique est de la marque CAZENEUVE Optica 360 SIEMENS, sa vitesse de rotation maximal est 3000 tr/min. les caractéristique de cette machine sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

Tableau7. Les caractéristique de tour à commande numérique CAZENEUVE, OPTICA360.

Tension d'alimentation	400 v
Longueur	1950 mm
Largeur	1320 mm
Hauteur	1820 mm
Masse	2000 kg
Diamètre maximum de passage au-dessus du banc	380 mm
Diamètre maximum de passage au-dessus du chariot	200 mm

Course transversale	180 mm
Course longitudinale	610 mm
Vitesse de broche maximum	3000 tr/min
Rapport de transmission	2
Vitesse maximum de moteur	9000 tr/min
Puissance	11 KW
Couple	70 Nm
Tourelle multifix type B section des outils de chariotage	20 *20 mm
Couple maximum en continu du moteur d'avance de l'axe longitudinal	3 N
Couple maximum en continue du moteur d'avance de l'axe transversal	
Vitesse de déplacement rapide	5 m/min

3.3 L'outil de coupe

Les outils en carbures sont les plus utilisés dans l'industrie, ils existent différentes formes pour chaque type de matériau et pour chaque type d'usinage.

Les principaux composants des outils en carbures métalliques sont le carbure de tungstène (phase α), et le carbure de titane, de tantale ou le niobium (phase γ) et d'un élément de liaison entre les grains de carbure généralement du cobalt (phase β) de l'ordre de 8 à 20%.

Les constituants de la partie active des outils de coupe doivent posséder certaines propriétés :

- Une bonne résistance mécanique au frottement ;
- Résistance à l'usure ;
- Ténacité ;
- Bonne résistance aux chocs ;
- Bonne résistance à la pénétration ;
- Dureté ;
- Une bonne résistance à la chaleur et de garder ces propriétés à haute température ;
- Une bonne résistance à la pression ;

- Une grande stabilité chimique vis-à-vis du matériau usiné et de l'atmosphère environnante ;
- Une faible adhésion avec le matériau sous haute pression et haute température ;
- Un bas prix d'achat et de mise en forme ;

L'usinage a été effectué en utilisant deux types d'outil de coupe en carbure pour un chariotage, les deux types de plaquettes utilisées sont :

KNUX pour l'ébauche.



Figure3.3. Plaquette KNUX 160405R11

VNMG pour la finition et rectification.



Figure3.4. Plaquette VNMG 160404-MA

Les caractéristiques de ces deux plaquettes sont données dans le tableau suivant :

➤ **KNUX**

Tableau8. Les caractéristiques de la plaquette KNUX.

Forme de la plaquette	KNUX	Angle de dépouille	0°
Dimension de la plaquette	160405R11	Angle et forme de plaquette	55°
Matière	Carbure	Classe de tolérance	U
Désignation iso	KNUX 160405R11	Nombre d'arrêtes de coupe	2
Matière usinée	Acier	Type de plaquette	Négative
Epaisseur de plaquette	4.76 mm	Revêtement	Revêtu
Longueur arête	16 mm	Marque	ZCC.CT
Rayon de plaquette	0,4 mm	Type d'opération	Tournage

➤ **VNMG**

Tableau 9. Les caractéristiques de la plaquette VNMG

Forme de la plaquette	VNMG	Angle de dépouille	0°
Dimension de la plaquette	160404-MA	Angle et forme de plaquette	35°
Matière	Carbure	Classe de tolérance	M
Désignation ISO	VNMG 160404- MA	Nombre d'arrête de coupe	4
Matière à usinée	Acier - fonte	Type de plaquette	Négative
Epaisseur de la	4.76 mm	Revêtement	Revêtu

plaquette			
Longueur d'arête	16 mm	Marque	MITSUBISHI CARBIDE
Rayon de la plaquette	0.4 mm	Type d'opération	TOURNAGE

Pour nos essais nous avons utilisé les conditions de coupe suivantes :

$$V_c = 100 \text{ m/min}$$

$$N = 710 \text{ tr/min}$$

$$F = 0,20 \text{ mm/tr}$$

$$a_p = 1 \text{ mm pour le chariotage}$$

$$a_p = 0,5 \text{ mm pour le dressage}$$

3.4 Les essais

- L'opération : chariotage
- Pour cet essai la plaquette utilisé c'est KNUX
- La pièce est de diamètre $D = 42,42 \text{ mm}$ et une longueur $L = 110 \text{ mm}$
- Le diamètre plaqué contre le mandrin, la longueur avant épaulement et hauteur d'épaulement sont :
 - $D_1 = 38,47 \text{ mm}$
 - $L_1 = 29,00 \text{ mm}$
 - $L_e = 4 \text{ mm}$

3.5 Méthodes

Pour l'ébauche et la semi finition on utilise la plaquette KNUX avec angle d'attaque $\beta = 50^\circ$, rayon de bec $r_\epsilon = 0.4 \text{ mm}$. Pour la finition on utilise la plaquette VNMG avec un angle d'attaque $\beta = 35^\circ$, rayon de bec $r_\epsilon = 0.2 \text{ mm}$.

On a réalisé des essais de chariotage sur une pièce de 42 mm de diamètre avec des conditions de coupe V_c , f , a_p bien choisi dans le but de les optimiser et les utiliser dans la deuxième étape à savoir le hard Turing (après le traitement thermique). La première étape

d'usinage est divisée en deux parties, les conditions de coupe utilisées sont représentées dans les tableaux suivants : Tableau10

Après les premiers essais nous avons entamé pour une deuxième partie d'usinage ou nous avons fixé la profondeur de passe et l'avance et nous avons varié la vitesse de coupe (tableau 10).

Tableau 10. Conditions de coupes utilisées dans la première étape d'usinage

Numéro de l'essai	Paramètres de coupe		
	Vc(m/min)	f(mm/tr)	ap(mm)
1	120	0.20	2
2	160	0.44	3
3	160	0.20	2
4	120	0.22	3
5	90	0.20	2
6	150	0.16	2

Tableau 11 Conditions de coupe utilisées dans la deuxième étape d'usinage

Numéro de l'essai	Paramètres de coupe		
	Vc(m/min)	f(mm/tr)	ap(mm)
1	120	0.22	2
2	180	0.22	2
3	240	0.22	2

3.6 Résultats et discussion

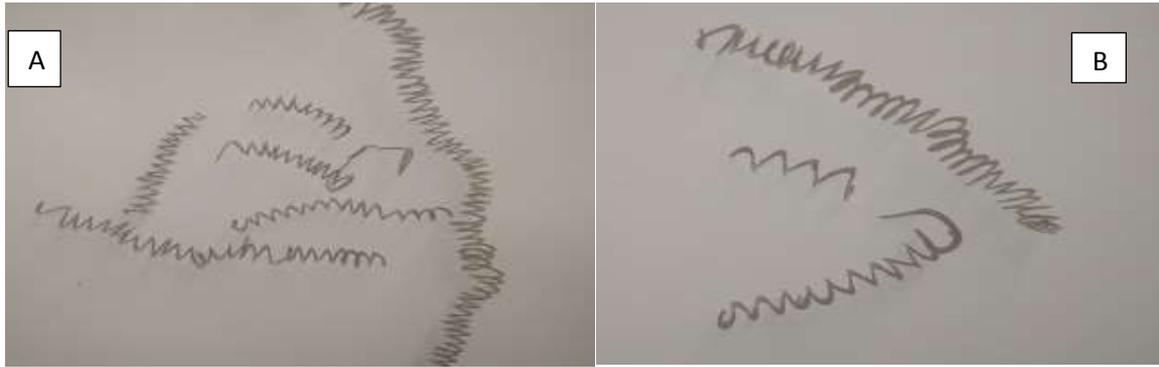


Figure3.5. Copeaux obtenus lors de l'essai 01 ($V_c=120\text{m/min}$) : (A) représente le copeau après la première passe de 2mm et (B) la deuxième passe.



Figure 3.6. Usure de la plaquette KNUX avec $V_c=120\text{m/min}$:(A) représente l'usure constaté après la première passe et B après la deuxième passe

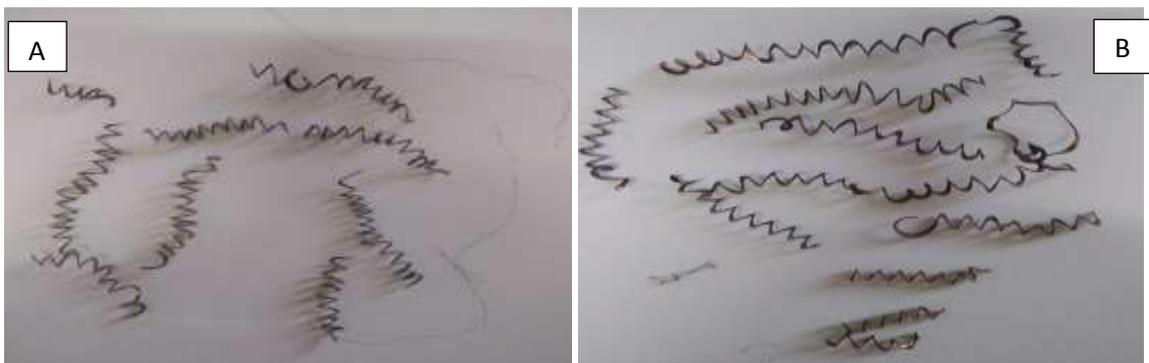


Figure3.7. Copeaux obtenus lors de l'essai 02 ($V_c=180\text{m/min}$) : (A) représente le copeau après la première passe de 2mm et (B) la deuxième passe.

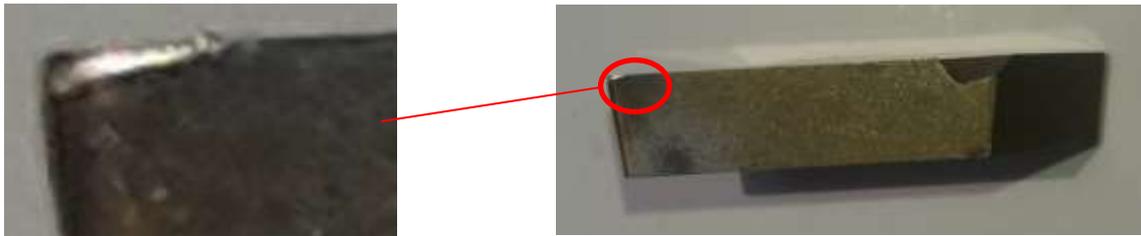


Figure3.8. Usure de la plaquette KNUX avec $V_c=180\text{m/min}$



Figure 3.9. Copeaux obtenus lors de l'essai 03 ($V_c=240\text{m/min}$) : (A) représente le copeau après la première passe de 2mm et (B) la deuxième passe.



