

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

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : CONSTRUCTION MÉCANIQUE

PAR :

ISSAIDENMASSINISSA

Thème

**Influence des caractéristique mécanique et géométrique de la pièce
sur la formation du copeau lors du chariotage de l'acier 42 Cr Mo 4**

Soutenu le 07/07/2019 devant le jury composé de:

Mr	Hadjou	Président
Dr.	A. BELAMRI	Rapporteur
Mr.	Younes	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2018-2019

Remerciements

Je tien tout d'abord à remercier Dieu qui m'a donné la santé, la volonté et le courage d'accomplir ce travail.

Je ne pourrai pas oublier de présenter ma gratitude à mes chers parents et les membre de ma famille, qui ma toujours soutenus durant tous mon cursus de formation ainsi pour les efforts inlassables qu'ils ne cessent de déployer pour moi.

Mes vifs remerciements vont à Mr BELAMRI ABDLATIF, mon promoteur, pour son aide, ces critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes et pour la qualité de ses orientations tout au long de ce travail et pour avoir apporté tant De soins à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également les membres de jury qui me font honneur en acceptant d'examiner et de juger mon travail.

Sans oublier de remercier le personelle du hall de technologie, Attoub nourdine, abdelah ouadfel, boukou smail, youcefi rachid. Et sans oublier le personelles de l'entreprise ENMTP, lounisse.

Que tous ceux qui ont contribués à notre formation trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

*A ceux qui ont tant éveillé la nuit, tant sacrifié
de leurs temps pour m'instruire et qui ont su
faire face aux difficultés de tous les jours avec
vaillance et qui ont pu les surmonter malgré
tout et cela dans le seul souci de mon bien être,*

à vous mes très chers

parent que dieu vous protège.

A ma chères Sœur Imène.

A mes chers frères, Yacine, Fayçal, Bilal.

À tous mes amis (es) sans exception et tous ceux qui me sont chers.

MASSINISSA

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I Généralités sur l'usinage.....	2
I.1 Usinage.....	2
1.2 Tournage.....	3
I.3 Chariotage.....	3
I.4 Conditions de coupe.....	4
I.5 Conditions de coupe en tournage.....	5
I.5.1 Vitesse de coupe	6
1.5.2 Vitesse d'avance V_f, Avance par tour f.....	7
1.5.3 Les type d'avances.....	7
1.5.4 La profondeur de passe.....	8
I.6 Les matériaux des outils de coupes.....	8
I.7 Les copeaux.....	9
I.8 Formation du copeau.....	9
I.9 Type de copeau	11
I.9.1 Copeau continu	12
I.9.2 Copeau avec arête rapportée.	12
I.9.3 Copeau discontinu.....	13
I.9.4 Classification des copeaux.....	15

Chapitre II : Généralités sur les Aciers.

II.1 L'acier.....	20
II.2 Désignation des aciers.....	22
II.3 Différentes familles d'aciers	23
II.3.1 Aciers non alliés à usage général.....	23
II.3.2 Aciers spéciaux	23
II.3.3 Aciers inoxydables	23
II.3.5 Autres aciers alliés	23
II.3.5.1 Aciers faiblement alliés	23
II.3.5.2 Aciers fortement alliés.....	23
II.4 Composition des aciers	24
II.5 Les grains dans un acier	25
II.6 Acier 42 CrMo 4.....	26
II.6.1 Désignation	26
II.6.2 Composition chimique en %	26
II.6.3 Propriété 42 CrMo 4.....	26
II.6.4 Domaines d'application.....	26
II.7 Caractéristiques sans traitement thermique.....	27
II.7.1 Microstructure.....	27
II.7.2 Propriétés mécaniques.....	27
II.8 Caractéristiques avec trempe et revenu.....	27
II.8.1 Microstructure.....	27
II.8.2 Propriétés mécaniques.....	27

Chapitre III

Introduction

III.1 Matériaux utilisés	28
III.2 Élaboration des échantillons	29
III.2.1 découpages d'une partie de disque.....	29
III.2.2 Le découpage des échantillons	31
III.3 Caractérisation microstructurale	33
III.3.1 Le polissage mécanique.....	33
III.3.2 Attaque chimique.....	34
III.3.3 Méthodes d'observation.....	35
III.3.4 La dureté.....	38
III.3.4.1 Différents types d'indenteur.....	39
III.3.4.2 Principe de l'essai de dureté.....	40
III.3.4.3 Dureté de différentes séries réalisées.....	42
III.4 champ de contrainte de Von Mises.....	44

Chapitre IV

IV.1 : Dureté HV30.....	49
IV.2 : Forme de coupeau en fonction de diamètre de la pièce.....	51

Liste des figures

Chapitre I

Figure I. 1. Représentation d'une opération de tournage (chariotage)	3
Figure I. 2. Opération de Chariotage en tournage	4
Figure I. 3. Opération de chariotage d'un arbre.....	4
Figure I. 4. Le choix des Conditions de coupe	5
Figure I. 5. Condition de coupe en tournage	5
Figure I. 6. Vitesse de coupe	6
Figure I. 7. Vitesse d'avance V_f , Avance par tour f	7
Figure I. 8. Différentes types d'avance	8
Figure I. 9. Différents forme de copeau.....	9
Figure I. 10. Copeau d'usinage	9
Figure I. 11. Les différentes zones de déformation lors de la formation d'un copeau en coupe orthogonale.....	10
Figure I. 12. Etape de formation de copeau.....	11
Figure I. 13. Formes macrographiques de copeaux classés selon la norme ISO DIS 3685	11
Figure I. 14. Copeau continu	12
Figure I. 15. Copeau avec arrête rapportée.....	13
Figure I. 16. Copeau discontinu.....	13
Figure I. 17. Copeau de géométrie continue	18

Figure I. 18. Formes de copeau en coupe orthogonale.....	18
---	-----------

Chapitre II

Figure II.1 Microstructure de la ferrite.....	20
--	-----------

Figure II.2 Structure de l'acier au niveau microscopique.....	20
--	-----------

Figure II.3 Désignation des aciers.....	22
--	-----------

Figure II.4 types d'acier, suivant le diagramme d'équilibre fer/carbone	24
--	-----------

Figure II.5 les grains dans un acier.....	25
--	-----------

Figure II.5 microstructure de l'acier 42Cr Mo 4 sans traitement thermique.....	32
---	-----------

Figure II.6 microstructure de l'acier 42Cr Mo 4 avec trempe et revenu.....	32
---	-----------

Chapitre III

Figure III.1 disque en Acier 42 Cr Mo 4	28
Figure III.2 La position de prélèvement des échantillons	29
Figure III.3 Positionnements de chaque échantillons sur le disque	29
Figure III.4 le morceau de disque	30
Figure III.5 découpage de la pièce	30
Figure III.6 : Découpage avec une fraiseuse	30
Figure III.7 L'opération de découpage.....	30
Figure III.8 Le morceau de la partie de haut	31
Figure III.9 Le morceau de la partie de bas.....	31
Figure III.10 opération de découpage.....	31
Figure III.11 tronçonneuses avec lubrifiant	31
Figure III.12 Les échantillons de la partie en bas.....	32
Figure III.13 Les échantillons obtenus après l'opération de découpage.....	32
Figure III.14 Les échantillons de la partie en haut	32
Figure III.15 Les échantillons obtenus après l'opération de découpage	32
Figure III.16 Machine pour le polissage.....	33
Figure III.17 L'opération de polissage.....	33
Figure III.18 <i>échantillon après polissage</i>	34
Figure III.19 Microscope optique.....	35
Figure III.21 machine d'essai de dureté universel (micro d'uromètre)	38
Figure III.22 Schéma de différents types de pointe et d'empreintes correspondantes....	39
Figure III.23 image représentative du principe de dureté	40
Figure III.24 l'empreinte formée par l'indenteur	40
Figure III.25 méthode de mesure	41
Figure III.26 Les différents séries de l'essai de dureté	42
Figure III.27 Les courbes de dureté	42
Figure III.28 Dureté moyenne des trois séries	43
Figure III.29 Modalisation de disque d'essai.....	44
Figure III.30 imposée des conditions aux limites sur le disque.....	44

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Classification des coupeaux.....	15
Tableau I.2 Classification des coupeau selon la norme NFE 66505.....	17
Tableau I.3 forme de coupeau obtenue lors de l'usinage de l'acier 42 Cr Mo 4.....	19
Tableau I.4 classification de coupeau.....	20

Chapitre II

Tableau II.1 appellation normalise du 42CD4.....	26
Tableau II.2 composition chimique du 42 Cr Mo 4 en %.....	26
Tableau II.3 propriété mécanique du 42 Cr Mo 4.	26

Chapitre III

Tableau III.1 Microstructure des échantillons de la partie d'en bas.....	36
Tableau III.2 Microstructure des échantillons de la partie d'en haut.....	37
Tableau III.3 distribution de champ de contraint pour les diamètres 38-58.....	45
Tableau III.4 distribution de champ de contraint pour les diamètres 68-78.....	46
Tableau III.5 distribution de champ de contraint pour les diamètres 88-118.....	47
Tableau III.6 distribution de champ de contraint pour les diamètres 128-148.....	48

Introduction

Le chariotage est une opération d'usinage très importante dans l'industrie de fabrication mécanique.

Il a été constaté que sous l'effet d'un bon choix des conditions de coupe, en particulier la vitesse de coupe notée V_c qui influe beaucoup sur la forme du copeau en lien direct avec l'état de surface engendré, le choix de V_c à elle seul nous donne des comportements différents le long de l'usinage, selon le diamètre de la pièce qui présente un petit diamètre ou bien un grand diamètre.

Notre travail consiste à poser le problème rencontré lors de l'usinage des pièces à grand diamètre.

En théorie si la vitesse de coupe V_c est constante ceci résulte un copeau de forme constante, mais on pratique en a remarqué que la forme du copeau change et cela malgré V_c et maintenue constante.

Nous présenterons dans le premier chapitre en premier lieu des généralités sur les procédés l'usinage.

Le deuxième chapitre porte sur des généralités des aciers et ses différentes familles, et nous avons axés notre travail sur l'acier 42CrMo4 utilisé lors de nos essais.

Le chapitre trois présente notre investigation et recherche de points mettant en évidence la relation entre la microstructure de l'acier et son comportement à l'usinage.

Et au finale le chapitre quatre nous exposons nos résultats obtenu lors des essais, et nous discutons ces résultats pour en tire des conclusions.



Chapitre I

Généralités sur l'usinage

L'usinage des métaux est une technique de mise en forme par enlèvement de matière très développée et très répandue, C'est un procédé de fabrication qui consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de la matière à froid et sans déformation en utilisant un outil de coupe. La quantité de matière enlevée est dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce.

Le tournage est l'un des procédés d'usinage. Il occupe une place très importante dans la fabrication mécanique à cause de sa simplicité et la possibilité de produire un grand nombre de forme géométrique.

Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur le tournage, qui contient des définitions, les conditions de coupe et la géométrie d'outils et les différentes formes de copeaux.

I.1 L'usinage

L'usinage est un procédé de génération de surfaces. Il consiste à créer une nouvelle surface par enlèvement de matière (formation de copeaux) en utilisant un outil coupant. Les caractéristiques de cette surface dépendent du couple outil-matière, c'est-à-dire des paramètres mis en jeu pendant la coupe (vitesse de coupe, vitesse d'avance, profondeur de passe ...). En usinage, il existe plusieurs configurations utilisables selon le procédé de coupe (le fraisage, le tournage ...). Durant notre étude, nous nous intéresserons plus précisément à la technique d'enlèvement de matière par tournage suivant deux configurations : la coupe tridimensionnelle (le chariotage) et la coupe bidimensionnelle (connue sous le nom de coupe orthogonale). En tournage, dans une opération de chariotage par axial : la pièce et animé par un mouvement de rotation autour d'un axe bien défini et par un mouvement de déplacement parallèle à cet axe (Figure 1.1). La rotation de la pièce définit la vitesse de coupe, quant au déplacement de l'outil, il définit la vitesse d'avance. La configuration de ces deux mouvements associés à la géométrie de l'outil permet d'obtenir la création du copeau. [1].

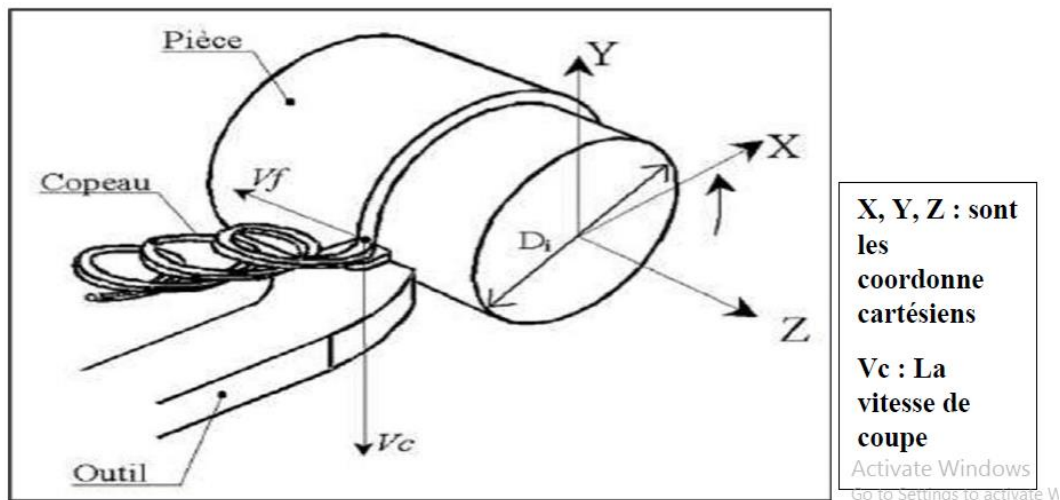


Figure I.1 représentation d'une opération de tournage (chariotage) [1].

I.2 Le tournage

Le 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) [2].

I.3 Chariotage

En tournage, le chariotage (Figure I.2) 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. [2].

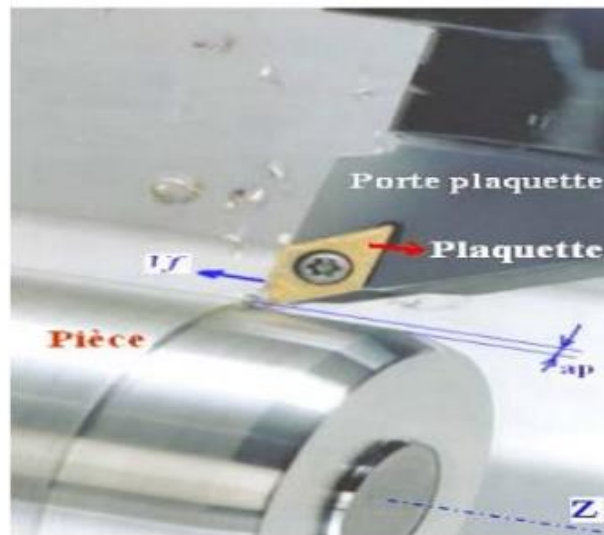


Figure I.2: Opération de chariotage en tournage [2]

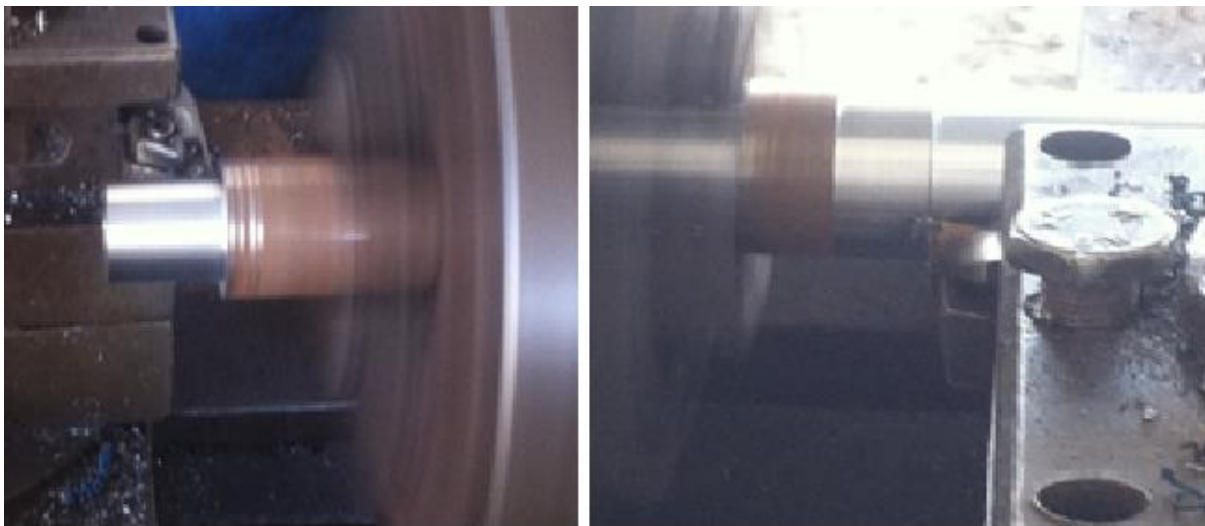


Figure I.3: Opération de Chariotage.