Figure 3.10. Usure de la plaquette KNUX avec $V_c=240\text{m/min}$.

3.6.1 Essai 01 (pièce 01): KNUX

- La pièce est de diamètre $D=42.42$ et de longueur $L=101\text{mm}$
- Le diamètre plaqué contre le mandrin, la longueur avant épaulement et hauteur d'épaulement sont : $D_1=38.47\text{ mm}$ $L_1=29.00\text{ mm}$ $le=3\text{mm}$
- Les conditions de coupe utilisées sont :

$$V_c=120\text{ mm/min} \quad (N=1000\text{ tr/min}) \quad f=0.22\text{mm/tr} \quad a_p=2\text{mm} \quad n=2 \text{ (deux passes)}$$

La longueur chariotée est $l=60*2\text{mm}$

- Les diamètres obtenus après les deux passes sont : $d_1=40.46$ mm & $d_2= 39.52$ mm
- Le temps d'usinage est : $T=15.64+15.57=31.21$ s

Résultats :

- Bon état de surface
- Copeaux : copeau hélicoïdale en rondelle long (figure3.9).
- Usure de la plaquette KNUX : (figure 3.10)

3.6.2 Essai 02 (pièce 02) : KNUX

- La pièce a un diamètre $D=42.31$ mm et une longueur $L=101$ mm
- Le diamètre plaqué contre le mandrin, la longueur avant épaulement et hauteur d'épaulement sont : $D_1=38.82$ mm $L_1=28.70$ mm $le=4$ mm
- Les conditions de coupe utilisées sont :

$$V_c=180 \text{ mm/min (N=1400 tr/min)} \quad f=0.22\text{mm/tr} \quad a_p=2\text{mm} \quad n=2 \text{ (deux passes)}$$

La longueur charioté est $l=60*2$ mm

Les diamètres obtenus après les deux passes sont : $d_1=40.18$ mm & $d_2= 39.53$ mm(A)
 $=39.50$ mm(B)
 $=39.52$ mm(C)

Et avec pied à coulisse 39.10 mm

- Le temps d'usinage est : $T=12.47+13.27=25.72$ s

Résultats :

- Bon état de surface
- Copeaux : copeau hélicoïdale en rondelle long
- Usure de la plaquette KNUX

3.6.3 Essai 03 (pièce 03) : KNUX

- La pièce a un diamètre $D=42.52$ et une longueur de $L=101$ mm

- Le diamètre plaqué contre le mandrin, la longueur avant épaulement et hauteur d'épaulement sont : $D1=38.47 \text{ mm}$ $L1=29.00 \text{ mm}$ $le=3\text{mm}$
- Les conditions de coupe utilisées sont :

$$V_c=240 \text{ mm/min (N=2000 tr/min)} \quad f=0.22\text{mm/tr} \quad a_p=2\text{mm} \quad n=2 \text{ (deux passes)}$$

La longueur charioté est $l=60*2\text{mm}$

Les diamètres obtenus après les deux passes sont : $d1=40.63 \text{ mm}$ & $d2(A)=38.59\text{mm}$

$$d2(B)=38.65\text{mm}$$

$$d2(C)=38.65\text{mm}$$

- Le temps d'usinage est : $T=9.70+10.68=20.38\text{s}$

Résultats :

- Bon état de surface
- Copeaux : copeaux court en arc fractionné (figure 3.7)
- Usure de la plaquette KNUX : (figure 3.8)
- Le Protocole expérimentale été basé sur la variation de la vitesse de coupe et la fixation de l'avance et la profondeur de passe pour constater l'influence de la vitesse de coupe sur les caractéristiques géométriques et dimensionnelles de la pièce et sur la durée de vie de l'outil de coupe (usure de plaquette).

Nous avons fixé :

- $f = 0.22 \text{ mm/tr}$
- $a_p = 2 \text{ mm}$; $n = 3$

Pour la vitesse de rotation N elle varier avec la variation de la vitesse de coupe V_c .

Les trois premiers essais ont été faits sur un tour conventionnel, les six autres essais ont été réalisés sur un tour numérique.

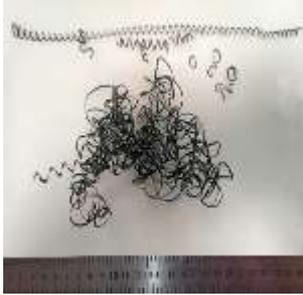
3.7 Les essais de l'ébauche :

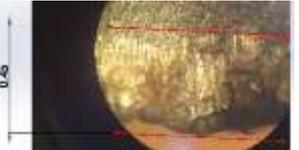
Chaque essai à une vitesse de coupe et une vitesse de rotation différente.

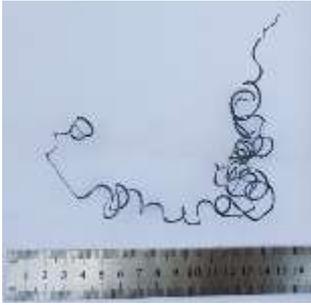
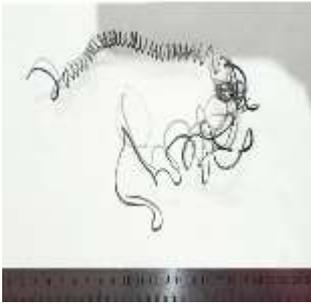
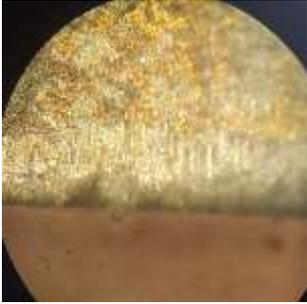
La procédure était de charioter la partie à usiner ($L= 60$ mm) sur trois passe, la mesure de diamètre, la photo de copeau et la photo d'usure ont été prises pour chaque passe, les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant :

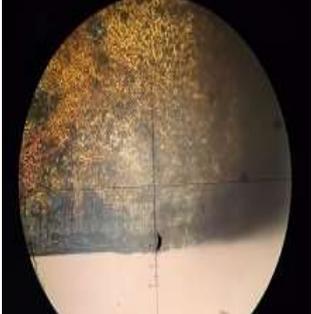
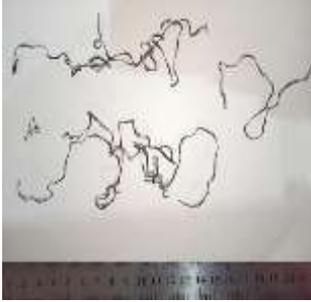
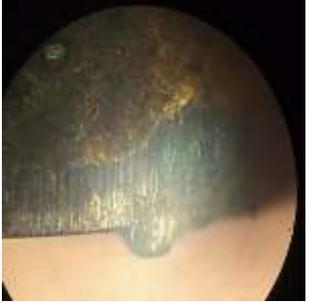
L'ébauche

Tableau 12. Les différents résultats en ébauche.

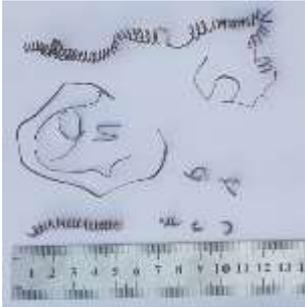
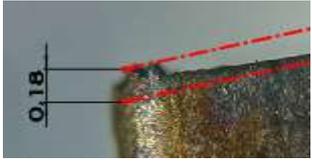
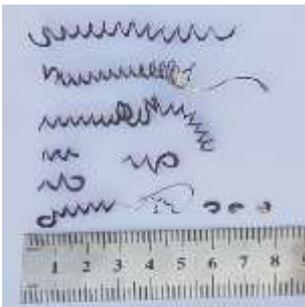
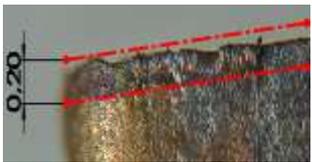
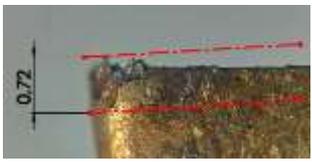
L'essai et la passe	Vitesse de coupe	Diamètre	Copeau obtenue	Usure
Essai 1 Conventionnel Deuxième passe	$V_c = 120$ m/min	$D_2 = 44.44$ mm		
Essai 1 conventionnel Troisième passe	$V_c = 120$ m/min	$D_3 = 42.30$ mm		
Essai 2 conventionnel Première passe	$V_c = 160$ m/min	$D_i = 48.04$ mm $D_1 = 46.88$ mm		

<p>Essai 2 conventionnel Deuxième passe</p>	<p>$V_c = 160$ m/min</p>	<p>$D2 = 44.98$ mm</p>		
<p>Essai 2 conventionnel Troisième passe</p>	<p>$V_c = 160$ m/min</p>	<p>$D3 = 42.85$ mm</p>		
<p>Essai 3 Conventionnel Première passe</p>	<p>$V_c = 180$ m/min</p>	<p>$D_i = 48.41$ mm $D_1 = 46.57$ mm</p>		
<p>Essai3 Conventionnel Deuxième passe</p>	<p>$V_c = 180$ m/min</p>	<p>$D2 = 44.47$ mm</p>		

Essai 3 conventionnel Troisième passe	$V_c = 180$ m/min	$D_3 = 42.35$ mm		
Essai 1 numérique Première passe	$V_c = 120$ m/min	$D_i = 48.26$ mm $D_1 = 46$ mm		
Essai 1 numérique Deuxième passe	$V_c = 120$ m/min	$D_2 = 44.08$ mm		
Essai 1 numérique Troisième passe	$V_c = 120$ m/min	$D_3 = 42.02$ mm		

Essai 2 numérique Première passe	$V_c = 220$ m/min	$D_i = 47.90$ mm $D_1 = 45.90$ mm		
Essai 2 numérique Deuxième passe	$V_c = 220$ m/min	$D_2 = 43.99$ mm		
Essai 2 numérique Troisième passe	$V_c = 220$ m/min	$D_3 = 42.92$ mm		
Essai 3 numérique Première passe	$V_c = 200$ m/min	$D_i = 47.75$ mm $D_1 = 46.30$ mm		

Essai 3 numérique Deuxième passe	Vc = 200 m/min	D2 = 44.10 mm		
Essai 3 numérique Troisième passe	Vc = 200 m/min	D3 = 42.10 mm		
Essai 4 numérique Première passe	Vc = 140 m/min	Di = 48.17 mm D1 = 46.10 mm		
Essai 4 numérique Deuxième passe	Vc = 140 m/min	D2 = 43.90 mm		
Essai 4 numérique Troisième passe	Vc = 140 m/min	D3 = 41.90 mm		

<p>Essai 5 numérique Première passe</p>	<p>$V_c = 160$ m/min</p>	<p>$D_i = 47.75$ mm $D_1 = 46.40$ mm</p>		
<p>Essai 5 numérique Deuxième passe</p>	<p>$V_c = 160$ m/min</p>	<p>$D_2 = 44.00$ mm</p>		
<p>Essai 5 numérique Troisième passe</p>	<p>$V_c = 160$ m/min</p>	<p>$D_3 = 42.60$ mm</p>		
<p>Essai 6 numérique Première passe</p>	<p>$V_c = 180$ m/min</p>	<p>$D_i = 47.86$ mm $D_1 = 44.10$ mm</p>		

Essai 6 numérique Deuxième passe	$V_c = 180$ m/min	$D3 = 42.50$ mm		
Essai 6 numérique Troisième passe	$V_c = 180$ m/min	$D3 = 42.50$ mm		

3.8 Les opérations de finition

Après l'opération d'ébauche les pièces ont subi une opération de finition, la même procédure qu'ébauche juste en finition la vitesse de coupe était fixée.

Nous avons fixé les conditions de coupe

$$V_c = 190 \text{ m/min}$$

$$f = 0.12 \text{ mm/tr}$$

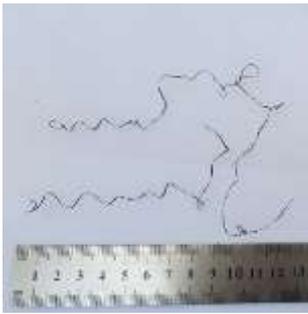
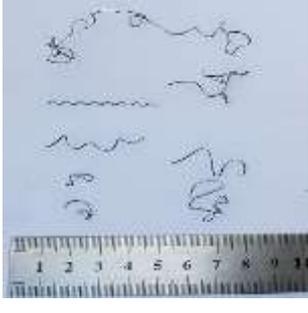
$$N = 1400 \text{ tr/min}$$

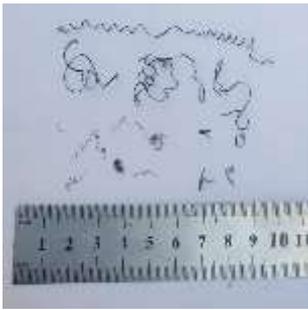
$$a_p = 2 \text{ mm}; \quad n = 3; \quad L = 60 \text{ mm.}$$

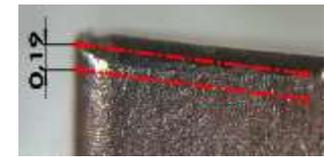
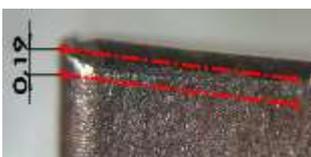
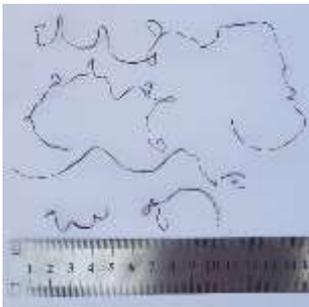
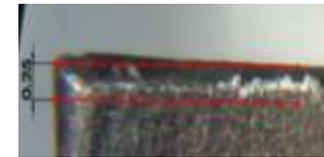
Plaquette utilisée VNMG

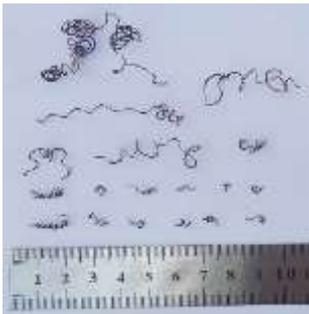
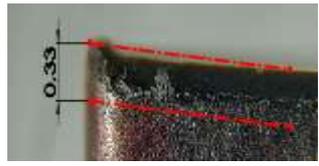
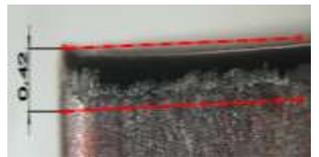
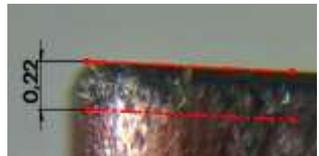
Tableau 13. Les différents résultats en finition

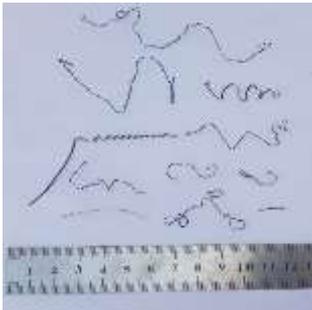
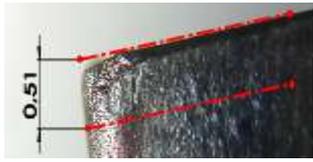
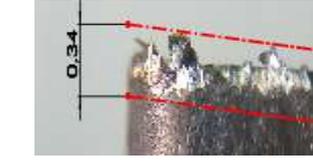
L'opération et la passe	Diamètre	Copeau obtenue	Usure de la plaquette

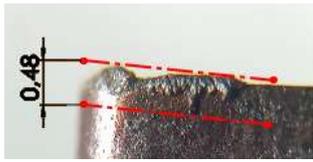
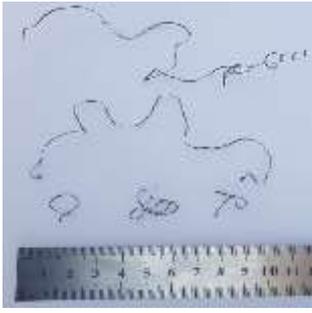
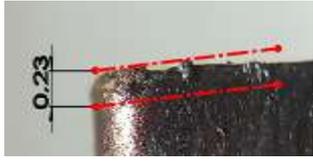
<p>Finition 1 conventionnel Première passe</p>	<p>$D_i = 42.89 \text{ mm}$ $D_1 = 42.28 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 1 conventionnel Deuxième passe</p>	<p>$D_2 = 41.09 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 1 conventionnel Troisième passe</p>	<p>$D_3 = 40.26 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 2 conventionnel Première passe</p>	<p>$D_i = 42.42 \text{ mm}$ $D_1 = 41.77 \text{ mm}$</p>		

<p>Finition 2 conventionnel Deuxième passe</p>	<p>$D2 = 41.04 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 2 conventionnel Troisième passe</p>	<p>$D3 = 40.43 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 3 conventionnel Première passe</p>	<p>$D_i = 42.02 \text{ mm}$ $D1 = 41.36 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 3 conventionnel Deuxième passe</p>	<p>$D2 = 40.66 \text{ mm}$</p>		

<p>Finition 3 conventionnel</p> <p>Troisième passe</p>	<p>$D3 = 40.39 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 1 numérique</p> <p>Première passe</p>	<p>$D_i = 42.50 \text{ mm}$</p> <p>$D1 = 42.00 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 1 numérique</p> <p>Deuxième passe</p>	<p>$D2 = 41.26$</p>		
<p>Finition 1 numérique</p> <p>Troisième passe</p>	<p>$D3 = 40.25 \text{ mm}$</p>		

<p>Finition 2 numérique</p> <p>Première passe</p>	<p>$D_i = 42.40 \text{ mm}$</p> <p>$D_1 = 41.25 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 2 numérique</p> <p>Deuxième passe</p>	<p>$D_2 = 40.32 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 3 numérique</p> <p>Première passe</p>	<p>$D_i = 42.02 \text{ mm}$</p> <p>$D_1 = 40.78 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 3 numérique</p> <p>Deuxième passe</p>	<p>$D_2 = 40.36 \text{ mm}$</p>		

<p>Finition 4 Numérique Première passe</p>	<p>$D_i = 42.92 \text{ mm}$ $D_1 = 41.22 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition numérique 4 Deuxième passe</p>	<p>$D_2 = 40.48 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 5 numérique Première passe</p>	<p>$D_i = 42.10 \text{ mm}$ $D_1 = 41.05 \text{ mm}$</p>		
<p>Finition 5 numérique Deuxième passe</p>	<p>$D_2 = 40.32 \text{ mm}$</p>		

Finition 6 numérique Première passe	$D_i = 42.75 \text{ mm}$ $D_1 = 41.12 \text{ mm}$		
Finition 6 numérique Deuxième passe	$D_2 = 40.35 \text{ mm}$		

3.9 Le traitement thermique

La troisième étape de notre gamme d'usinage choisie c'était le traitement thermique.

L'ensemble des pièces ont subi une trempe et un revenu.

3.9.1 La trempe

Le chauffage des pièces était dans un four à une température de 844 C° , avec une durée de maintien de 30 min ensuite une trempe dans l'huile industrielle.



Figure 3.12. Positionnement des pièces.**Figure3.11.** Le four et température de chauffage.

Après la trempe une étape de revenu est importante afin d'adoucir les contraintes résiduelles. Le revenu est effectué à une température de 405° à 15min de maintien et un refroidissement à l'air libre.

Nous avons remesuré nos pièces après traitement thermique, nous avons constaté une hausse du diamètre d'environ 0.02.

Le tableau suivant donne les mesures avant et après le traitement thermique :

Tableau14. Le diamètre des pièces avant et après traitement thermique, C pièces usinées en conventionnel, N en numérique.