I.4 Les Conditions de coupe

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 [2].

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 [2] :

- 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...) [2].

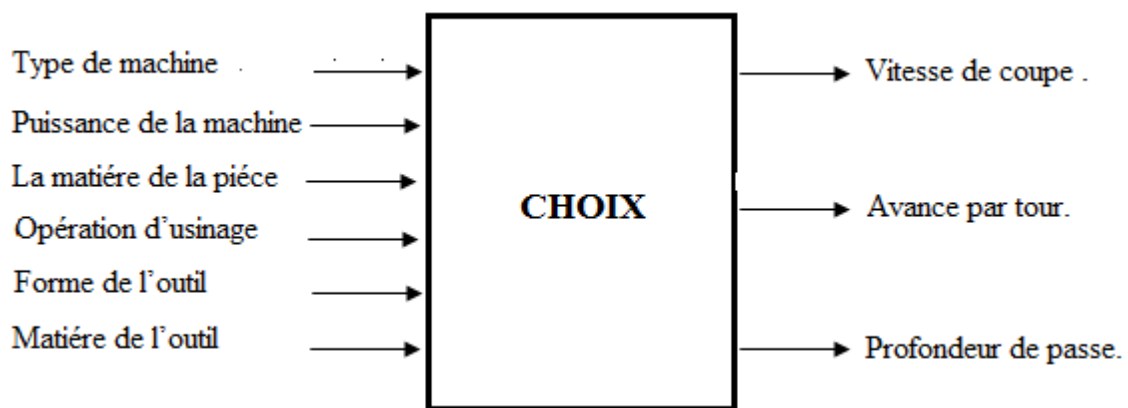


Figure I.4 : les choix des conditions de coupe [3]

I.5 Les Condition de coupe en tournage

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

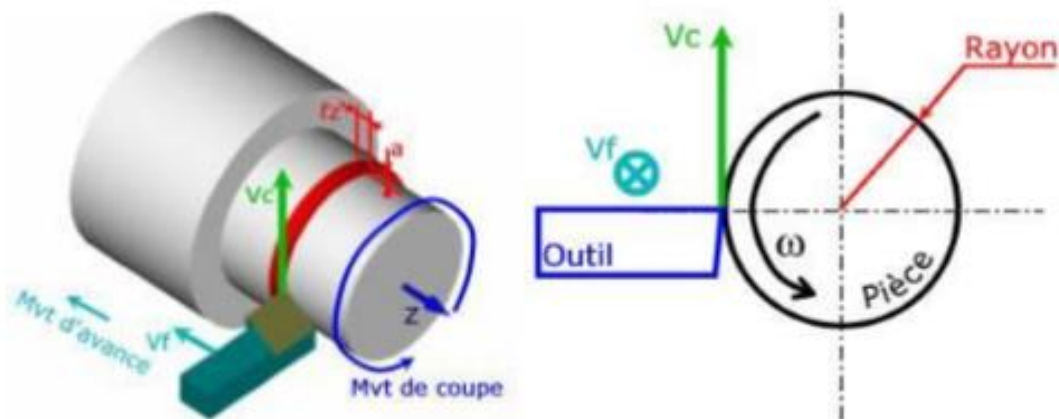


Figure I.5: Conditions de coupe [4]

I.5.1 Vitesse de coupe

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

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad (\text{I.1}). \quad [4].$$

Avec :

D diamètre de la pièce exprimée en mm ;

V_c vitesse de coupe [m/mn] ;

N vitesses de rotation [tour /mn].

D'où :

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad (m / \min)$$

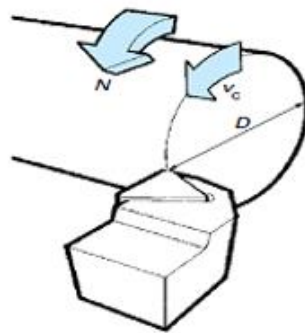


Figure I.6 : Vitesse de coupe [4]

I.5.2 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 est exprimée en mm/tour. Comme pour la vitesse de coupe, en pratique, l'avance s'exprime en vitesse d'avance V_f . Cette dernière représente la vitesse à laquelle l'outil se déplace par rapport au bâti de la machine selon les axes longitudinal et transversal et en fonction du nombre de tours effectués par la pièce. Elle est donnée par l'Équation I.2. [4]

$$V_f = f \times N \text{ (mm / min)} \quad (\text{I.2}). [4]$$

Avec :

V_f vitesse d'avance exprimée en mm/min.

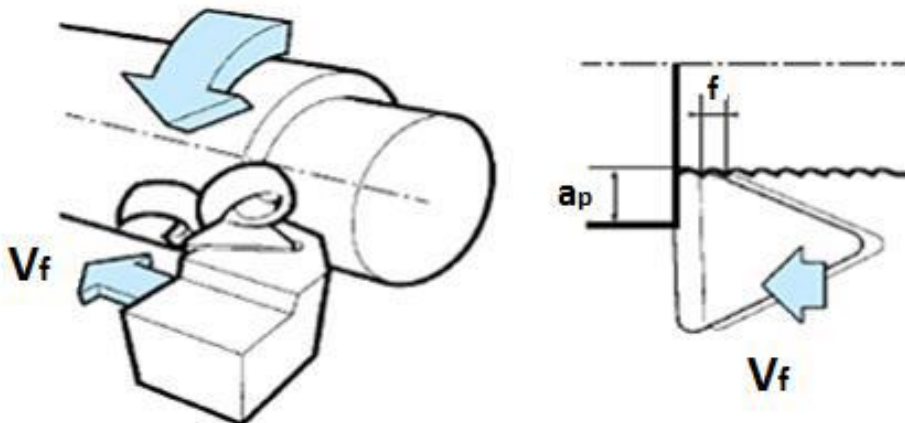


Figure I.7 : Vitesse d'avance V_f , Avance par tour f [4]

I.5.3 Les types d'avances

On distingue trois sortes d'avance (Figure I.8)

I.5.3.1 Avance longitudinale : On appelle avance longitudinale si l'outil se déplace parallèlement à l'axe de l'ébauche.

I.5.3.2 Avance transversale : On appelle avance transversale si l'outil se déplace perpendiculairement à l'axe de l'ébauche.

I.5.3.3 Avance oblique : On appelle avance oblique si l'outil se déplace sous un angle par rapport à l'axe de l'ébauche. [5].

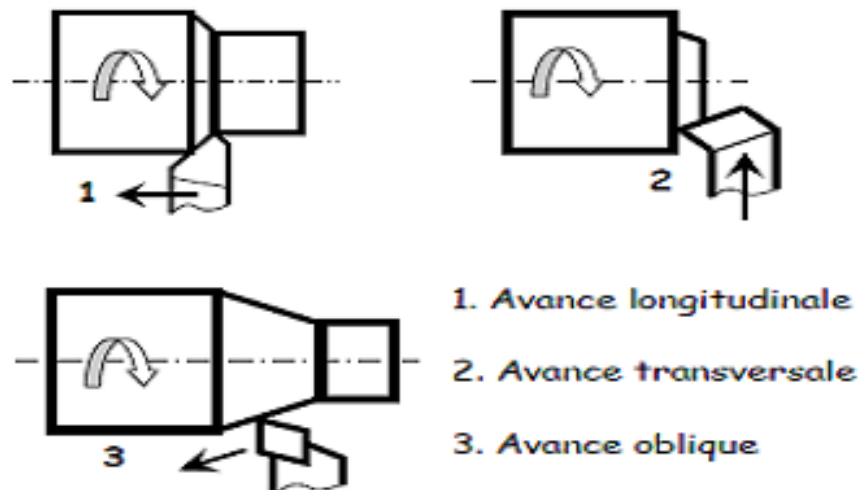


Figure I.8 : Différents types d'avance [5]

I.5.4 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, ce paramètre disparaît car il est confondu avec l'avance. [4].

I.6 Les matériaux des outils de coupes

Connaitre le matériau d'un outil de coupe est une obligation pour pouvoir étudier ses caractéristiques

a. Aciers rapides :

Ce sont des aciers fortement alliés, ces éléments sont le tungstène (W), le molybdène (Mo), le vanadium (V), le cobalt (Co), et le chrome (Cr) et le pourcentage de carbone varie de 0,8 à 1,75%. [6].

b. Les carbures : Ils font partie de l'outillage couramment employé en mécanique pour la coupe des métaux. C'est un mélange de poudre de carbure et de fers frittés, ils sont souvent revêtus d'alliage de grande dureté pour faciliter le glissement du copeau sur l'outil et l'évacuation de la chaleur, l'épaisseur de ces couches varie de 4 à 10 microns. [6].

c. Les céramiques : Elles permettent des vitesses de coupe quatre fois plus élevées que les carbures et elles conservent leur dureté à plus haute température (jusqu'à 1000°C). Il existe deux types de céramique, la céramique blanche ou la céramique pure, la céramique noire ou mixte ou cermet. [6].

d. Le diamant : C'est le matériau le plus dur et aussi le plus cher, mais il est quand même nettement moins cher que le diamant monocristallin, il possède une résistance à l'usure que les autres matériaux d'outils n'ont pas, le diamant poly cristallin ne peut supporter une température supérieure à 850°C, et il ne pourra pas être utilisé pour usiner des aciers ou des fontes. La coupe de métal dépend étroitement de la géométrie de l'outil utilisé, dans ce qui suit un aperçu sur les géométries des outils de coupes [6].

I.7 Les copeaux

Un copeau est une petite chute de matière créée à la suite d'un usinage sur machine-outil d'une matière. (Figure I.9 et Figure I.10) Les principaux facteurs influençant la formation du copeau sont : La vitesse de coupe (v_c). La profondeur de passe (a). La vitesse d'avance (v_f). La géométrie de l'outil. Les matériaux de l'outil et de la pièce. La lubrification.

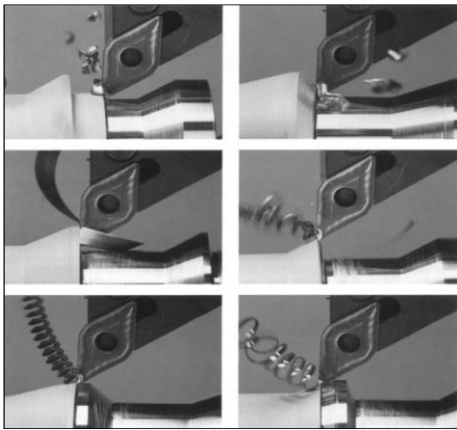


Figure I.9 : différents formes de copeau



Figure I.10 : copeau d'usinage

I.8 Formation du copeau

La compréhension des différents phénomènes qui interviennent lors du tournage est complexe et pas encore maîtrisée. L'enlèvement de matière se fait par action mécanique d'un outil coupant (Figure I.11). Dans le cas de la coupe orthogonale en régime stationnaire, la force exercée par l'outil lors de son engagement dans la matière provoque, à l'échelle microscopique, une forte compression de la matière (une déformation plastique et un échauffement considérable) et engendre une zone de cisaillement intense entre la pointe de l'outil et la surface externe du copeau. Cette zone est appelée zone de cisaillement primaire (ZI) et c'est aussi la zone de formation de copeau. En outre, le copeau formé s'écoule et frotte sur la face de coupe de l'outil. Ce frottement intense génère la zone de cisaillement secondaire (ZII).

Cette dernière est constituée d'une fine bande de frottement intense entre le copeau et l'outil et d'une autre bande d'influence du frottement du copeau sur l'outil (cisaillement secondaire) De plus, pendant l'avance de l'outil, la face en dépouille de ce dernier frotte sur la nouvelle surface et produit une troisième zone de cisaillement nommée zone de cisaillement tertiaire ZIII. Ainsi et comme le montre la Figure 1.5, la formation du copeau peut être décrite en définissant différentes zones d'absorption de l'énergie mécanique apportée lors de la coupe, une zone de forte pression hydrostatique au niveau de la pointe de l'outil et les trois zones de cisaillement citées précédemment. [7]

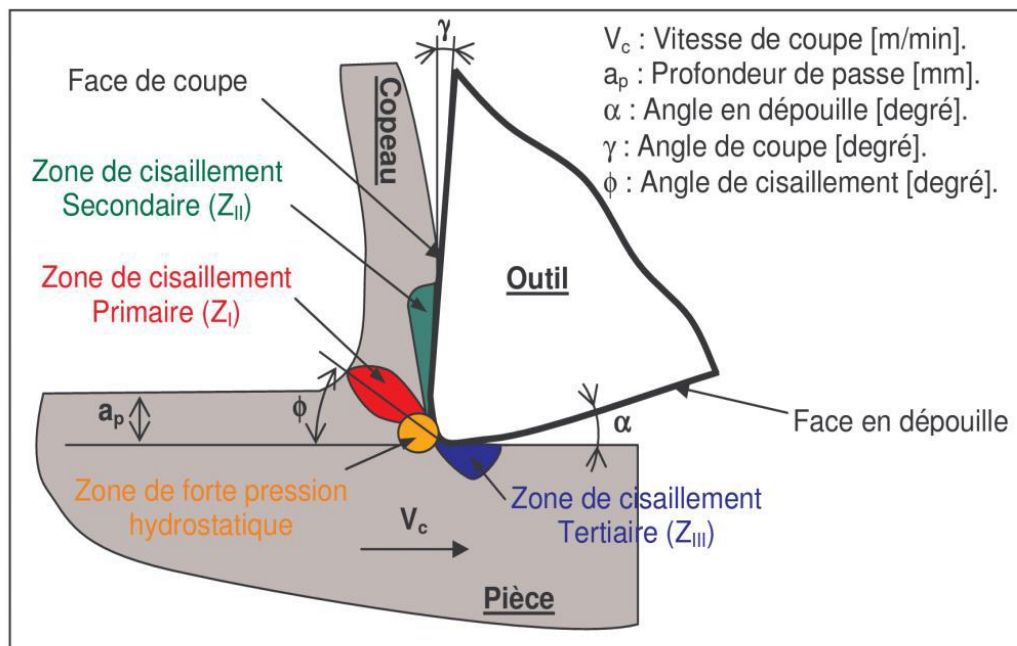


Figure I.11 Les différentes zones de déformation lors de la formation d'un copeau en coupe orthogonale. [7]

Le phénomène complexe de formation de copeau dépend également du frottement de :

La rhéologie du matériau usiné (matériau dur, matériau à usinabilité améliorée ...etc.),

Les propriétés thermo-physiques du matériau usiné et usinant,

La nature et la géométrie de l'outil,

La nature du contact outil-copeau,

La nature de l'opération effectuée (coupe orthogonale, chariotage, ...etc.),

Procédé d'usinage utilisé (usinage dur, usinage avec assistance ...etc.).

La surépaisseur de matière à enlever c'est la couche qui va former le copeau sous l'action mécanique complexe d'un outil de coupe, en utilisant une machine-outil comme le tour, la fraiseuse, la perceuse ou la scie ...etc. l'analyse et la compréhension du processus de formation du copeau est nécessaire pour l'amélioration et le développement des machines-outils et les moyens de coupe. L'accumulation de matière devant l'outil (étape 2) génère des forces très importantes d'action de l'outil et de réaction de la part de la pièce, jusqu'à qu'il a détachement de matière de la pièce (étape 3) par déformation élastique, plastique puis rupture. (Figure I.12). [8]

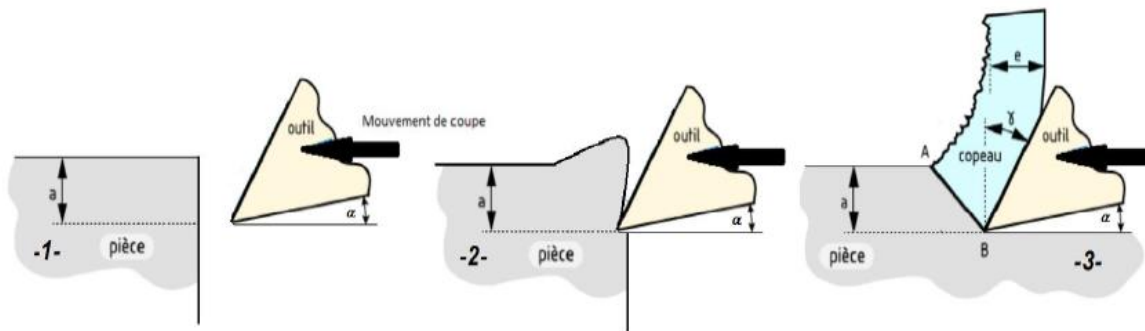


Figure I.12 : Etapes de formation de copeau. [8]

I.9 Type de copeau :

Une norme existe pour classifier les copeaux obtenus en usinage (ISO DIS 3685).