Pièce	Diamètre avant TT	Diamètre après TT
-------	-------------------	-------------------

1C	40.43 mm	40.45 mm
2C	40.26 mm	40.27 mm
3C	40.43 mm	40.45 mm
1N	40.36 mm	40.38 mm
2N	40.48 mm	40.49 mm
3N	40.30 mm	40.34 mm
4N	40.32 mm	40.35 mm
5N	40.35 mm	40.37 mm
6N	40.25 mm	40.27 mm

3.10 L'influence de la dureté sur l'usinage

Les aciers sont usinés dans leur état structural final prêt à l'emploi ou dans un état intermédiaire qui permet de faciliter l'usinage, après l'usinage de la pièce, un traitement est alors réalisé. Une gamme de fabrication qui contient un traitement sur pièce usinée n'est pas sans inconvénient car la pièce se déforme. Une reprise d'usinage après traitement thermique est souvent nécessaire et l'utilisateur de l'acier n'a pas toujours les équipements de traitements mieux adapté.

Usiner une pièce prétraitée n'est une solution envisageable que si l'acier traité à un niveau de dureté qui permette encore un usinage économique. Seule une analyse comparée des coûts respectifs de la gamme de fabrication peut permettre le choix entre un acier livré adouci et le même acier livré prétraité ou éventuellement une variante de ladite nuance prétraitée dont le niveau d'usinabilité supérieur compense la différence de dureté.

3.11 La rectification

La dernière étape de notre gamme d'usinage c'est la rectification, qui consiste à avoir la cote finale $40^{+0.02}$

En conventionnel $a_p = 0.5$ mm

$V_c = 90$ m/min

$f = 0.08$ mm/tr

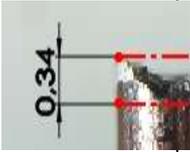
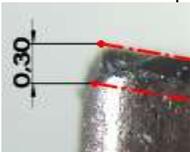
Par contre dans le cas de numérique la valeur de diamètre à atteindre (diamètre finale $40^{+0.02}$) était insérer dans la commande numérique à exécuter à une seule passe.

Les mesures des pièces sont indiquées dans le tableau ci-dessous

Tableau 15. Les différents résultats de rectification

l'opération	Vitesse de coupe	Diamètre	Copeau	usure
Rectification 1 au tour conventionnel	Vc = 125 m/min N = 1000 tr/min	Di = 40.45 mm Df = 40.02 mm		
Rectification 2 au tour conventionnel	Vc = 125 m/min N = 1000 tr/ min	Di = 40.27 mm Df = 40.01 mm		

Rectification 3 au tour conventionnel	$V_c = 125$ m/min $N = 1000$ tr/min	$D_i = 40.45$ mm $D_f = 40.01$ mm		
Rectification 1 au tour Numérique	$V_c = 125$ m/min $N = 1000$ tr/min	$D_i = 40.38$ mm $D_f = 40.13$ mm		
Rectification 2 au tour Numérique	$V_c = 80$ m/min $N = 640$ tr/min	$D_i = 40.49$ mm $D_f = 40.09$ mm		

Rectification 3 au tour numérique	$V_c = 80\text{m/min}$ $N = 640\text{ tr/min}$	$D_i = 40.35\text{ mm}$ $D_f = 40.03\text{ mm}$		 
Rectification 4 au tour Numérique	$V_c = 80\text{m/min}$ $N = 640\text{ tr/min}$	$D_i = 40.35\text{ mm}$ $D_f = 40^{-0.07}$		 
Rectification 5 Numérique	$V_c = 80\text{ m/min}$ $N = 640\text{ tr/min}$	$D_i = 40.37\text{ mm}$ $D_f = 40.01\text{ mm}$		 

<p>Rectification 6 au tour Numérique</p>	<p>$V_c = 80$ m/min</p> <p>$N = 640$ tr/min</p>	<p>$D_i = 40.27$ mm</p> <p>$D_f = 40.01$ mm</p>		
--	---	---	--	---

➤ **Essai raté**

- Plaquette utiliser KNUX 01 N
- Pièce 01 N
- Opération chariotage (ébauche)
- $V_c = 220$ m/min
- $N = 1400$ tr/ min
- $f = 0.22$ mm/tr
- $a_p = 2$ mm ; $n = 3$
- Longueur à charioter :

$$L = 60.10 \text{ mm}$$

- Diamètre initiale :

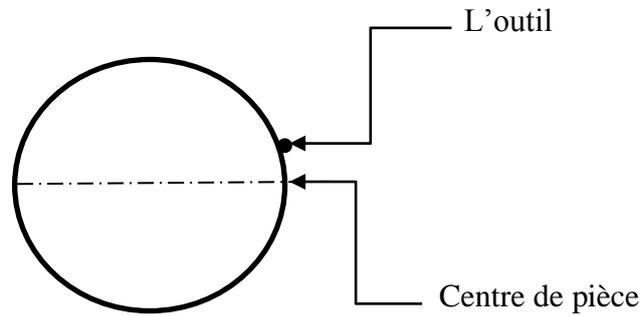
$$D_i = 48.21 \text{ m}$$

Première passe

$$D_i = 46.19 \text{ mm}$$

Deuxième passe

L'essai était raté à cause d'un mauvais centrage de l'outil (l'outil était au-dessus de la pointe de la poupée), quand l'outil est au-dessus de la pointe ce n'est pas la pointe qui enlève la matière c'est l'arrêt tranchante.



Les résultats obtenus

- Mauvaise état de surface
- Des zones brûlées (pièce)
- Usure de la plaquette
- Manque de cylindricité.

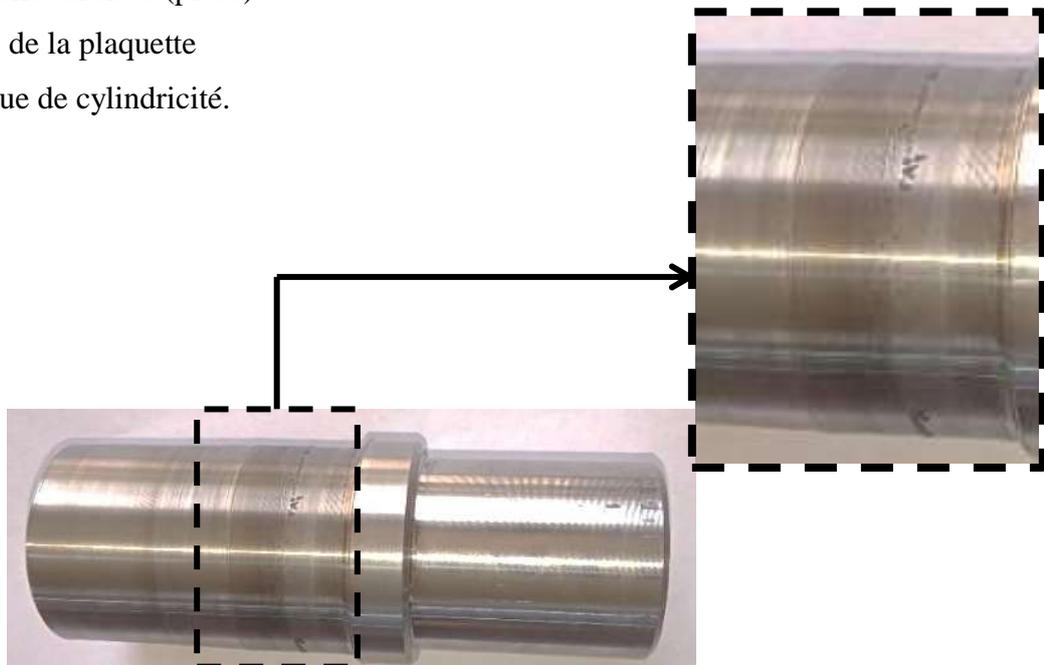


Figure 3.13. Résultats de l'essai raté

Nous présentons dans ce qui suit les graphes d'usure des plaquettes VNMG et KNUX.

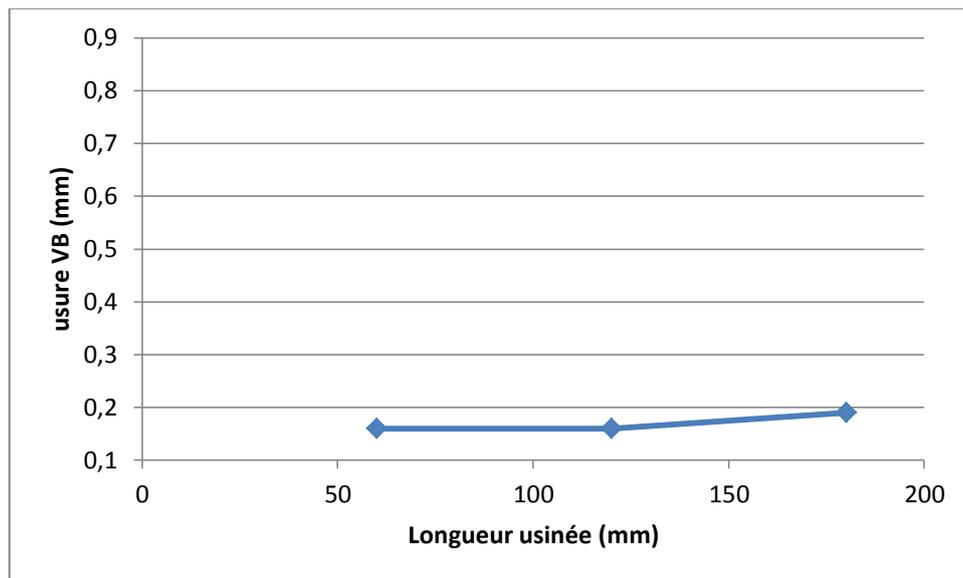


Figure 3.14 Usure de la plaquette VNMG3 notée CT, $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=0.35\text{mm}$, Nombre de passe=3, utilisé sur la pièce ébauché à une vitesse de 220m/min

La figure 3.14 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°3 CT avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **120m/min**, nous constatons une faible usure de l'ordre de 0.15mm en moyenne qui reste constante le long de l'usinage sur une longueur de 180mm.