1 : copeau ruban	2 : copeau tubulaire	3 : copeau en spirale	4 : copeau hélicoïdal en rondelle	5 : copeau hélicoïdal conique	6 : copeau élémentaire	7 : copeau aiguille	8 : copeau en arc
11 : Long	21 : Long	32 : plat	41 : Long	51 : Long	61 : Enchevêtré		
12 : Court	22 : Court	32 : Conique	42 : Court	52 : Court	62 : détaché		
13: Enchevêtré	23: Enchevêtré		43: Enchevêtré	53: Enchevêtré			

Figure I.13 Formes macrographiques de copeaux classés selon la norme ISO DIS 3685... [9]

Les mécanismes de génération de copeaux et les phénomènes thermomécaniques intervenant conduisent, à l'échelle micrographique, à la formation de copeaux de natures et de morphologies très différentes. Les copeaux peuvent être classifiés suivant trois grands groupes copeau continu, copeau avec arête rapportée, copeau discontinu. [9]

I.9.1 Copeau continu

La Figure I.14 Donne un exemple de copeau continu, pendant l'usinage d'un acier 32CrMoV13 d'une dureté de 270 Hv avec une nuance d'outil en Cermet. Lors de la génération d'un copeau continu, la valeur de la contrainte de cisaillement que subit la matière à la traversée de la zone primaire n'atteint pas la limite de rupture du métal et ce dernier s'écoule de manière continue le long de l'outil. Généralement, ce type de copeau est obtenu pour de faibles vitesses de coupe et/ou d'avance. [7].

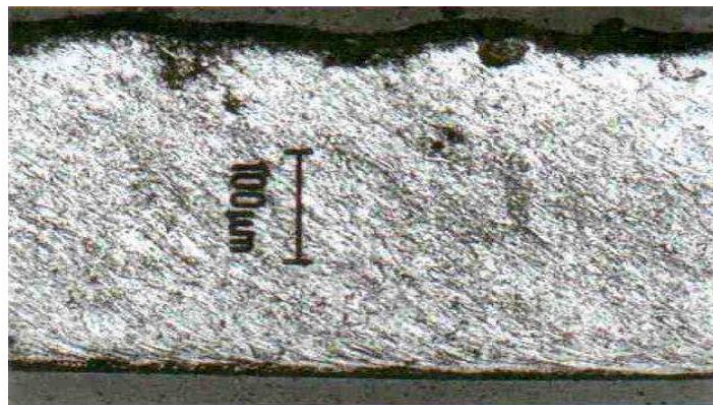


Figure I.14 Copeau continu ($V_c = 100\text{m/min}$, $f = 0,2\text{ mm/tr}$). [7].

I.9.2 Copeau avec arête rapportée

Pendant la coupe et pour de faibles vitesses de coupe, une arête rapportée peut se former par accumulation de la matière à la pointe de l'outil de coupe générant ainsi une nouvelle arête, qui déplacera le contact outil copeau (Figure I.15). Les dimensions de l'arête rapportée (l'épaisseur et la longueur), conditionnent la rugosité totale de la surface usinée et sont d'autant plus grandes que les dimensions sont élevées. [7].

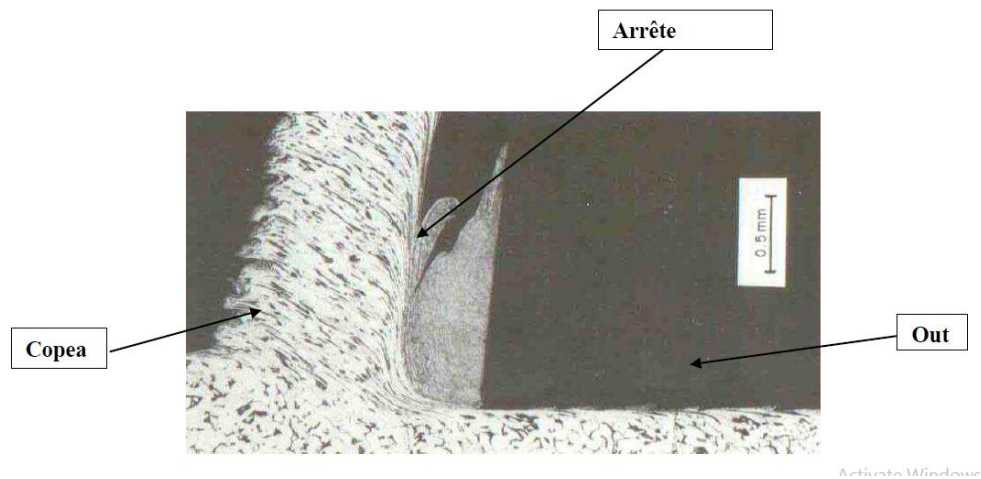


Figure I.15 Copeau avec arrête rapportée. [7].

I.9.3 Copeau discontinu

Dans ce cas, la valeur de la contrainte de cisaillement dans la zone primaire atteint la limite de rupture du métal usiné et le copeau se casse sous l'effet de cette rupture finale du matériau. Cette morphologie est souvent observée dans l'usinage des aciers inoxydables austénitiques (Figure I.16) [7].

Il est très important de comprendre la genèse des copeaux en dents de scie car d'une part, ils sont faciles à fragmenter vu la faible épaisseur qui joint chaque feston, qui à son tour va permettre de dissiper plus de chaleur en comparaison avec un copeau continu. Ainsi, cette petite épaisseur va permettre de diminuer la température de coupe à l'interface Pièce-outil copeau. D'autre part, la segmentation peut conduire à de fortes variations de la fréquence Périodique sur les efforts de coupe, à l'augmentation de l'usure de l'outil et à la diminution de la précision de la pièce usinée. [7].



Figure I.16 Copeau discontinu d'un acier austénitique inoxydable usiné avec un outil carbure ($V_c = 130\text{m/min}$, $f = 0,1\text{mm/tr}$). [7].

Les différentes morphologies présentées ci-dessus, représentent les trois grandes familles de formes de copeaux obtenus en coupe. Il existe le copeau de transition qui est l'intermédiaire entre un copeau continu et un copeau discontinu et d'autres géométries beaucoup plus complexes, à titre d'exemple celle présentée dans la (Figure I.17), cette géométrie est le résultat des vibrations, observées pour de faibles avances, qui se superposent à la segmentation spontanée des copeaux. [10].

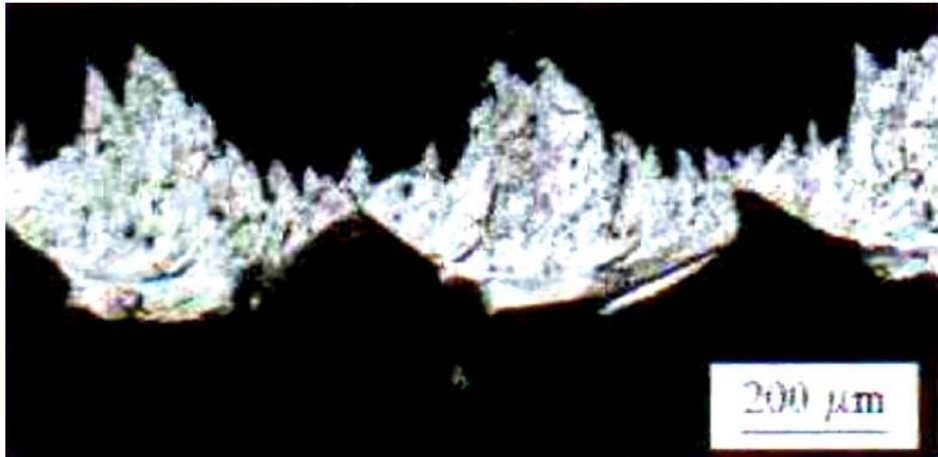


Figure I.17 Copeau de géométrie continue ($V_c = 300$ m/min, $f = 0,05$ mm/tr). [7].

Il existe aussi d'autres copeaux intermédiaires entre un copeau continu et un copeau discontinu et d'autres géométries. (Figure I.17). [11]

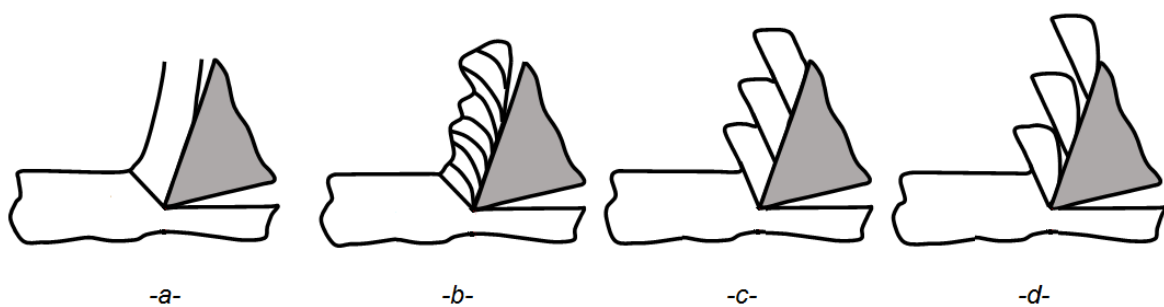




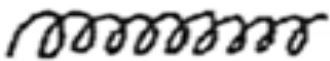
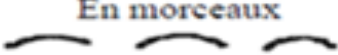
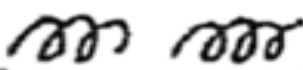

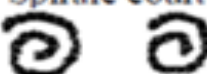
Figure I.18 Formes de copeau en coupe orthogonale :

- a) copeau continu, b) copeau ondulé, c) copeau segmenté, d) copeau fragmenté (d'après Wagner 12). [11]

I.9.4 Classification des copeaux

La forme des copeaux n'est pas sans importance. Tout d'abord, il faudra les stocker et, à ce point de vue, ils conviennent qu'ils prennent le moins de place possible. Dans la tableau (I.1) ci-dessous nous avons un mode de classification des copeaux qui s'appuie sur leur taux d'encombrement R, il montre aussi la variation de l'angle de coupe (γ_s), la longueur de l'arrête de coupe (a) ainsi l'angle de direction d'arrête de coupe (κ_r). [7]

Tableau I.1 : Classification des copeaux. [10].

type	forme	R min	qualité
1	Bande 	90	Mauvaise
2	Emmêlé 		
3	Hélicoïdale long 	50	Admissible
4	En morceaux 	3	Admissible
5	Hélicoïdale court 	25	Bon
6	Spirale 	8	
7	Spirale court 		

$$R = \frac{\text{volume occupé par les copeaux}}{\text{volume reel des copeaux}}$$

I.3 .[10].

Un deuxième aspect à envisager est l'évacuation correcte des copeaux.

Les copeaux en bandes larges et minces sont dangereux car, tout chauds qu'ils sont, ils sortent à grande vitesse et risquent de blesser l'opérateur.

Les copeaux emmêlés sont une vraie plaie, car ils forment un écheveau autour de l'outil, se laissent entraîner par la pièce, et requièrent une attention constante de l'opérateur qui doit les arracher avec une tige recourbée à son extrémité.

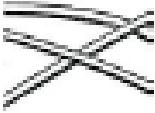

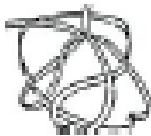
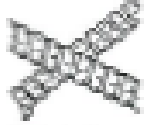








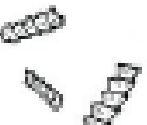





Les copeaux hélicoïdaux longs sont admissibles, quoique non idéaux dans la mesure où ils passent mal dans un système de récupération automatique des copeaux.

Les copeaux hélicoïdaux courts, Spirale et Spirale court sont meilleurs. Les copeaux en petits morceaux, ils sont projetés en l'air et peuvent être dangereux. On ne peut les admettre en toute sécurité que si la machine est pourvue d'un capot. [12].

Les professionnels en coupe des métaux conseillent à un usinage produisant un copeau court qui se fragmente facilement, qui est très avantageux par son:

- Evacuation facile du copeau,
- Pièce non rayée, □ Meilleur état de surface,
- Refroidissement de l'outil plus efficace,
- Sécurité.
- Des diagrammes brise-copeaux sont à la disposition des professionnels pour contrôler la formation de copeau en donnant un choix des conditions de coupe profondeur de passe et avance en fonction des attributions de l'outil et la matière a usiné. et il faut éviter :
- Un copeau long et filant qui entraîne une réduction de durée de vie de l'outil, provoqué par un échauffement excessif, un écaillage, une arête rapportée, une rupture de l'arête.
- Un copeau très fragmenté favorise l'apparition de vibrations de la pièce avec état de surface rugueux. [12].

Tableau I.2 : Classification des copeaux selon la norme NFE 66505 [13]

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

Le tableau I.3 illustre quelque forme de copeau obtenue lors de l'usinage de l'acier 42 Cr Mo 4

Tableau I.3 : forme de copeau obtenue lors de l'usinage de l'acier 42 Cr Mo 4. [13].






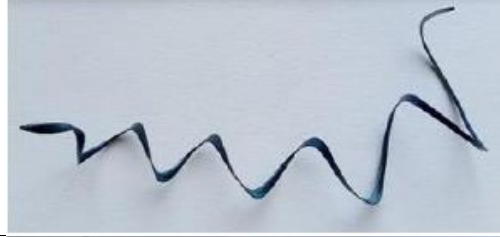




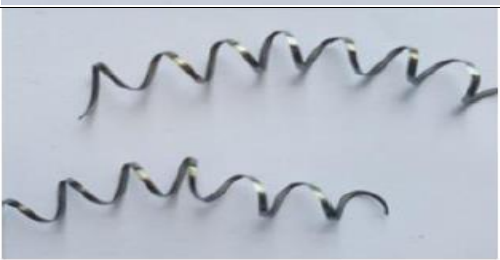
Image de copeau		Forme de copeau
		forme ruban enchevêtre, on peut remarquer aussi qu'ils sont festonnés
		forme ruban enchevêtre
		forme en arc attache
		forme en arc détaché

Tableau I.4: classification de copeau. [13].

Image de Copeau	Forme de copeau
	Copeau tubulaire enchevêtrés
	Copeau hélicoïdal en rondelle court
	Copeau hélicoïdal conique court
	Copeau hélicoïdal conique long
	Copeau hélicoïdal en rondelle court
	Copeau tubulaire enchevetre
	Copeau tubulaire court



Chapitre II



Généralités sur les Aciers

Ce chapitre correspondant à une synthèse bibliographique nous évoquerons dans la première partie les généralités sur les aciers et leurs différentes caractéristiques ainsi que leur comportement mécanique, et dans la deuxième partie nous parlons de l'acier 42 Cr Mo 4.

II.1 L'acier

L'acier est un alliage métallique ferreux, qui est d'ailleurs principalement composé de Fer (Figure II.1), et l'élément additionnel qui est le carbone (Figure II.2), n'est présent qu'à l'état de traces infimes. Selon les aciers, la teneur en carbone est comprise Entre environ 0,005 % et 1,5 % en masse. Elle monte très rarement jusqu'à 2 %. Pourtant, c'est Bien cette teneur en carbone, qui confère à l'acier de manière assez complexe les propriétés que l'on lui reconnaît. Par exemple, plus la teneur en carbone d'un acier est importante, plus l'acier est dur. [14].

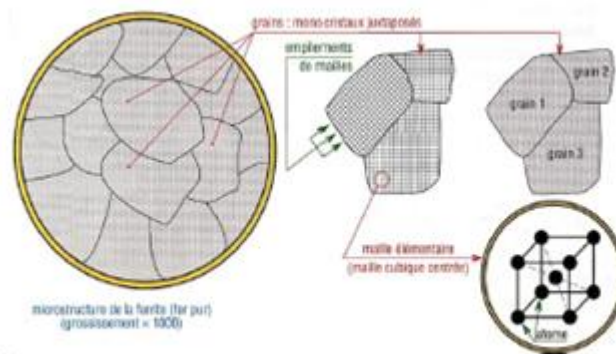


Figure II.1 Microstructure de la ferrite. [14].

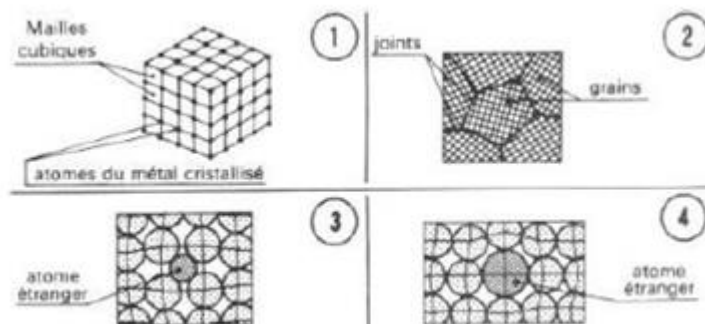


Figure II.2 Structure de l'acier au niveau microscopique, ① mailles cubique, ② grains et joints de grains, ③ atome étranger de volume inférieur à celle de l'acier, ④ atome étranger de volume supérieur à celui de l'acier. [14]

La teneur en carbone a une influence considérable (et assez complexe) sur les propriétés de l'acier en deçà de 0,008 %, l'alliage est plutôt malléable et on parle de « fer ». Au-delà de 2 %, les inclusions de carbone sous forme graphite fragilisent la microstructure et on parle de fonte. Entre ces deux valeurs, l'augmentation de la teneur en carbone a tendance à améliorer la résistance mécanique et la dureté de l'alliage : on parle d'acier « doux, mi-doux, mi-dur, dur ou extra dur » (classification traditionnelle). [14].

On modifie également les propriétés des aciers en ajoutant d'autres éléments, principalement métalliques, et on parle d'aciers alliés. On peut encore améliorer grandement leurs caractéristiques par des traitements thermiques (notamment les trempes) prenant en surface ou à cœur de la matière ; on parle alors d'aciers traités. Outre ces diverses potentialités, et comparativement aux autres alliages métalliques, l'intérêt majeur des aciers réside d'une part dans le cumul de valeurs élevées dans les propriétés mécaniques fondamentales : résistance aux efforts (module d'élasticité, limite élastique, résistance mécanique), dureté, résistance aux chocs (résilience). D'autre part, leur coût d'élaboration reste relativement modéré, car le minerai de fer est abondant sur terre (environ 5 % de l'écorce terrestre). Enfin les aciers sont pratiquement entièrement recyclables grâce à la filière ferraille. [14].

On peut néanmoins leur reconnaître quelques inconvénients, notamment leur mauvaise résistance à la corrosion, à laquelle on peut remédier, soit par divers traitements de surface (peinture, brunissage, zingage, galvanisation à chaud, etc.), soit par l'addition d'éléments réalisant des nuances dites « inoxydables ». Par ailleurs, les aciers sont difficilement modulables, donc peu recommandés pour les pièces volumineuses de formes complexes (bâti de machines, par exemple). Enfin, lorsque leur masse volumique est compromettante (dans le secteur Aéronautique par exemple), on se tourne vers des matériaux plus légers (alliages à base d'aluminium, composites, etc.), mais parfois beaucoup plus chers. [14].

De ce fait, les aciers restent privilégiés dans presque tous les domaines d'application: équipements publics (rails, signalisation), bâtiment (armatures, structures porteuses, ferronnerie, quincaillerie), moyens de transport (carrosseries, transmission), composants mécaniques (visserie, ressorts, câbles, roulements, engrenages), outillage de frappe (marteaux, burins, matrices, etc.) et de coupe (fraises, forets, porte-plaquette), etc. La liste est loin d'être exhaustive. [14].

II.2 Désignation des aciers

Chaque pays a son mode de désignation des aciers. Le schéma ci-contre indique la désignation européenne selon la norme EN10027. Cette norme distingue quatre catégories (Figure II.3) :

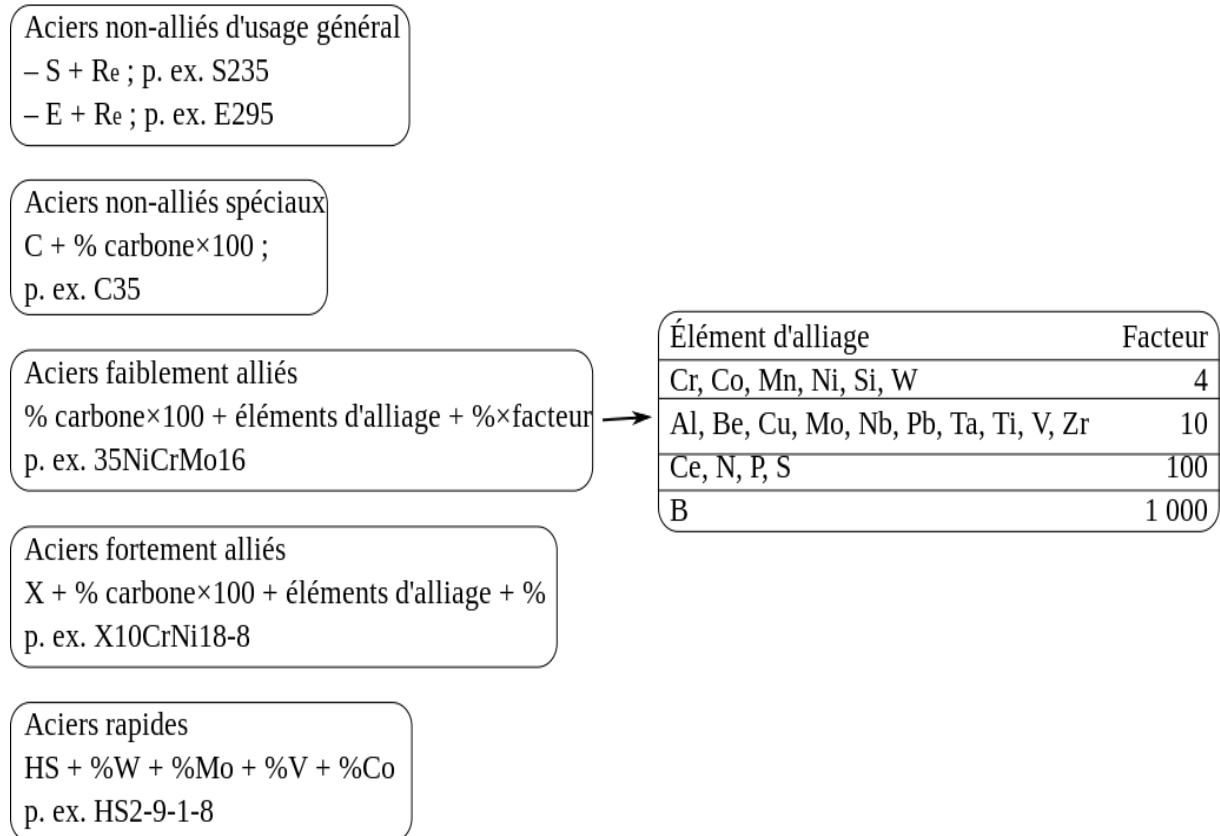


Figure II.3 : désignation européenne des aciers selon la norme EN10027. [15]

II.3 Différentes familles d'aciers

Il existe des aciers faiblement alliés, à faible teneur en carbone, et au contraire des aciers contenant beaucoup d'éléments d'alliage (par exemple, un acier inoxydable typique contient 10 % de nickel et 18 % de chrome en masse). [16].

II.3.1 Aciers non alliés à usage général

Ils ont une faible teneur en carbone et sont les plus utilisés, leurs qualités pouvant varier. Leurs applications vont de la construction soudée à l'ameublement en passant par l'électroménager. [16].

II.3.2 Aciers spéciaux

Leur composition est plus précise et plus pure et correspond à des usages définis à l'avance. Leurs applications courantes sont : forets, ressorts, arbres, matrices. [16].

II.3.3 Aciers inoxydables

L'acier inoxydable est une des trois grandes familles d'aciers qui présente une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud et au fluage (déformation irréversible). C'est un acier fortement allié. Ses applications sont multiples : chimie, nucléaire, mais aussi couteaux et équipements ménagers. Ces aciers contiennent au moins 12% de chrome. [16].

II.3.4 Autres aciers alliés

a. Aciers faiblement alliés

Aucun élément d'addition ne dépasse 5% en masse ; ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance. [17].

B. Aciers fortement alliés

Au moins un élément d'addition dépasse les 5% en masse. Destinés à des usages bien spécifiques, on y trouve des aciers à outils, réfractaires, Maraging (très haute résistance, utilisés dans l'aéronautique), Hadfields (très grande résistance à l'usure), à roulements. [17].

II.4 Composition des aciers

On distingue plusieurs types d'aciers selon le pourcentage de carbone qu'ils contiennent comme le montre la (figure II.4) :

- > Les aciers hypoeutectoïdes (de 0,008 à 0,77 % de carbone) qui sont les plus doux
- > Les aciers eutectoïdes (0,77 % de carbone)
- > Les aciers hypereutectoïdes (de 0,77 à 2,11 % de carbone) qui sont les plus durs. [18].

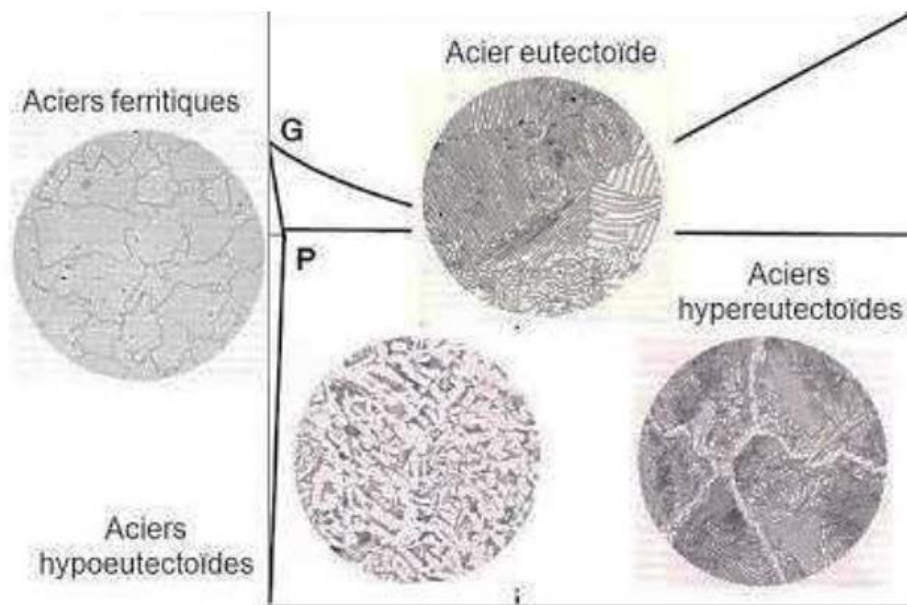


Figure II.4 types d'acier, suivant le diagramme d'équilibre fer/carbone. [18].

La structure cristalline des aciers à l'équilibre thermodynamique dépend de leur concentration (essentiellement en carbone mais aussi des autres éléments d'alliage), et de la température. On peut aussi avoir des structures hors équilibre (par exemple dans le cas d'une trempe). [18].

II.5 Les grains dans un acier

L'acier n'est pas une matière homogène. De plus, l'acier est constitué de grains juxtaposés (Figure II.5). Chaque grain peut contenir un ou plusieurs constituants, sous forme de lamelles, d'aiguilles ou de perles. [19].

La structure à l'intérieur d'un grain est en général assez régulière. La frontière entre deux grains est appelée "joint de grain". Ce peut être un simple changement d'orientation du réseau cristallin ou bien un espace contenant une ou plusieurs phases de l'acier, comme par exemple de la Cémentite. Voir le schéma ci-contre. [19].

Par exemple, un acier hypereutectoïde à 1% de Carbone aura des grains de Perlite (contenant 0.77% de Carbone) et des joints de grain avec de la Cémentite. Globalement la proportion de Carbone est bien de 1%. Mais à l'échelle macroscopique, l'uniformité n'existe pas

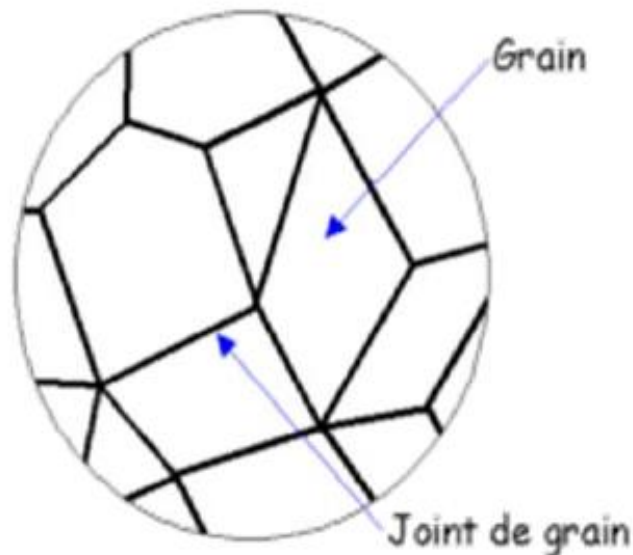


Figure II.5 les grains dans un acier. [18].

La taille des grains a une influence majeure sur les capacités mécaniques de l'acier en termes de résilience. [18].

II.6 Acier 42 Cr Mo 4

Matières de mon disque utilise pour la réalisation de mes échantillons, acier faiblement allié

II.6.1 Désignation

Tableau II.1 : appellation normalise du 42CD4. [20].

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

II.6.2 Composition chimique en %

Tableau II.2 : composition chimique du 42 Cr Mo 4 en %. [20].

C	Cr	Mo	S	Mn	P	Si
0.38-0.45	0.90-1.20	0.15-0.30	≤0.035	0.60-0.90	≤0.035	≥0.40

II.6.3 Propriété 42 Cr Mo 4

Acier de construction faiblement allié au chrome molybdène pour trempe et revenu. Bonne trempabilité à l'huile, bonne résistance aux surcharges à l'état traité.

Tableau II.3 : propriété mécanique du 42 Cr Mo 4. . [20].

norme	Limite élastique (N/mm ²)	Résistance à la traction (N/mm ²)	Allongement A(%)	Striction a la rupture S(%)	Résilience (J/cm ²)	Dureté brinell HB
42 CrMo 4	650	900-1100	12	50	35	217

II.6.4 Domaines d'application

Acier très employé en mécanique, pour des pièces de moyennes à fortes sections : arbres, essieux, crémaillères, vilebrequins, bielles, engrenages. Cet acier est parfois utilisé pour des pièces trempées superficiellement. Caractéristiques mécaniques moyennes (état trempé revenu)

II.7 Caractéristiques sans traitement thermique

II.7.1 Microstructure

Structure ferrite + perlite homogène

II.7.2 Propriétés mécaniques

Traction : $R_m = 500 \text{ MPa}$

$R_{p0,2} = 250 \text{ MPa}$

$A\% = 20 \%$

Dureté : 140 HV10

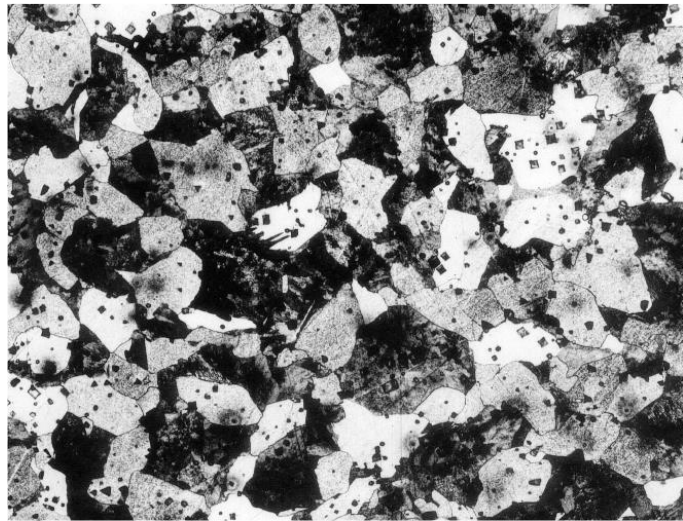


Figure II.6 : microstructures de l'acier 42Cr Mo 4 sans traitement thermique

II.8 Caractéristiques avec trempe et revenu

II.8.1 Microstructure

Structure martensitique homogène

II.8.2 Propriétés mécaniques

Traction : $R_m = 1650 \text{ MPa}$

$R_{p0,2} = 1150 \text{ MPa}$

$A\% = 5 \%$

Dureté : 490 HV10 ou 45 HRC

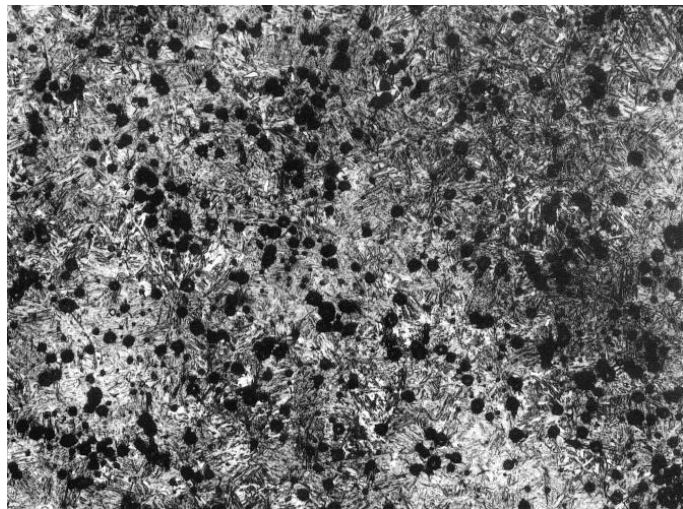


Figure II.7 : microstructures de l'acier 42Cr Mo 4 avec trempe et revenu



Chapitre III



Matériaux

Et

Techniques expérimentales

III Introduction

L'objectif de notre travail étant d'expliquer pourquoi la variation de diamètre d'une pièce a de l'influence sur la qualité et la forme du copeau lors d'une opération de chariotage.

Et pour cela on va procéder à l'analyse de la microstructure de l'acier afin d'aboutir et de mettre en évidence la relation entre la microstructure de l'acier et son comportement à l'usinage.

Et d'après la théorie si la vitesse de coupe V_c est constant le type de copeau reste constant aussi, mais on pratique on a remarqué que même si la vitesse de coupe V_c reste constant le type de copeau change. Nous allons aussi voir que les copeaux changeront de forme, d'après les essais effectués sur un disque en acier type 42 Cr Mo 4 de \varnothing 180 de diamètre (Figure III.1).