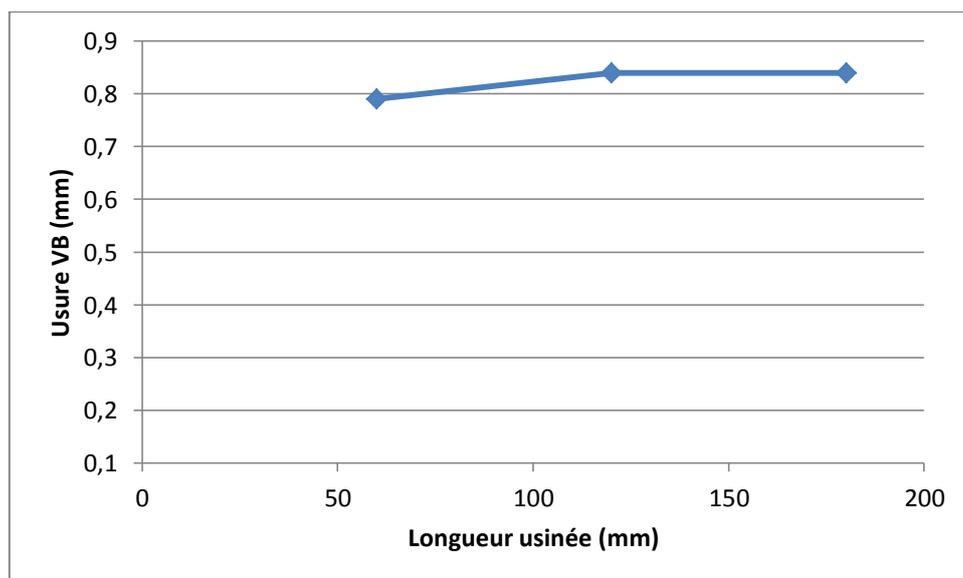


Figure 3.15 Usure de la plaquette VNMG3 $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=0.35\text{mm}$, Nombre de passe=3, utilisé sur la pièce ébauché à une vitesse de 190m/min

La figure 3.15 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°3 avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **190m/min**, nous

constatons une forte usure de l'ordre de 0.85mm en moyenne qui reste constante le long de l'usinage sur une longueur de 180mm.

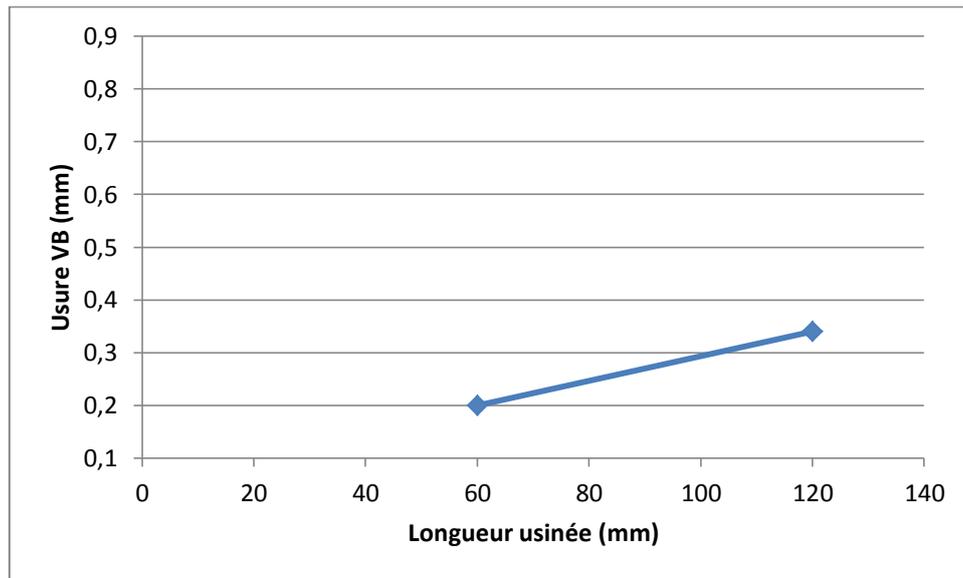


Figure 3.16 Usure de la plaquette VNMG6 CT $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=0.35$, Nombre de passe=2

La figure 3.16 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°6 notée CT avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **200m/min**, nous constatons une faible usure de l'ordre de 0.35mm en moyenne qui reste constante le long de l'usinage sur une longueur de 120mm, ce résultat est intéressant du moment que l'usure est influencé par l'état de la pièce en ébauche, il est remarquable de constater qu'une ébauche avec une vitesse de coupe de 200m/min sur un tour à commande numérique prépare une bonne surface facile à usiner.

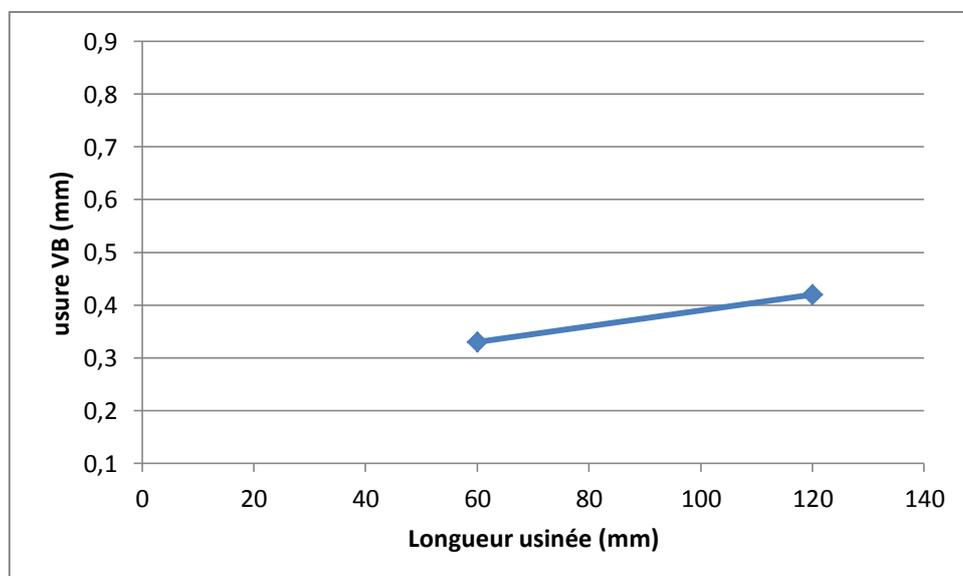


Figure 3.17 Usure de la plaquette VNMG 5 $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=1$, Nombre de passe=2

La figure 3.17 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°5 avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **140 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en deux fois, nous constatons clairement une hausse de l'usure vers l'ordre de 0.35mm en moyenne après un usinage sur une longueur de 120mm, l'influence de la profondeur de passe est clairement mise en évidence.

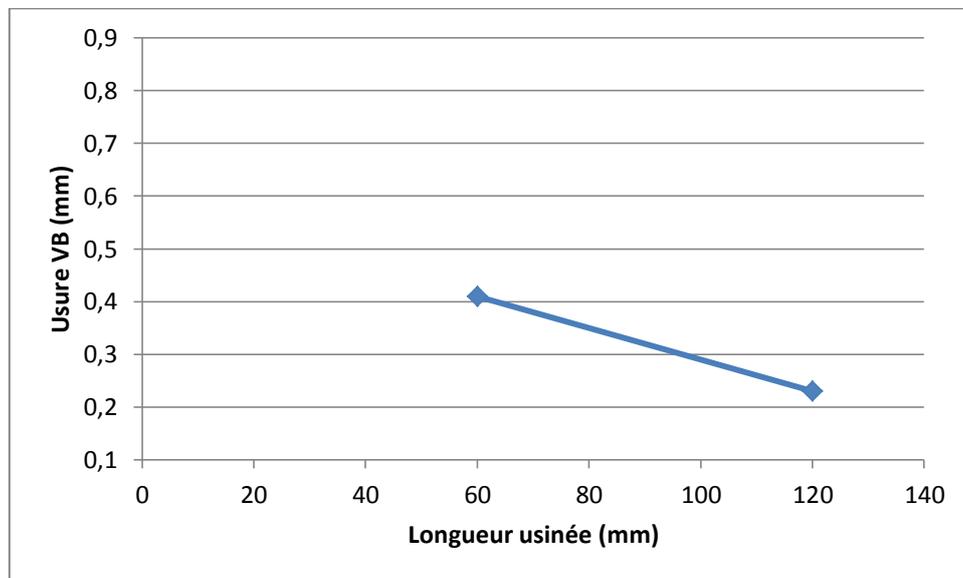


Figure 3.18 Usure de la plaquette VNMG7 $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, Nombre de passe=2

La figure 3.18 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°7 avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **160 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en deux fois, la pente vers le bas dénote la présence de l'arrête rapportée au début de l'usinage que nous avons pris en considération lors de la mesure de l'usure, cette arrête disparaît après la deuxième passe.

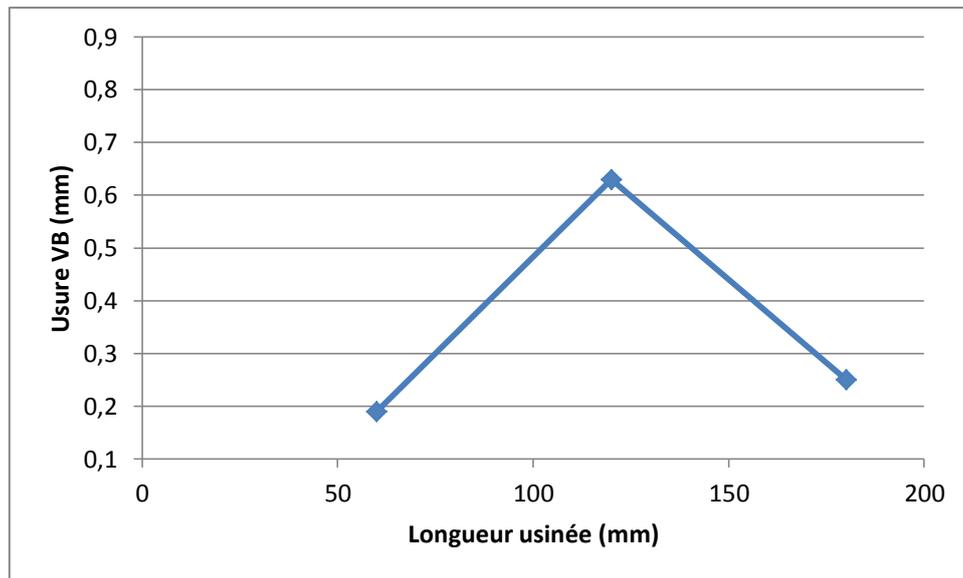


Figure 3.19 Usure de la plaquette VNMG 4 $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=0.35\text{mm}$, Nombre de passe=3

La figure 3.19 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°4 avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **180 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 0.35 mm en trois fois, la pente vers le haut dénote la présence de l'arrête rapportée dans la deuxième passe de l'usinage que nous avons pris en considération lors de la mesure de l'usure, cette arrête disparaît après la troisième passe.