III.1 Matériaux utilisés

Pour réaliser nos échantillons nous avons choisis d'utiliser un disque en Acier 42CrMo4 (Figure III.1)

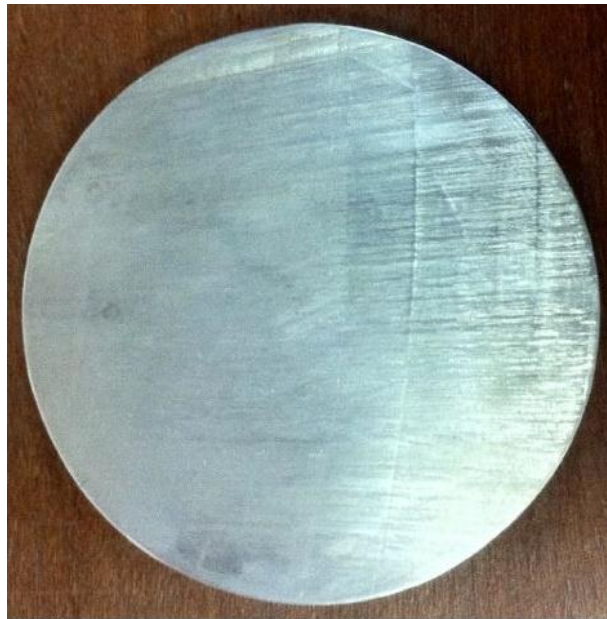


Figure III.1 : disque en Acier 42 Cr Mo 4

Les spécifications de cet acier sont décrites dans le tableau ci-dessous

Tableau III.1 : spécification du disque d'essais.

Spécificité	Acier (iso)	Diamètre (mm)	Epaisseur (mm)
Disque	42 Cr Mo 4	180	10

III.2 Élaboration des échantillons

Les échantillons utilisés pour mes tests, ont été découpé avec une fraiseuse au niveau du hall de technologie à partir d'un disque de diamètre 180 mm on a effectué les étapes suivantes pour l'élaboration de mes échantillons :

III.2.1 découpages d'une partie de disque

Pour l'élaboration de mes échantillons je vais utilisée qu'une partie de disque, je vais découper la partie indiquer sur la Figure III.2 de la pièce à l'aide d'une fraiseuse afin d'avoir des échantillons.

La Figure III.3 représente une pièce de référence indiquent le positionnement de chaque échantillon réalisé afin de connaitre l'emplacement exacte de ces derniers sur ce disque de référence.



Figure III.2 : La position de prélèvement des échantillons



Figure III.3 : Positionnements de chaque Échantillon sur le disque

Après l'opération de découpage on obtient cette pièce montrée sur la Figure III.4

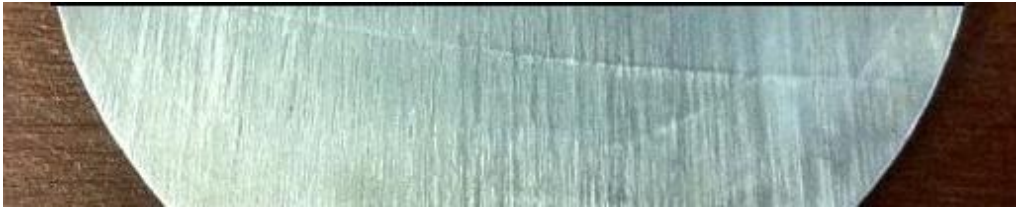


Figure III.4 : le morceau de disque

Maintenant à l'aide d'une fraiseuse toujours on découpe cette pièce en deux parties comme montré sur la Figure III.5 ci-dessous

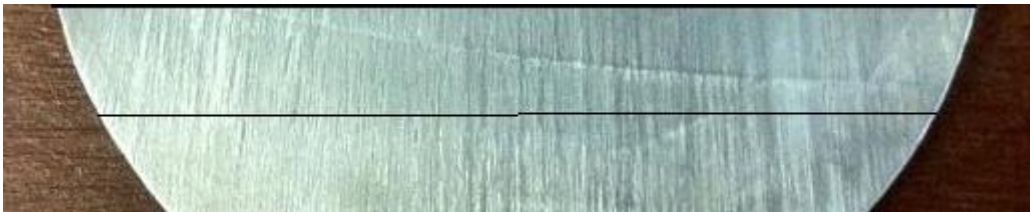


Figure III.5 : découpage de la pièce



Figure III.6 : Découpage avec
une fraiseuse



Figure III.7 : L'opération de découpage

Donc on obtient au finale deux parties

La figure III.8 illustre la partie de haut de mon disque d'essai



Figure III.8 : Le morceau de la partie de haut

La figure III.9 illustre le morceau de la partie d'en bas de mon disque d'essai



Figure III.9 : Le morceau de la partie de bas

III.2.2 Le découpage des échantillons :

Pour le découpage on a utilisé une tronçonneuse pour préparer les échantillons ; Le découpage se fait à la présence de lubrifiant pour éviter l'augmentation de la température à cause de frottement entre le disque abrasive et l'échantillon) donc par conséquence on évite le changement de la structure (échauffement, écrouissage, ...).



Figure III.10 : L'opération de découpage **Figure III.11** tronçonneuses avec lubrifiant

La figure III.12 illustre les échantillons de la partie d'en bas

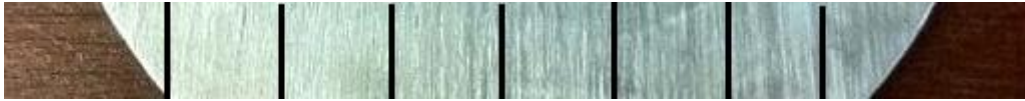


Figure III.12 : Les échantillons de la partie en bas

La figure III.13 illustre les échantillons de la partie d'en bas obtenue après découpage



Figure III.13 : Les échantillons obtenus après l'opération de découpage

Les échantillons de la partie en haut :

La figure III.14 illustre les échantillons de la partie d'en haut



Figure III.14 : Les échantillons de la partie en haut

La figure III.15 illustre les échantillons de la partie d'en haut obtenue après découpage

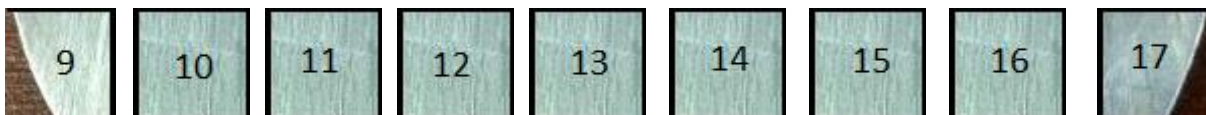


Figure III.15 : Les échantillons obtenues après l'opération de découpage

III.3 Caractérisation microstructurale

Elle consiste à prendre les microstructures des échantillons et voir leur morphologie. Dans notre cas, la caractérisation s'est fait à l'aide d'un microscope optique.

Les diverses opérations pour la préparation des échantillons en vue des examens micrographiques. Elle aborde le prélèvement des échantillons, la préparation de la surface d'examen et les réactifs à utiliser pour l'examen des structures, pour obtenir un examen dans les meilleures conditions.

III.3.1 Le polissage mécanique

La préparation des échantillons pour l'observation micrographique nécessite un polissage mécanique, Pour obtenir une surface d'examen correcte en micrographie, il est nécessaire de faire un polissage.

Celui-ci consiste en une série de polissage au papier abrasifs de différentes granulométries de plus en plus fine : 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1500,2000.

Le polissage se fait sur des platines tournent, Les disques abrasifs sont arrosés par eau pour Limiter les échauffements, La durée de polissage varie de 10 à 15 min par granulométrie.

Le polissage a pour but d'éliminer les traces du polissage précédent. Par exemple, le premier polissage avec une granulométrie de P180 consistera à éliminer les traces du sciage. Puis le polissage avec un disque de granulométrie P220 effacera les traces de rayures du polissage à P180. A chaque changement d'abrasif, on fait une rotation de 90° de l'échantillon à chaque passe.

Pour avoir une surface réfléchissante adéquate pour l'observation et pour les essais de dureté comme montrée sur la figure ci-dessous



Figure III.16 : Machine pour le polissage **Figure III.17** : L'opération de polissage

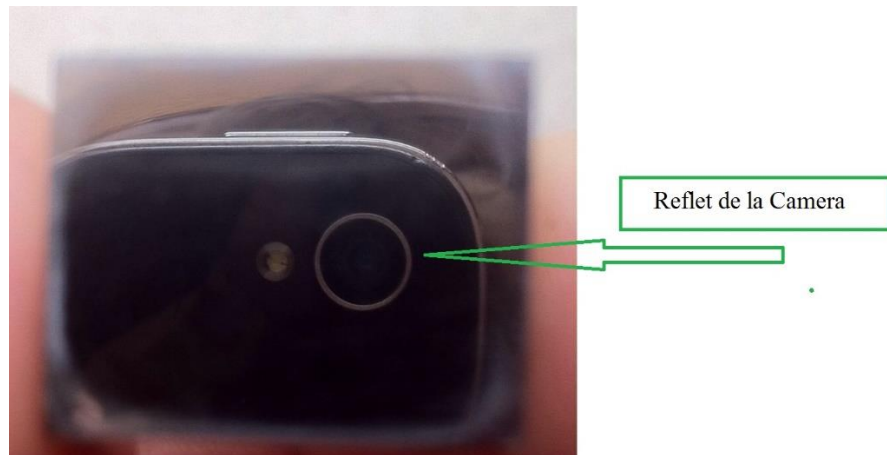


Figure III.18 : *échantillon après polissage*

III.3.2 Attaque chimique

L'observation de la microstructure des phases de l'acier peut nécessiter la révélation des joints de grains par une attaque chimique, en particulier si le matériau est bien homogène en composition. Le réactif utilisé est une solution alcoolique nitrique (NITAL) dans la composition de 2 à 5 ml d'acide nitrique HNO_3 dans 100 ml d'éthanol.

On peut observer directement l'échantillon poli sans attaque macrographique s'il s'agit d'examen d'inclusions non métalliques, de fissures.

L'attaque macrographique permet de donner des différences des reliefs ou de coloration entre les différents constituants d'une soudure ou entre les cristaux différemment orientés dans une même phase. Elle permet donc de révéler des inégalités dans les structures. L'opération de polissage garantira le bon résultat de votre attaque macrographique. Si vous apportez assez de soin et de propreté à cette opération, vous augmentez les chances de réussir votre attaque.

L'échantillon est maintenu entre 30 secondes à 1 minutes dans la solution à sa surface, après la surface de l'échantillon est plongée dans de l'eau, la surface de l'échantillon ayant pris une teinte plus sombre (noircissement des joints de grains).

III.3.3 Méthodes d'observation

Microscope optique

La microscopie optique permet l'observation micrographique sur les surfaces des échantillons subissent un polissage mécanique classique, puis sont attaquées au réactif. L'observation micrographique est effectuée à l'aide d'un microscope optique. Le principal intérêt de cette méthode simple et efficace est la mise en évidence de la microstructure du matériau, la dimension et la forme des grains et les différentes phases en présence mais sa résolution est limitée.



Figure III.19 : Microscope optique

Tableau III.1 : Microstructure des échantillons de morceau d'en bas

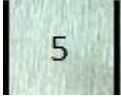
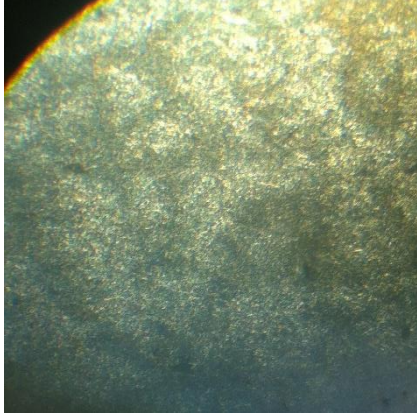

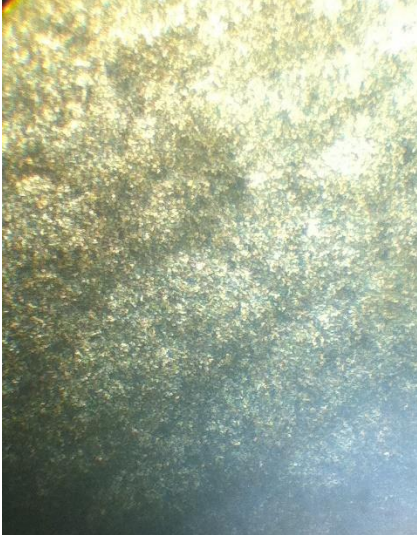

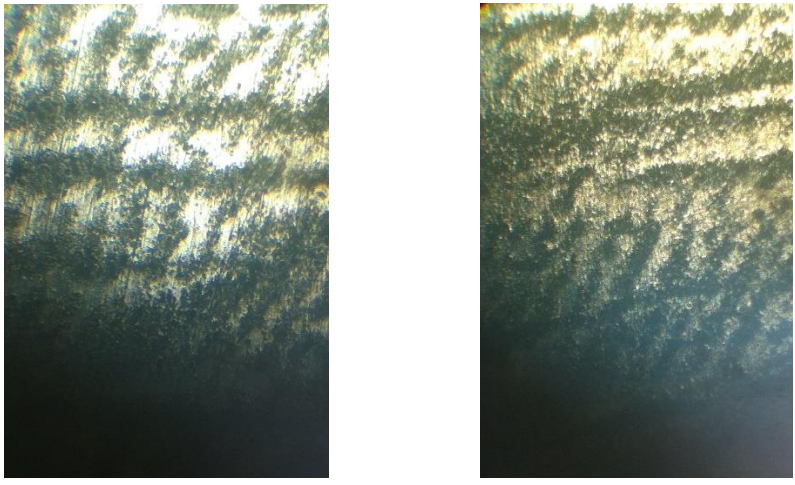

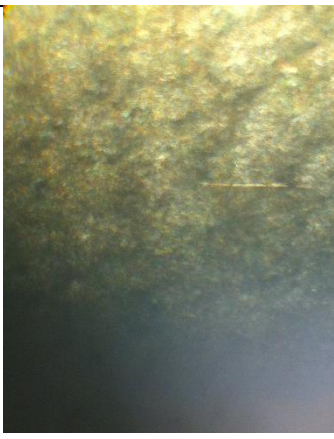

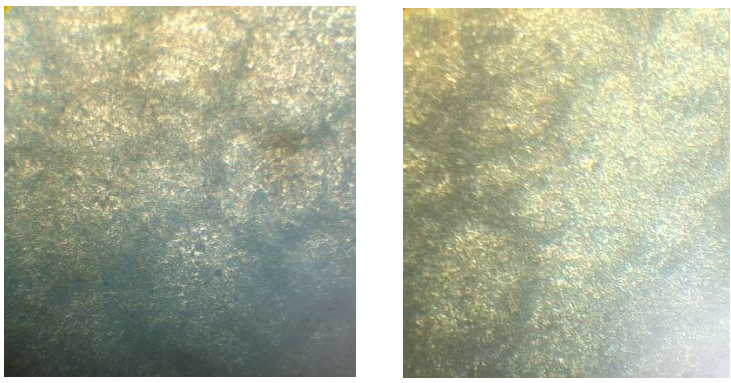
N° d'échantillons	Microstructure de l'échantillon
 A small square image showing a textured surface with the number '5' in the center.	 A large rectangular image showing a dense, granular microstructure with a color gradient from dark blue at the bottom to light green at the top.
 A small square image showing a textured surface with the number '6' in the center.	 A large rectangular image showing a dense, granular microstructure with a color gradient from dark blue at the bottom to light green at the top, similar to sample 5.

Tableau III.2 : Microstructure des échantillons de morceau d'en haut

N° d'échantillons	Microstructure des échantillons
	
	
	

III.3.4 La dureté :

Les essais de dureté représentent un outil utile pour l'évaluation des matériaux, le contrôle qualité des processus de fabrication et pour la recherche et le développement. Ils donnent une indication sur les propriétés d'un matériau, telles que sa robustesse, sa ductilité et sa résistance à l'usure. Dans cette application, nous allons considérer la dureté par empreinte que l'on peut définir comme une mesure de la résistance d'un matériau à la déformation plastique. Le résultat obtenu lors de l'essai va dépendre de la méthode d'essai utilisée, c'est-à-dire l'essai va dépendre de la charge et de la durée, du type de pénétrateur (géométrie/matériau).



Figure III.21: machine d'essai de dureté universel (micro duromètre)

Dans cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement aux essais par pénétration. Plus souvent appelés essais d'indentation. Ces essais, outre la dureté. Permettent d'obtenir d'autres informations sur les propriétés mécaniques des matériaux comme, par exemple, la ténacité.

Dans la suite, un effort sera porté sur les essais utilisant un indenteur de forme pyramidale. Il s'agit d'un essai Vickers dont nous détaillerons le principe dans la suite.

III.3.4.1 : Différents types d'indenteur

Les indenteurs pour l'essai de dureté ont des géométries différentes. En général, la géométrie d'un pénétrateur est soit sphérique (Brinell), soit pyramidale (Vickers, Knoop, Berkovich ou Cube Corner) comme présenté sur la Figure (III.22).

Afin de caractériser le matériau indenté, la géométrie de l'indenteur doit être parfaitement connue. Bien qu'il y ait de nombreuses géométries possibles, seules les géométries normalisées des indenteurs en forme de pyramide de type Vickers et de type Berkovich sont très communément utilisés.

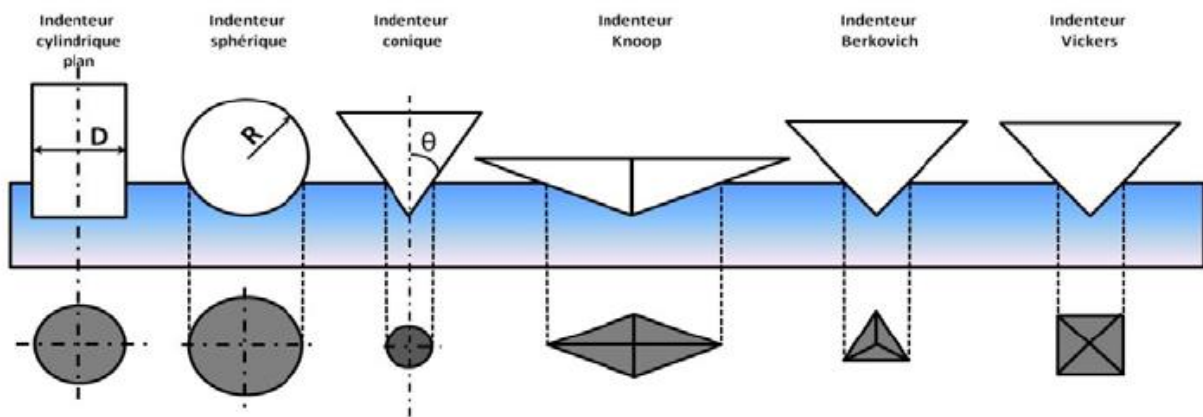


Figure III.22: Schéma de différents types de pointe et d'empreintes correspondantes

III.3.4.2 : Principe de l'essai

Le principe de l'essai d'indentation consiste à appliquer un indenteur de forme connue (bille, cône ou pyramide) à la surface du matériau à tester sous l'action de la charge d'indentation, dans notre cas on prend un indenteur de forme pyramide. L'indenteur s'enfonce dans le matériau en produisant des déformations élastiques et plastiques dans la zone de contact. (Figure III.23) Au retrait de l'indenteur, une empreinte résiduelle persiste. Plus la charge appliquée est élevée, plus la taille de l'empreinte résiduelle est grande. (Figure III.24)

Dans l'essai Vickers, le pénétrateur est un pyramide en diamant à base carrée. L'angle entre les deux faces triangulaires opposées est de 136° et entre deux arêtes opposées de 148° .

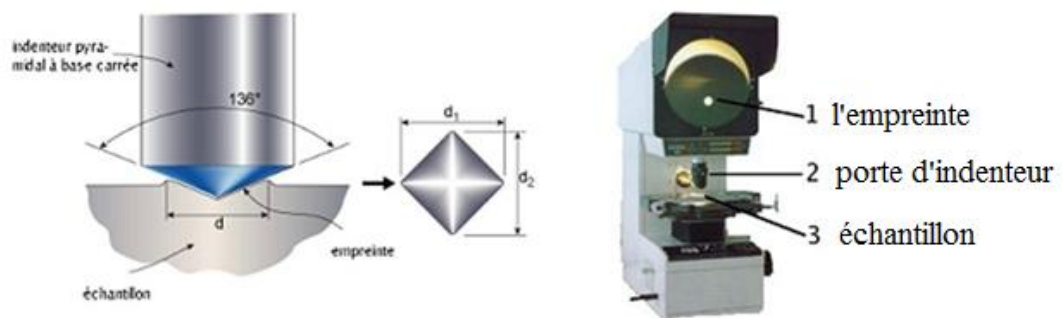


Figure III.23: image représentative du principe de dureté

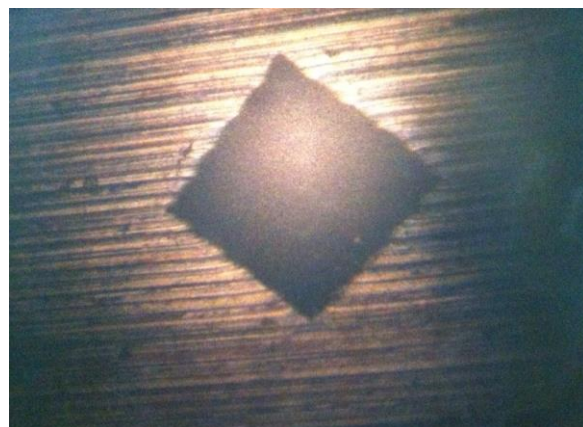


Figure III.24: l'empreinte formée par l'indenteur

L'empreinte résiduelle est observée après le retrait de l'indenteur à l'aide d'un microscope optique. Une règle graduée permet de mesurer les différents longueurs caractéristiques de l'empreinte ensuite en lit la correspondance des longueurs en dureté à partir des annexes.



Figure III.25: méthode de mesure

Tout en sachant qu'on a opté pour ces derniers avec un indenteur pyramide et une charge appliquée de 294.1 N (HV 30).

III.3.4.3 : Dureté de différentes séries réalisées sur le même disque

Sur mon disque d'essai je vais faire une série de test de dureté sur un ensemble de points sur la même ligne pour voir la variation de dureté de disque en allant de centre de cercle vers son extrémité comme l'indique la figure III.26, donc je vais réaliser trois séries de teste sous la même charge qui est 30 N.

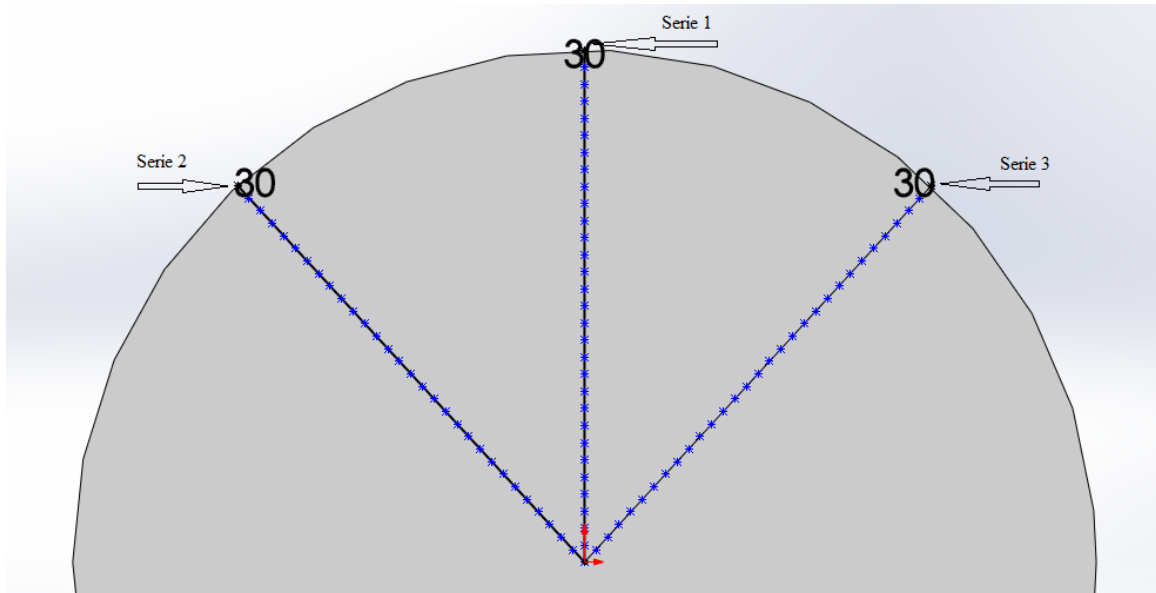


Figure III.26 : les différents Série de l'essai de dureté

La Figure III.27 présente la dureté des trois séries sous forme de courbes sous une charge de 30 N

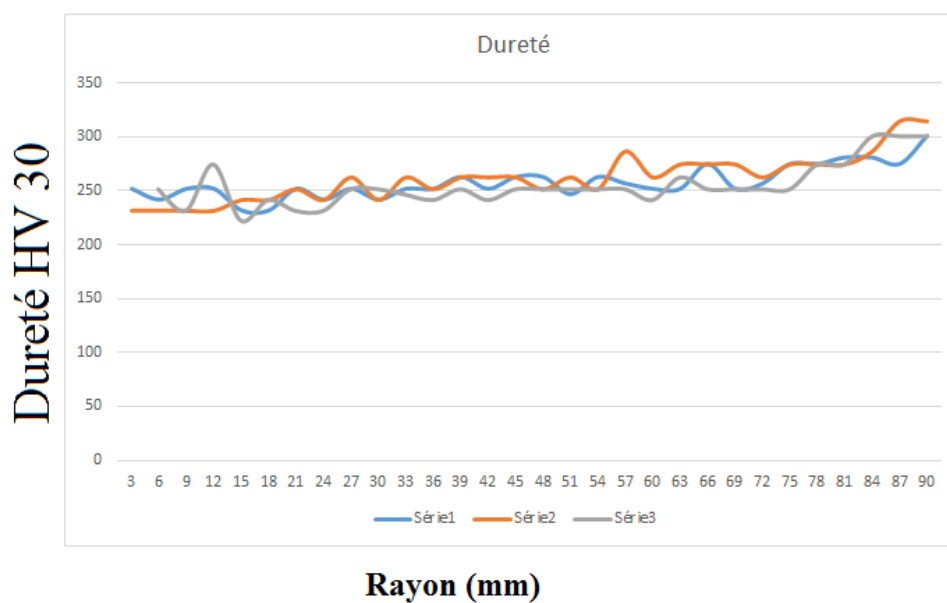


Figure III.27: Dureté des trois séries

D'après les courbe de la figure III.27 qui represente les différents profils de dureté des trois series on remarque que pour les trois series la valeur du la dureté de disque en acier 42 Cr Mo 4 elle est croissante en allant du centre de disque vers son extrémité et on remarque d'après les trois courbes que les valeurs maximales de dureté se situent à l'extrémité du disque pour les différents series d'après les resultats prelevés.

La figure III.28 illustre la dureté moyenne des trois series de disque en acier 42 Cr Mo 4

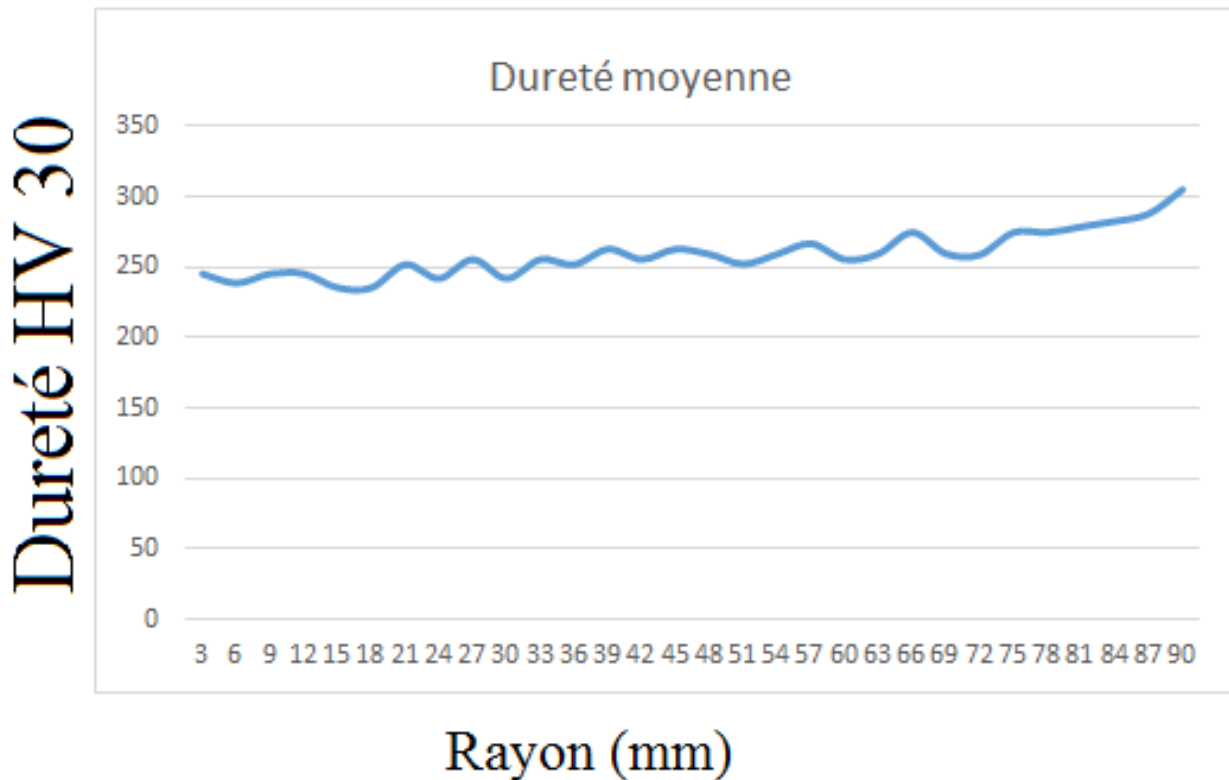


Figure III.28 : Dureté moyenne des trois séries

D'après la courbe de dureté moyenne représentée sur la figure III.28 la valeur de dureté du disque a son centre et de 250HV et elle augmente en allant vers son extrémité ou elle atteint une valeur de 300HV.

III.4 distribution du champ de contraintes de Von Mises :

Pour avoir une idée claire sur le comportement du disque lors du procédé d'usinage on lui fait subir un effort de coupe tel que subie en usinage, et ceci à l'aide de l'outil de conception SolidWorks.

Tout d'abord je vais commencer par créer ma pièce qui est le disque de diamètre 150 mm et d'épaisseur 10 mm et qui présente un alésage de 20 mm

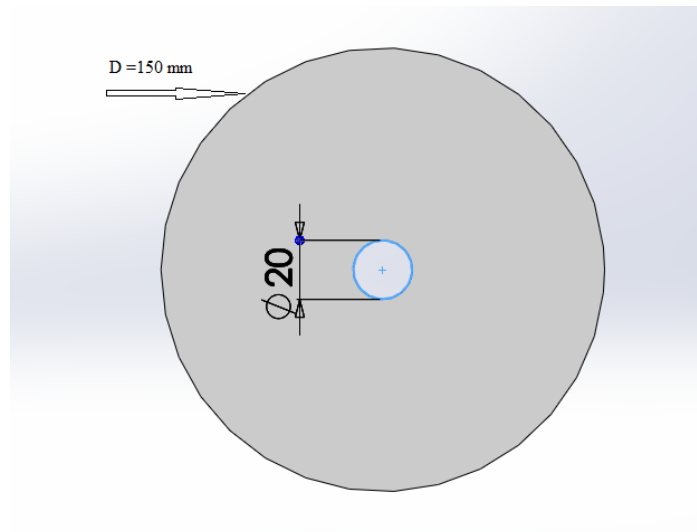


Figure III.29 : disque en acier 42 Cr Mo4

Après cela je vais simuler le comportement de ce disque en lui appliquant des conditions aux limites tel que le chargement et lui imposer un déplacement (géométrie fixe), le chargement $F=225$ N pour qu'on puisse voir la distribution de champs de contraintes de Von Mises sur le disque.