La pièce issue d'une opération d'ébauche à une vitesse de coupe de 180m/min favorise la formation de cette arrête rapporté plus que la pièce issue d'une opération d'ébauche à une vitesse de 160m/min (figure 3.18)

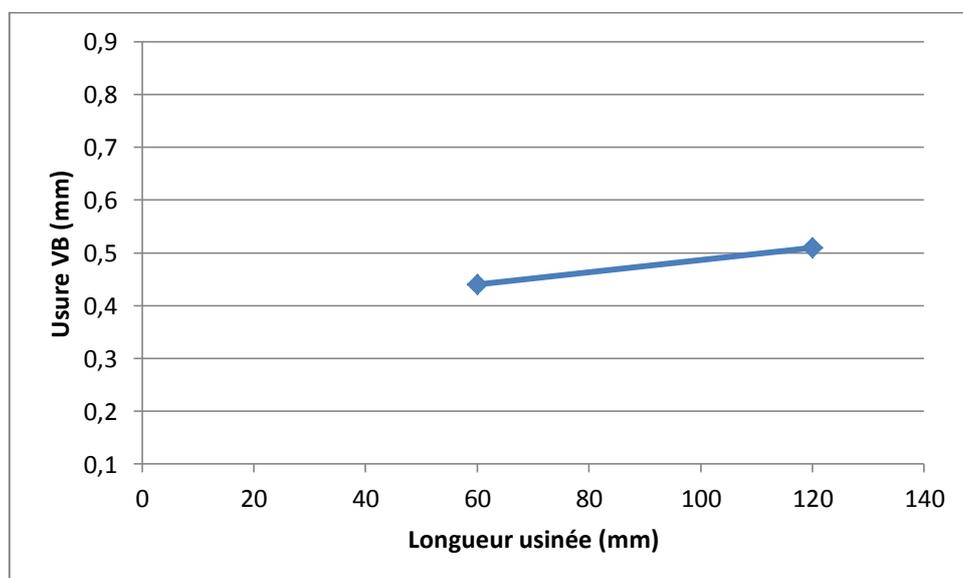


Figure 3.20 Usure de la plaquette VNMGB6 $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=0.5\text{mm}$, Nombre de passe=2

La figure 3.20 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°6 avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **160 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 0.5mm en deux fois, nous constatons une stabilité de l'usure de la plaquette sur une longueur de 120mm.

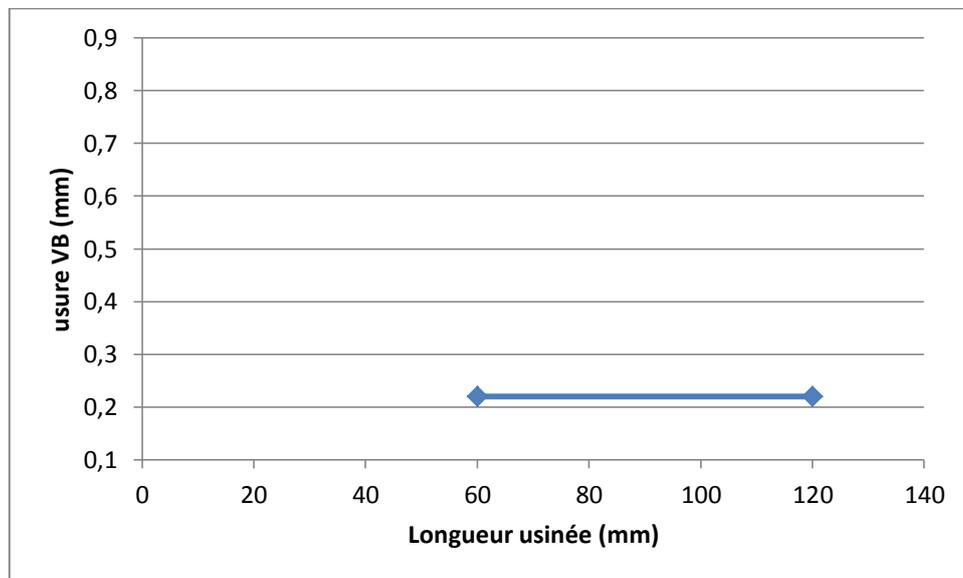


Figure 3.21 Usure de la plaquette VNMG5CT $V_c=190\text{m/min}$, $f=0.12\text{mm/tr}$, $a_p=0.5\text{mm}$, Nombre de passe=2

La figure 3.21 présente les mesures de l'usure de la plaquette VNMG n°5 notée CT avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **120 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 0.5mm en deux fois, nous constatons une stabilité de l'usure de la plaquette sur une longueur de 120mm.

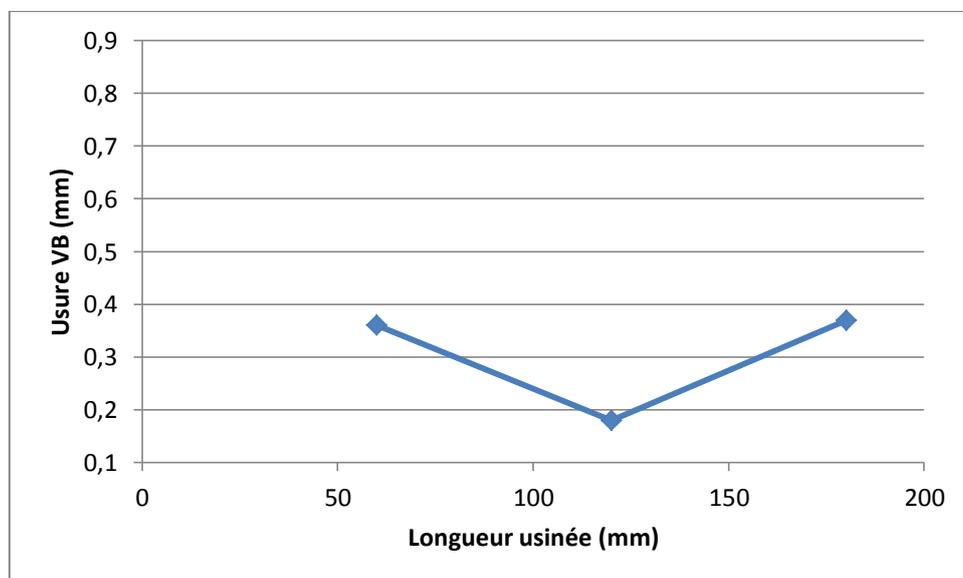


Figure 3.22 Usure de la plaquette KNUX3 CT $V_c=120\text{m/min}$, $f=0.22\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, $n=3$

La figure 3.22 présente les mesures de l'usure de la plaquette KNUX 3 notée CT, avec laquelle nous avons usiné en ébauche la pièce avec une vitesse de **120 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en trois fois, la pente vers le bas dénote la présence de l'arrêt rapportée dans la première passe de l'usinage que nous avons pris en considération lors de la mesure de l'usure, cette arrêt disparaît après la troisième passe.

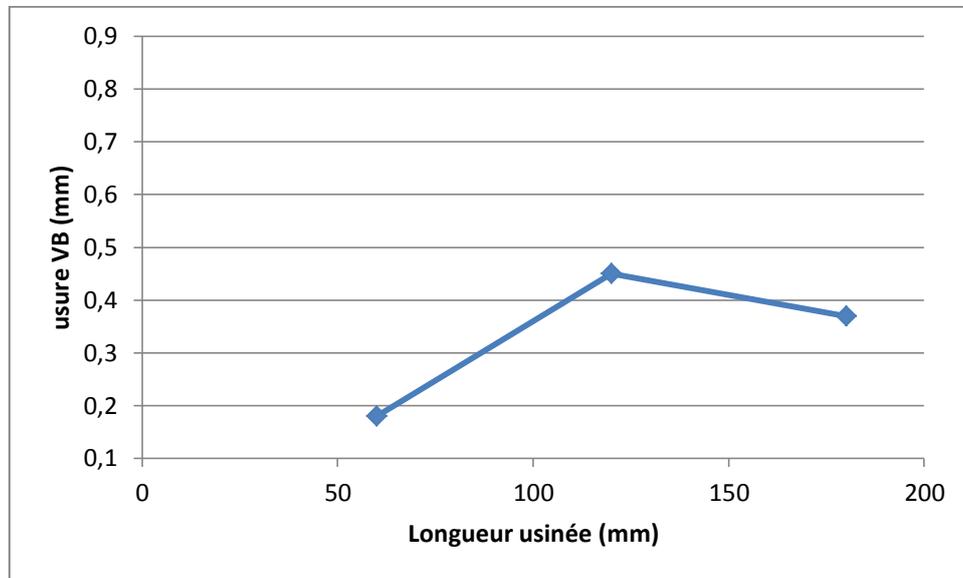


Figure 3.23 Usure de la plaquette KNUX 1 CT $V_c=160\text{m/min}$, $f=0.22\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, $n=3$

La figure 3.23 présente les mesures de l'usure de la plaquette KNUX n°1 notée CT avec laquelle nous avons usiné en ébauche avec une vitesse de **160 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en trois fois, la pente vers le haut dénote la présence de l'arrêt rapportée dans la deuxième passe de l'usinage que nous avons pris en considération lors de la mesure de l'usure, cette arrêt disparaît après la troisième passe.