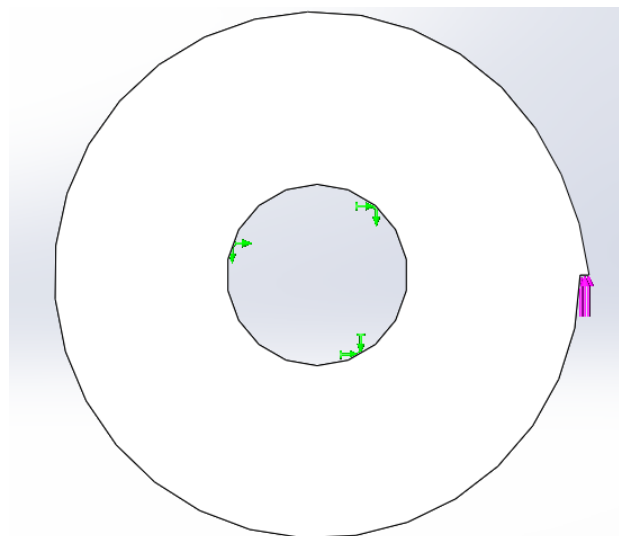


Figure III.30 : Conditions aux limites imposée

Les tableaux suivants représentent la distribution des champs de contrainte de Von Mises

Tableau III.3 : distribution des champs de contraintes de Von Mises et la forme de copeau

D	Contraintes de Von Mises	Image de Copeau
38		
48		
58		<p data-bbox="1037 1500 1276 1579">Copeaux de forme d'arc détaché</p>

Tableau III.4 : distribution de champs de contraintes de Von Mises et la forme de copeau

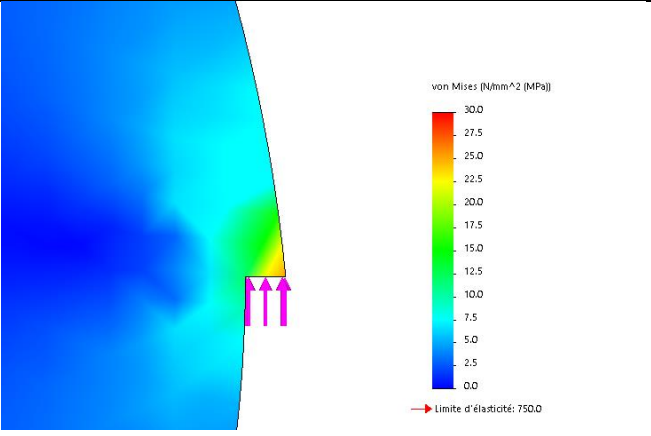
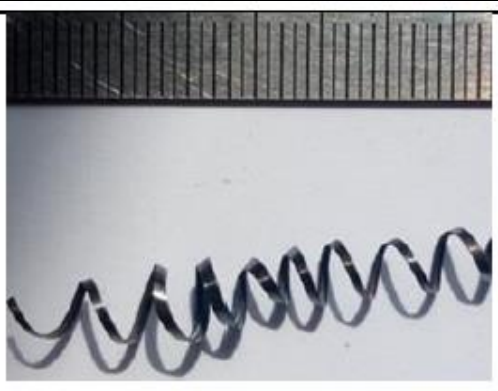
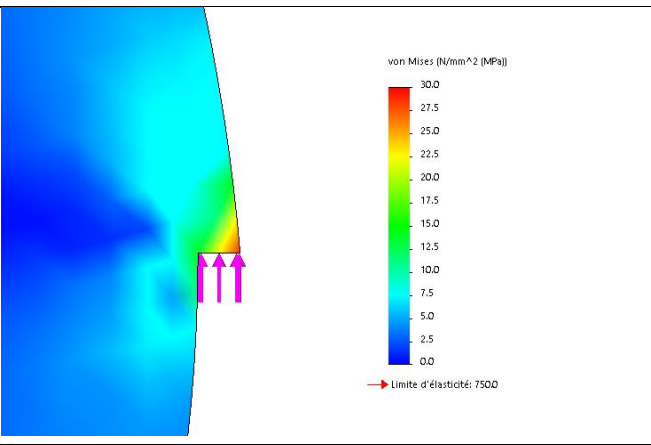
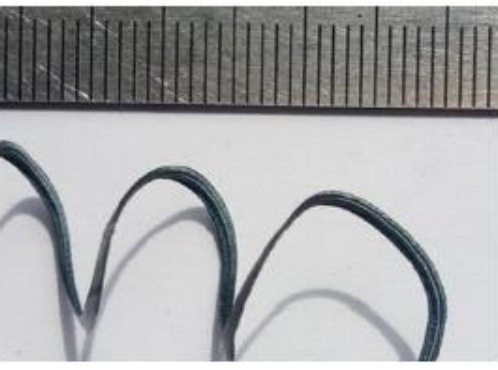
68		
78		 <p data-bbox="1050 1099 1294 1176">Copeaux de forme tubulaire long</p>

Tableau III.5 : distribution de champs de contraintes de Von Mises et la forme de copeau

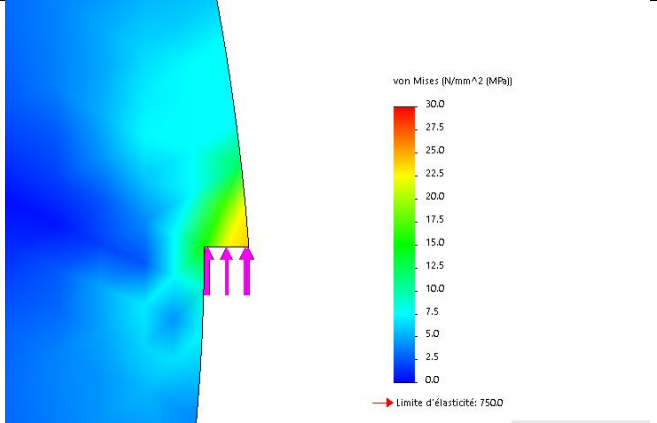
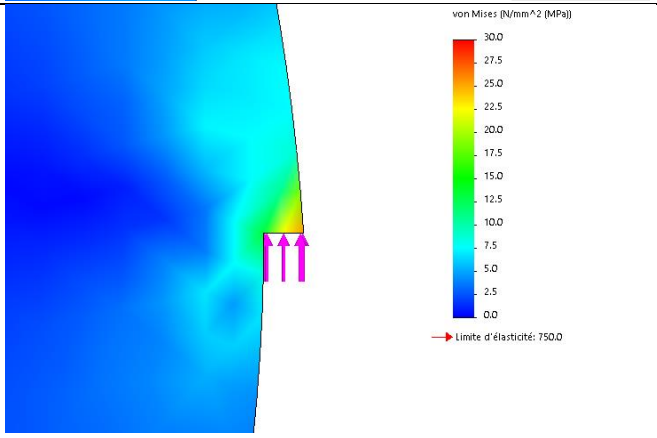
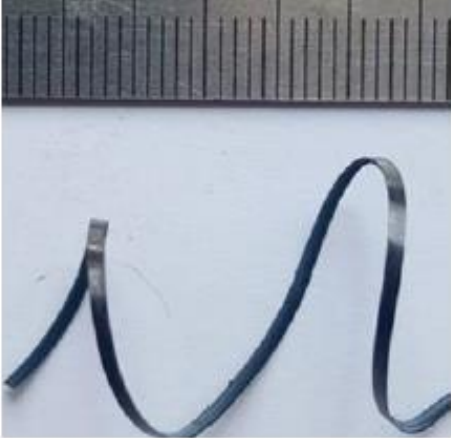
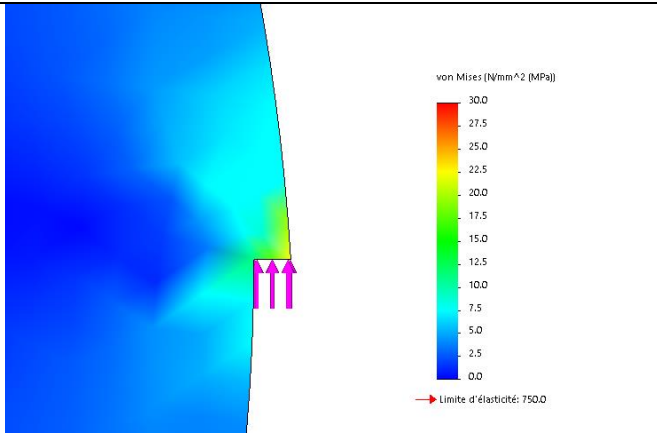
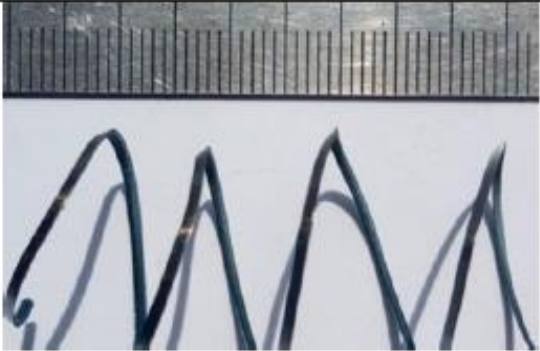
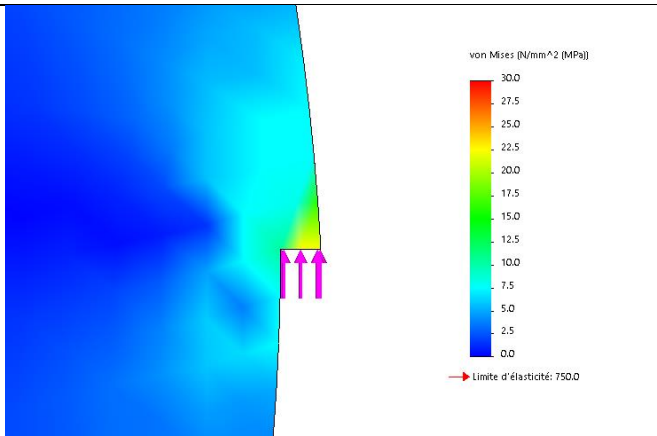
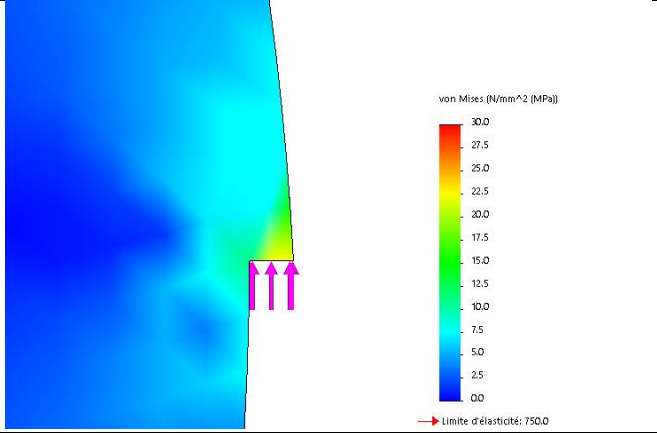
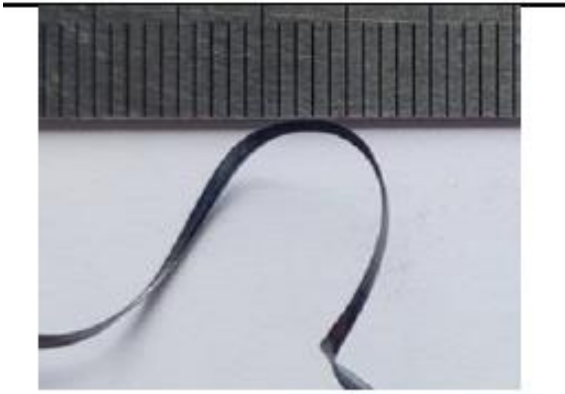
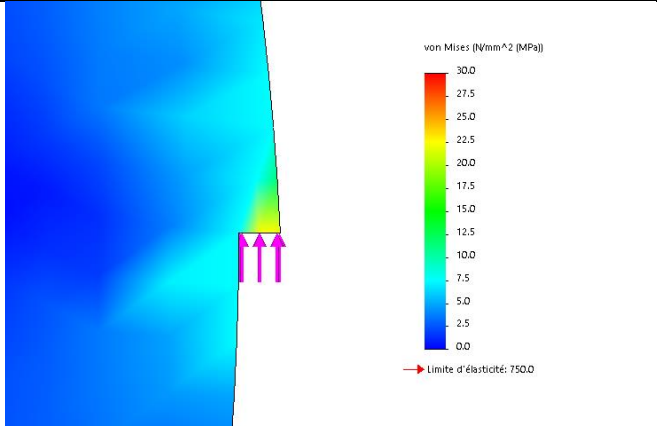

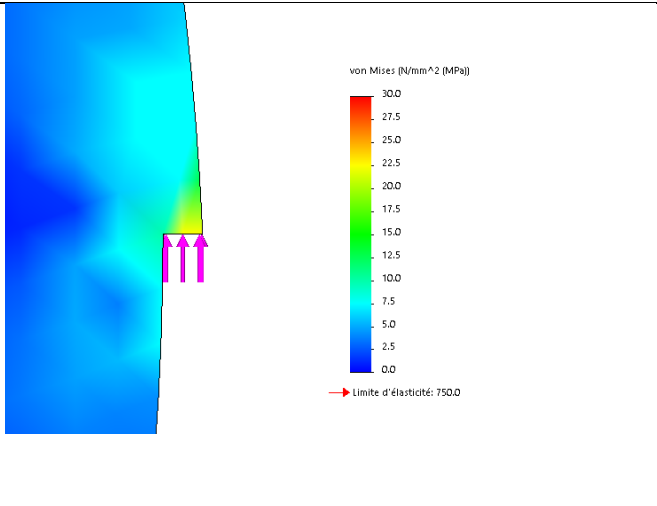
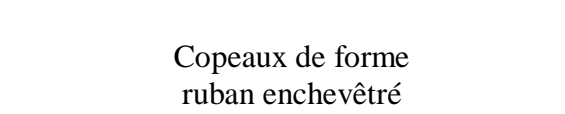
88		
98		
108		
118		<p data-bbox="1062 1572 1302 1684">Copeaux de forme hélicoïdale en rondelle court</p>

Tableau III.6 : distribution de champs de contraintes de Von Mises et la forme de copeau

128		
138		
148		 <p data-bbox="1066 1417 1297 1485">Copeaux de forme ruban enchevêtré</p>



Chapitre IV

Résultats et discussions



Dans ce chapitre nous allons voir l'influence du diamètre de la pièce en acier 42CrMo4 sur la forme du copeau et nous allons mettre une relation entre la position de l'outil en terme de diamètre de la pièce et nous allons voir l'influence de la distribution des contraintes de Von-Mises aux alentours de la zone de formation du copeau et nous allons comparer nos interprétations à quelque travaux de recherche récents dans le domaine de simulation et optimisation des condition de coupe.

IV.1 Dureté HV30

La figure IV.1 montre le profil de dureté mesure le long du rayon de la pièce partant du rayon 3mm allant vers le rayon 90mm, les mesures sont faites à raison de 3 mesures par rayon et la figure représente la moyenne des mesure sur chaque rayon. Nous remarquons que la dureté augmente de 250HV à 300HV du centre de la pièce vers la périphérie, cela est probablement dû à la microstructure hétérogène de la pièce comparant celle à cœur de la pièce allant vers son extrémité, les travaux de **Wei Feng** et al [22], **J. Pal** et al [23] mettent en évidence cette différence de taille des grains le long du rayon d'une pièce cylindrique refroidie à l'air libre, sur la figure 3.2 on montre les microstructures obtenues lors des travaux des références [22] et [23] et [25].

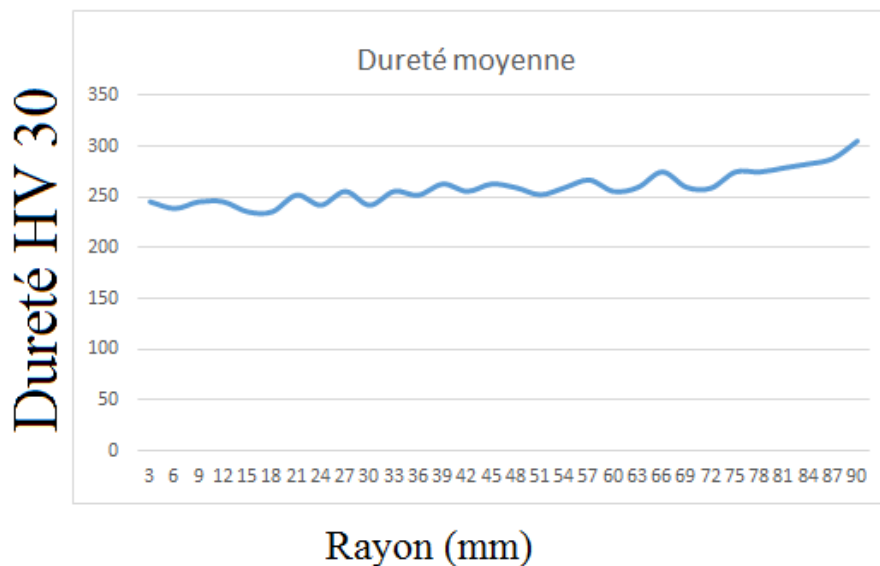


Figure IV.1 Profil de dureté HV30 mesure le long du rayon de la pièce en acier 42CrMo4

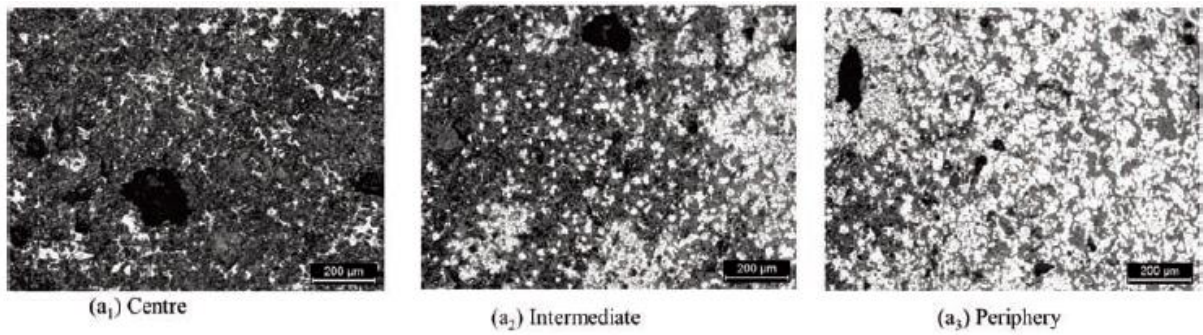


Figure IV.2 Microstructure observée sur une pièce en acier allant du centre vers sa périphérie[23].