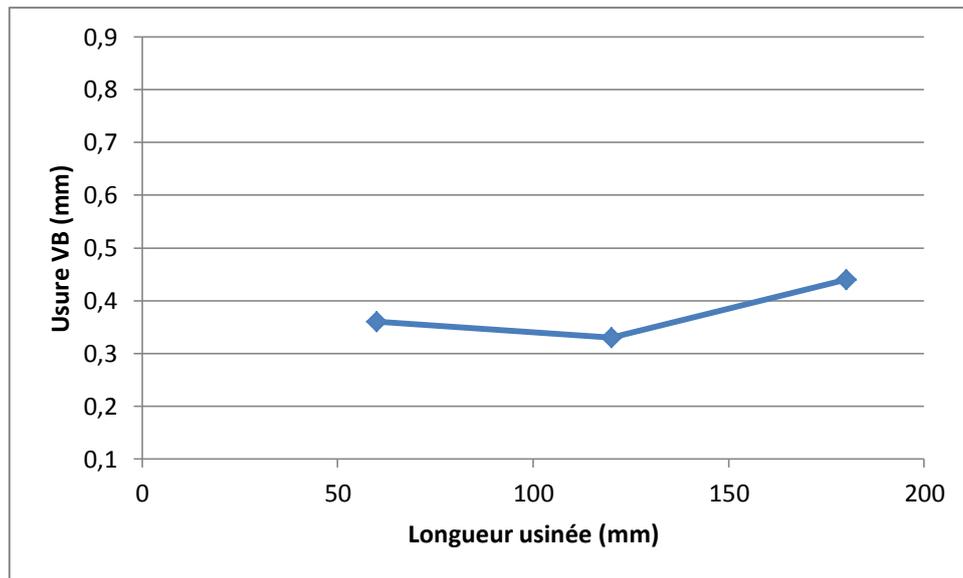


Figure 3.24 Usure de la plaquette KNUX6 CT $V_c=140\text{m/min}$, $f=0.22\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, $n=3$

La figure 3.24 présente les mesures de l'usure de la plaquette KNUX n°6 notée CT avec laquelle nous avons usiné en ébauche avec une vitesse de **140 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en trois fois, la pente vers le bas dénote la présence de l'arrête rapportée dans la première passe de l'usinage que nous avons pris en considération lors de la mesure de l'usure.

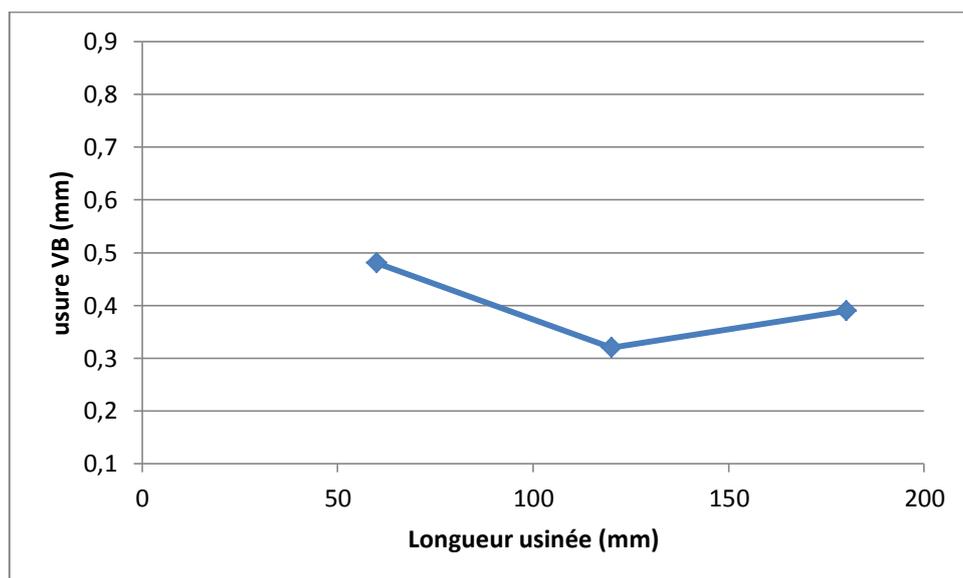


Figure 3.25 Usure de la plaquette KNUX6 $V_c=120\text{m/min}$, $f=0.22\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, $n=3$

La figure 3.25 présente les mesures de l'usure de la plaquette KNUX n°6 notée CT avec laquelle nous avons usiné en ébauche avec une vitesse de **200 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en trois fois, la pente vers le haut dénote la présence de l'arrête rapportée dans la première passe de l'usinage que nous avons pris en considération lors de la mesure de l'usure, cette arrête disparaît après la troisième passe.

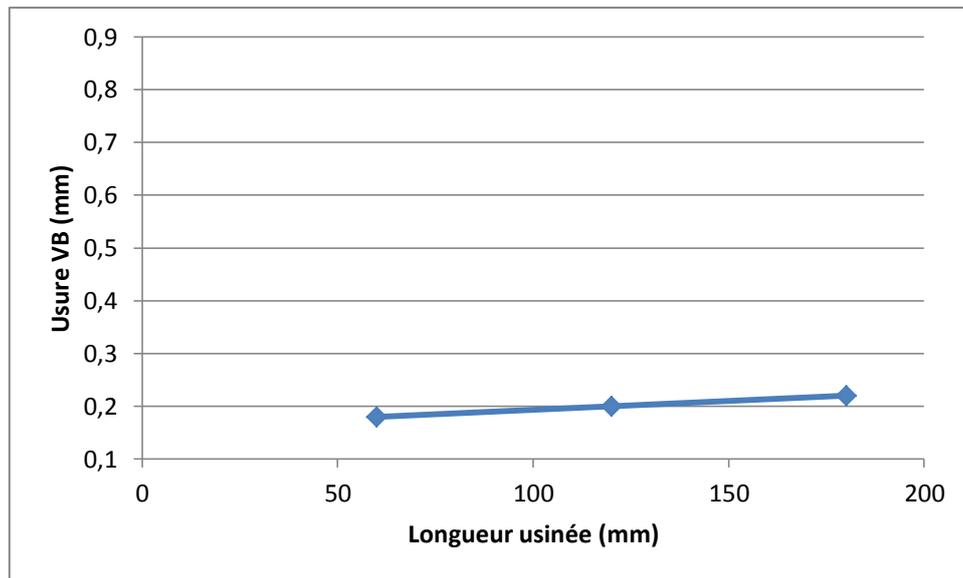


Figure 3.26 Usure de la plaquette KNUX7 $V_c=160\text{m/min}$, $f=0.22\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, $n=3$

La figure 3.26 présente les mesures de l'usure de la plaquette knuxn°7 avec laquelle nous avons usiné en finition la pièce déjà usinée en ébauche avec une vitesse de **160 m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en deux fois, nous constatons une stabilité de l'usure de la plaquette sur une longueur de 180mm.

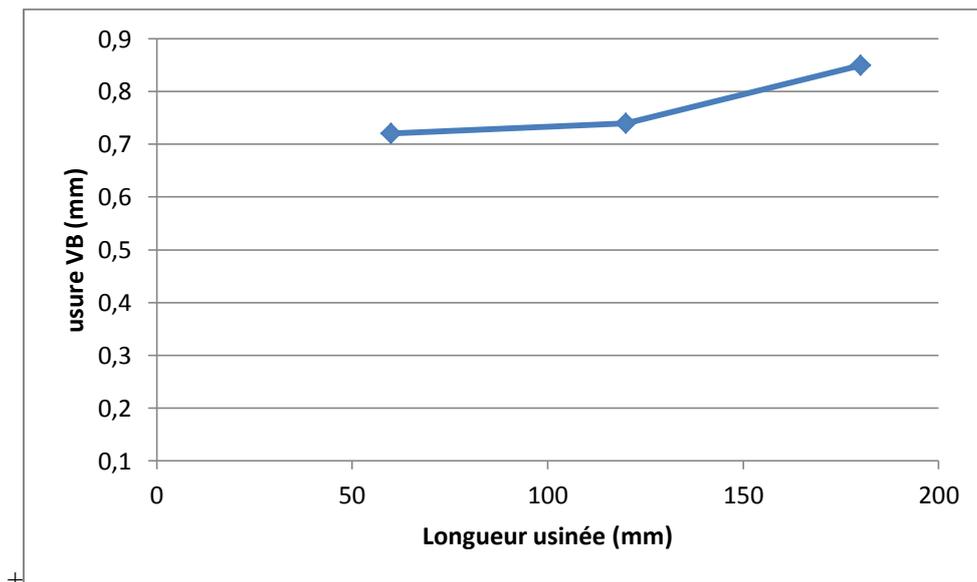


Figure 3.27 Usure de la plaquette KNUX7 CT $V_c=180\text{m/min}$, $f=0.22\text{mm/tr}$, $a_p=1\text{mm}$, $n=3$

La figure 3.27 présente les mesures de l'usure de la plaquette KNUX n°7 notée CT avec laquelle nous avons usiné en ébauche avec une vitesse de **180m/min**, en prenant une profondeur de passe de 1mm en trois fois, nous constatons une faible usure de l'ordre de 0.75mm en moyenne qui reste constante le long de l'usinage sur une longueur de 180 mm.

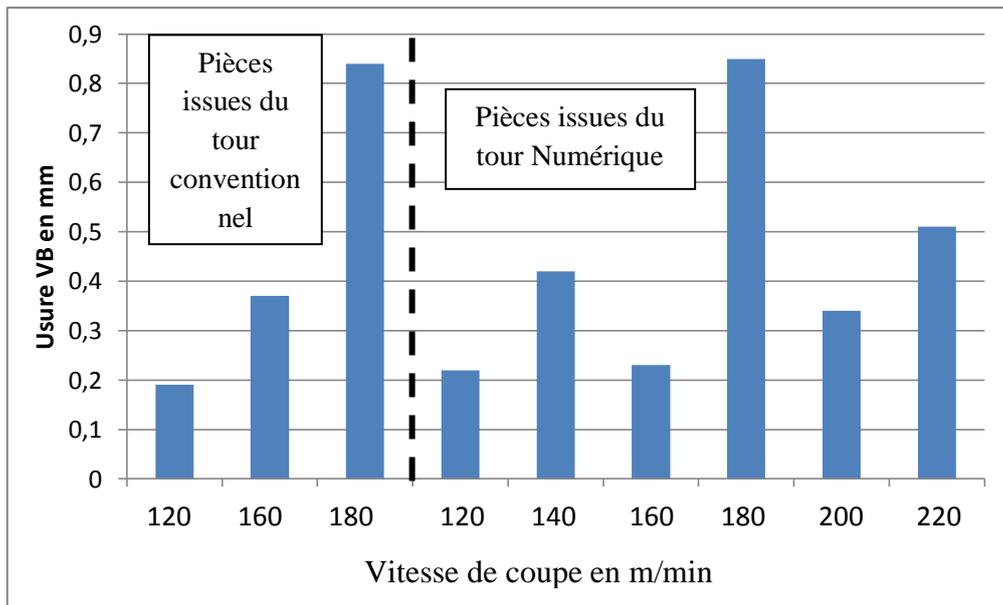


Figure 3.28 Evolution de l'usure en fonction de la vitesse de coupe lors des opérations d'usinage en ébauche

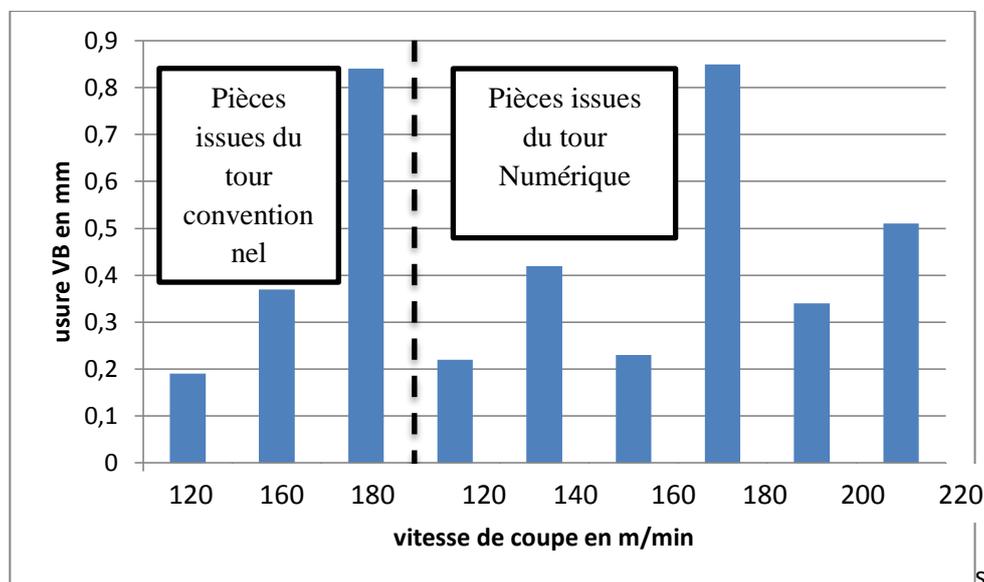


Figure 3.29 Evolution de l'usure des plaquettes VNMG en fonction de la vitesse de coupe utilisée sur les pièces ébauchée avec les plaquettes KNUX

Conclusion générale

Conclusion

Durant ce projet nous avons travaillé sur l'usinage de l'acier 42CrMo4, acier utilisé dans la fabrication des arbres de transmission de puissance usiné avec une très grande précision afin d'assurer une bonne qualité en terme d'état de surface et de dimension suivant des exigences d'ajustement et de durée de vie de ces éléments importants des machines tournante.

La fabrication de ces organes passe par plusieurs étapes, ébauche, finition, traitement thermique et rectification au tour (tournage dur) afin d'avoir à la fois une cotation au centième près et une surface dur résistante à l'usure.

Nous avons testé plusieurs vitesses de coupe proche de celle préconisées par le fabricant des plaquettes utilisée qui sont de type KNUX pour l'opération d'ébauche et de type VNMG pour les finitions et le tournage dur.

Nous avons aussi testé deux type de machine, un tour conventionnel de type Trens SN40 de marque TOS, et un autre de type à commande numérique de marque CAZENEUVE modèle OPTICA 360.

Les plaquettes utilisées sont contrôlées après chaque opération d'usinage afin de suivre l'usure, afin de bien mettre en évidence la durée de vie de nos outils de coupe, paramètre important dans la validation des conditions de coupes optimales.

Le suivi de l'évolution de l'usure des plaquettes KNUX utilisées pour les opérations des ébauches montre que pour la pièce usinée en ébauche avec une vitesse de coupe de 160m/minutes donne une usure VB au-dessous de 0.3mm, cette vitesse de coupe semble la mieux adaptée pour l'usinage en ébauche du 42CrMo4.

Le suivi de l'évolution de l'usure des plaquettes VNMG utilisées pour les opérations de finition montre que pour la pièce usinée en ébauche avec une vitesse de coupe de 120m/minutes donne une usure VB au-dessous de 0.3mm, en prenant une profondeur de passe de 1mm en deux fois, nous constatons une stabilité de l'usure de la plaquette sur une longueur de 120mm.

Références bibliographique

[1] : élément de machines, Guilbert D, pierre TH, Edition de l'école polytechnique de Montréal [1986].

[2] :

[3] : A.Belloufi, Cours Procédés de Fabrication, Master Maintenance Industriel, Université d'Ouargla, 2010.

[4] : B. Vielle, méthode et fabrication, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS.

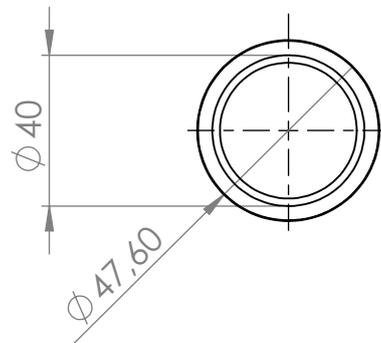
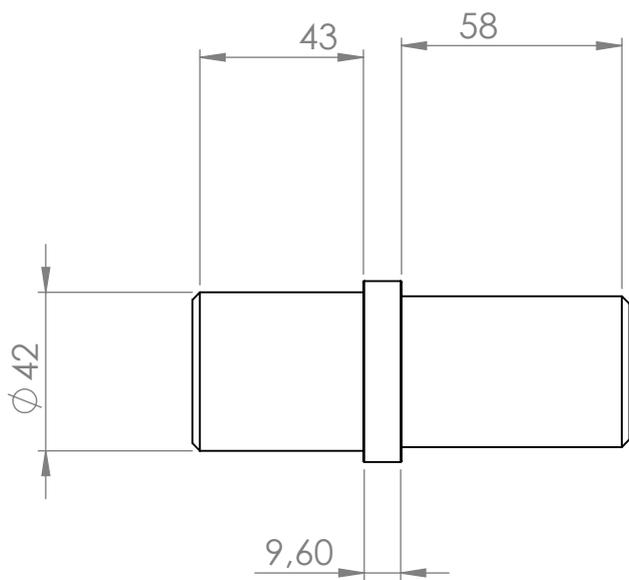
[5] : S.BENSAADA Cour traitement thermique classification et désignation des aciers et fontes.

[6] : Farhat Zemzemi, Joël Rech , Wacef Bensalem , Philippe Kapsa , Abdelwaheb Dogui, Analyse du frottement aux interfaces pièce-outil-copeau au cours de l'usinage d'un acier 42CrMo4, LTDS,UMR 5513 CNRS-ECL-ENISE-ENSMSE, 58 rue Jean Parot 42000 Saint Etienne France 2 LGM , ENIM, rue Ibn Aljazzar 5019 Monastir Tunisie 3 LTDS, UMR 5513 CNRS-ECL-ENISE-ENSMSE 36 avenue Guy de Collongue Ecully cedex 69134, France.

[7] : Marc L'ECUYER, copeaux, vitesses et avances partie 1. MPEG2 PRODUCTIONSMAIL.

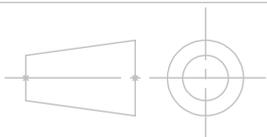
[8] : YALLESE MOHAMED ATHMANE ,«étude du comportement a l'usure des matériaux de coupe modernes en tournage dur», génie mécanique, productique,2005

Annexe



UNIVERSITEE ABDERRMANE MIRA BEJAIA

Date : 29/06/2022



ARBRE DE TRANSMISSION

ECHELLE : 1;1

MATERIAU: 42CrMo4

CREE PAR : BOUKROUS RIMA ET DJAIDER CYLIA

Résumé

Pour le but d'étudier la stabilité d'usinage de l'acier 42 CrMo4 et voir l'influence des paramètres de coupes sur la pièce et l'outil.

Nous avons réalisé des expériences sur des pièces identiques on faisant varier la vitesse de coupe et fixer les autres paramètres cela sur deux types de machines conventionnel et numérique.

Dans notre protocole préparer été passé par des différents opérations tel que le tournage (ébauche et finition), traitement thermique et rectification.

Dans notre travail nous avons observé le phénomène de l'usure et la formation des copeaux dans chaque essai, qui nous a permet de constater l'influence de la vitesse de coupe sur les caractéristiques géométriques et dimensionnelles de la pièce et sur l'outil de coupe.

Après avoir suivi l'évolution de l'usure de la plaquette KNUX utiliser en ébauche et VNMG en finition, nous avons déterminé que la vitesse de coupe 160 m/min c'est la mieux adaptée pour l'ébauche, et la vitesse de coupe 120 m/min c'est la plus adéquates pour la finition avec une profondeur de passe de 1 mm sur deux fois.

Abstract

In order to study the machining stability of 42 CrMo4 steel and to see the influence of the cutting parameters on the part and the tool, we have carried out experiments on identical parts by varying the cutting speed and setting the other parameters on two types of conventional and digital machines.

In our protocol prepare has passed on different operations turning (roughing and finishing), heat treatment and grinding.

In our work we observed the phenomenon of wear and chip formation in each test that allowed us to see the influence of the cutting speed on the geometric and dimensional characteristics of the part and the cutting tool.

After having followed the evolution of the wear of the KNUX insert used in roughing and VNMG in finishing; we have determined that the cutting speed 160 m/min is the best adapted for roughing

And the cutting speed 120 m/min is the most suitable for finishing with a pass depth of 1 mm on two times.

ملخص

من أجل دراسة استقرار الماكينة لصلب 42 CrMo4 ولمعرفة تأثير معلمات القطع على الجزء والأداة، أجرينا تجارب على أجزاء متطابقة من خلال تغيير سرعة القطع وتعيين المعلمات الأخرى على نوعين من القطع التقليدية والآلات الرقمية.

في بروتوكولنا، مر التحضير على عمليات مختلفة من الخراطة (التخشين والتشطيب) والمعالجة الحرارية والطحن.

لاحظنا في عملنا ظاهرة التآكل وتشكيل الرقاقة في كل اختبار مما سمح لنا برؤية تأثير سرعة القطع على الخصائص الهندسية والأبعاد للجزء وأداة القطع.

بعد متابعة تطور تآكل إدراج KNUX المستخدم في التخشين و VNMG في التشطيب ؛ لقد قررنا أن سرعة القطع 160 م / دقيقة هي الأفضل لملاءمة للتخشين وسرعة القطع 120 م / دقيقة هي الأنسب للتشطيب بعمق 1 مم مرتين.