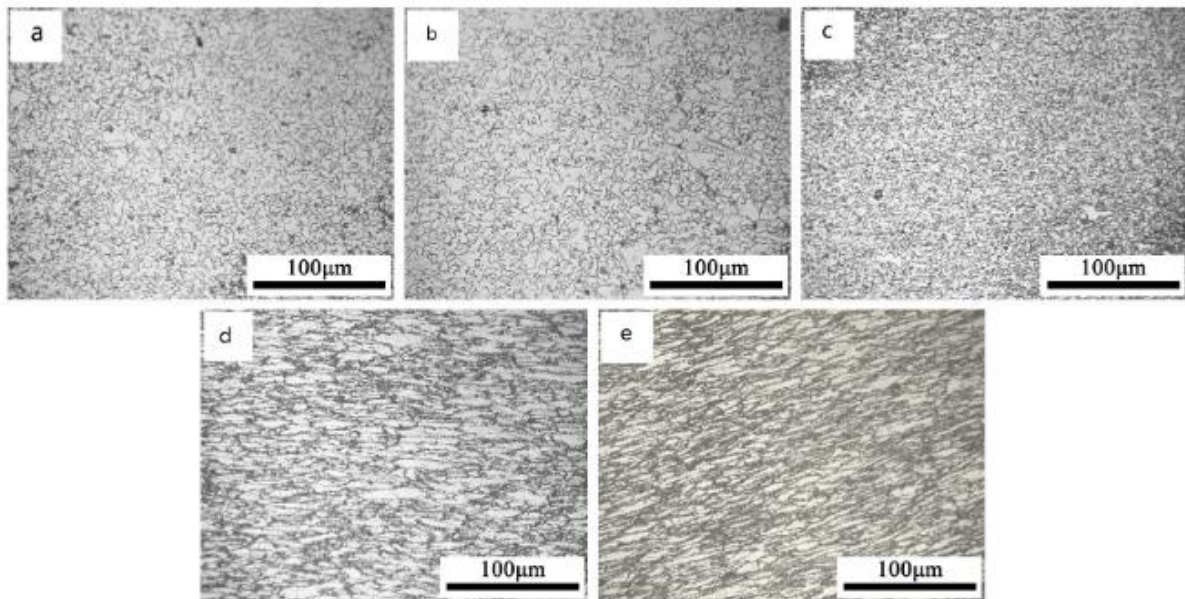


Figure IV.3 Microstructure observée sur une pièce en acier allant du centre vers sa périphérie, a. 0mm, b. 5mm, c. 10mm, d. 15mm, e. 20mm [22].

IV.2 Forme du copeau en fonction du diamètre de la pièce

La forme du copeau a toujours fait l'objet de plusieurs études afin d'améliorer l'usinabilité des aciers [26-27], Sur les figures suivantes (figure IV.4 et figure IV.5) nous présentons la forme du copeau (figure IV.4.d) obtenu lors de l'usinage de la pièce au diamètre moyen de 40mm (les figures des copeaux sont prises du travaille de l'année passée), sur les figures (a), (b) et (c), nous avons modélisé numériquement sur le logiciel de CAO SolidWorks, le comportement du début de copeau soumis à un effort de coupe $F=800\text{N}$, afin de voir la distribution des contraintes de VonMises au voisinage du début de formation du copeau, nous remarquons une zone de très faible contrainte (indiqué par un cercle rouge) cette distribution des contrainte est observée aussi dans les travaux de Tarek Mabrouki et al [24], il semblerais que cette distribution favorise la formation de copeau dit arc détaché.

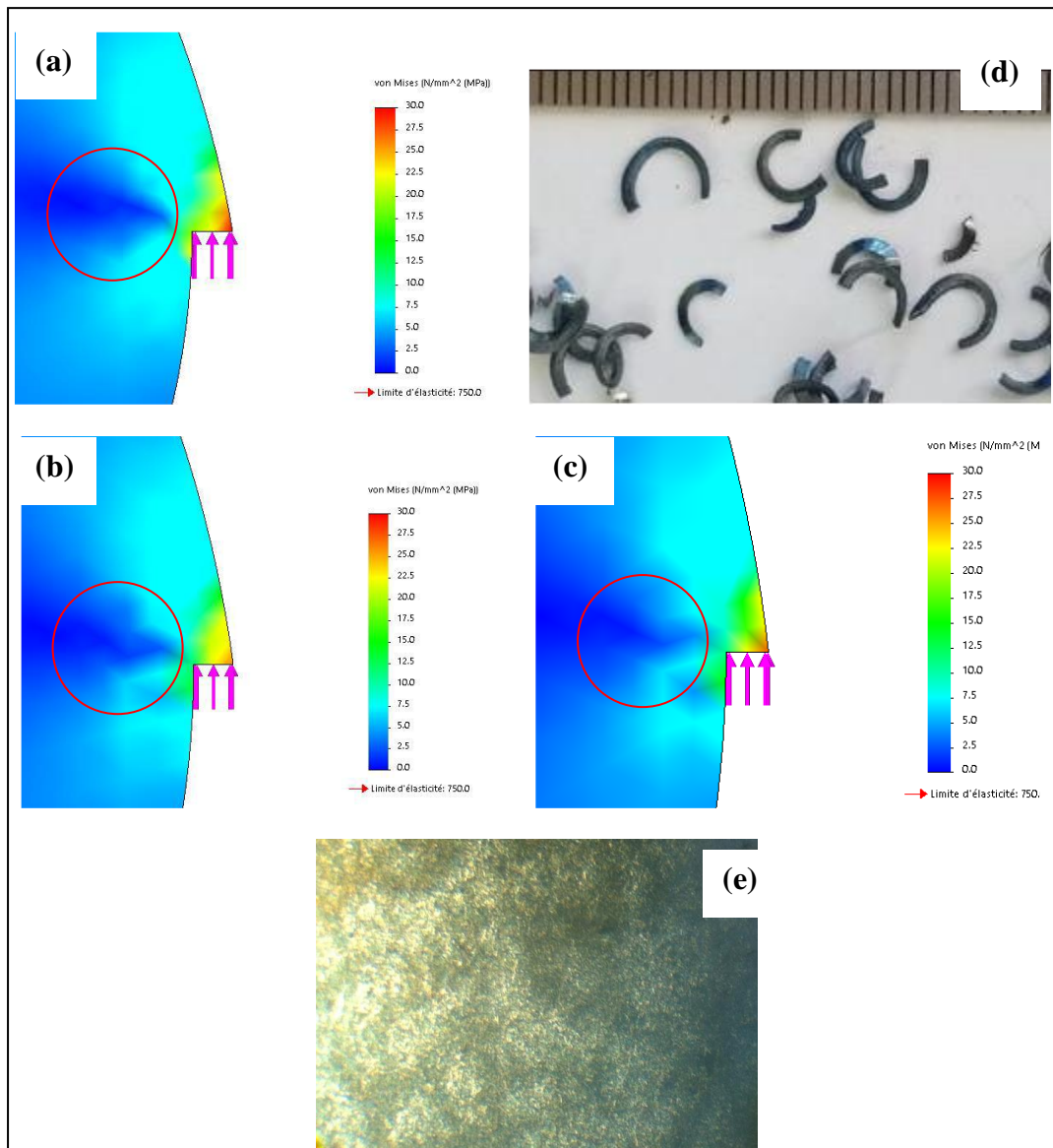


Figure IV.4 Forme du copeau en fonction du diamètre de la pièce, a. $\text{Ø}38$, b. $\text{Ø}48$, c. $\text{Ø}58$, d. la forme du copeau dite arc détaché, e. la microstructure observée au microscope optique.

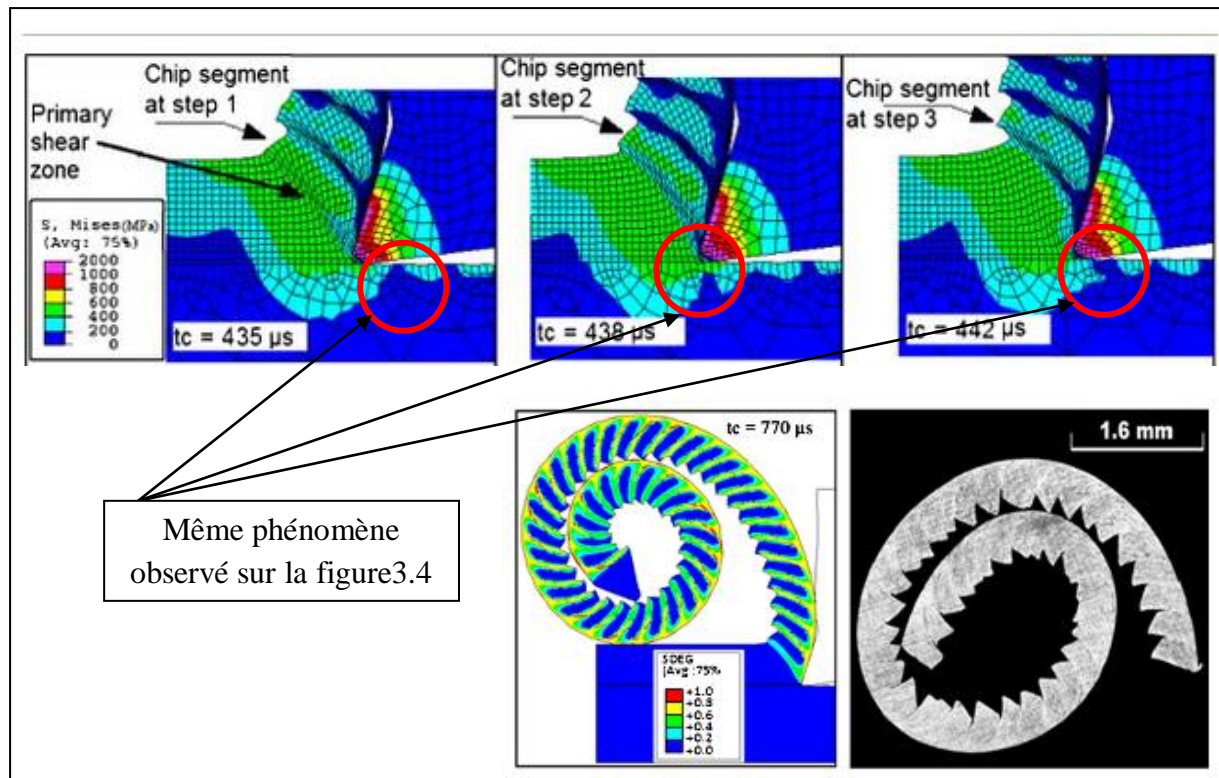


Figure IV.5 Forme du copeau obtenu par simulation numérique des travaux [24]

Sur les figures suivantes (figure IV.6 et figure IV.7) nous présentons la forme du copeau obtenu lors de l'usinage de la pièce au diamètre moyen de 70mm (les figures des copeaux sont prise du travaille de l'année passée), sur les figures (a) et (b), nous avons modélisé numériquement sur le logiciel de CAO SolidWorks, le comportement du début de copeau soumis à un effort de coupe $F=800N$, afin de voir la distribution des contraintes de VonMises au voisinage du début de formation du copeau, nous remarquons que la zone de très faible contrainte (indiqué par un cercle rouge) s'éloigne du voisinage de la formation du copeau et cette distribution des contrainte est observée aussi dans les travaux de Bin Li [28] il semblerais que cette distribution favorise fortement la formation du copeau dit tubulaire long.

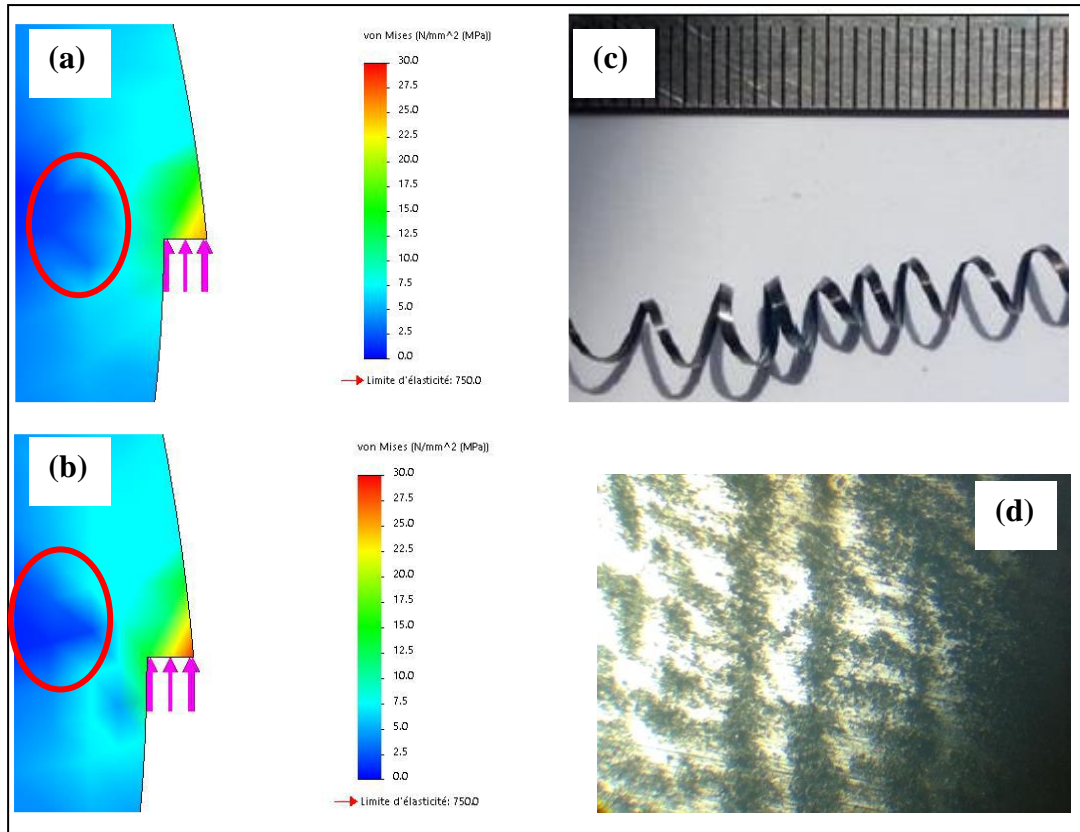


Figure IV.6 Forme du copeau en fonction du diamètre de la pièce, a. $\varnothing 68$, b. $\varnothing 78$, c. la forme du copeau dite tubulaire long, d. la microstructure observée au microscope optique.

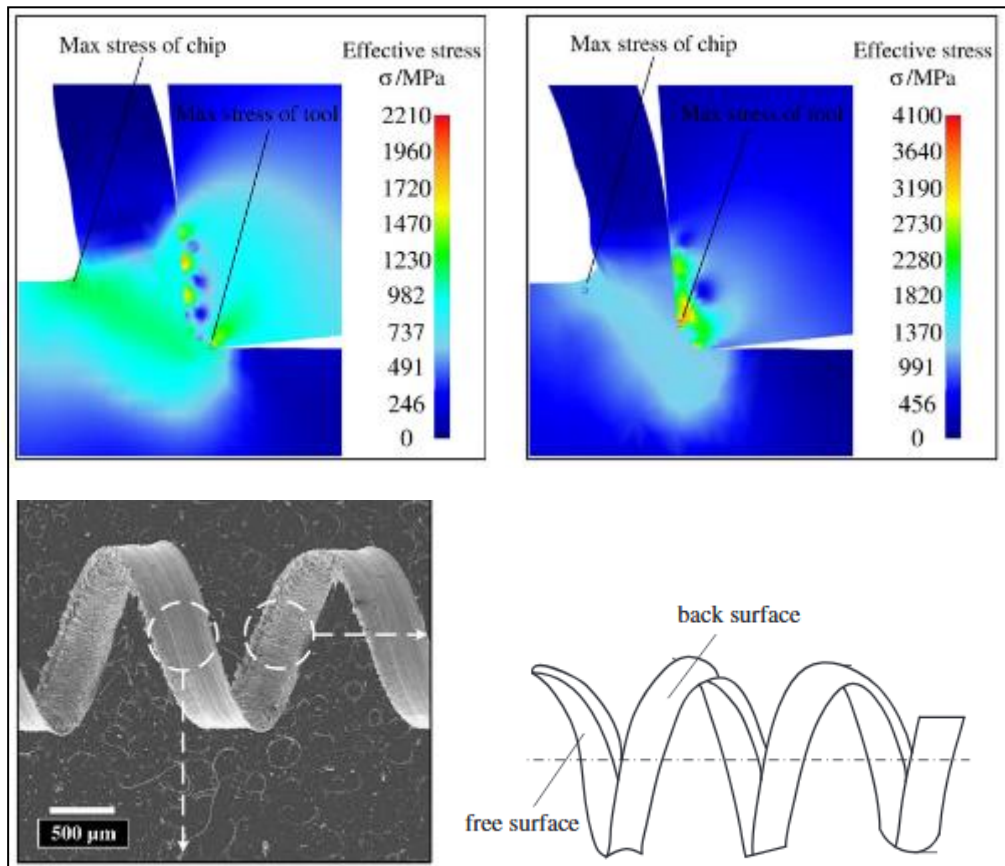


Figure IV.7 Forme du copeau obtenu par simulation numérique des travaux [28].

Sur la figure suivante (figure IV.8) nous présentons le phénomène observé pour un diamètre moyen de 100 mm où on remarque que la forme du copeau tubulaire long reste dominante avec une légère augmentation du diamètre des spirales.

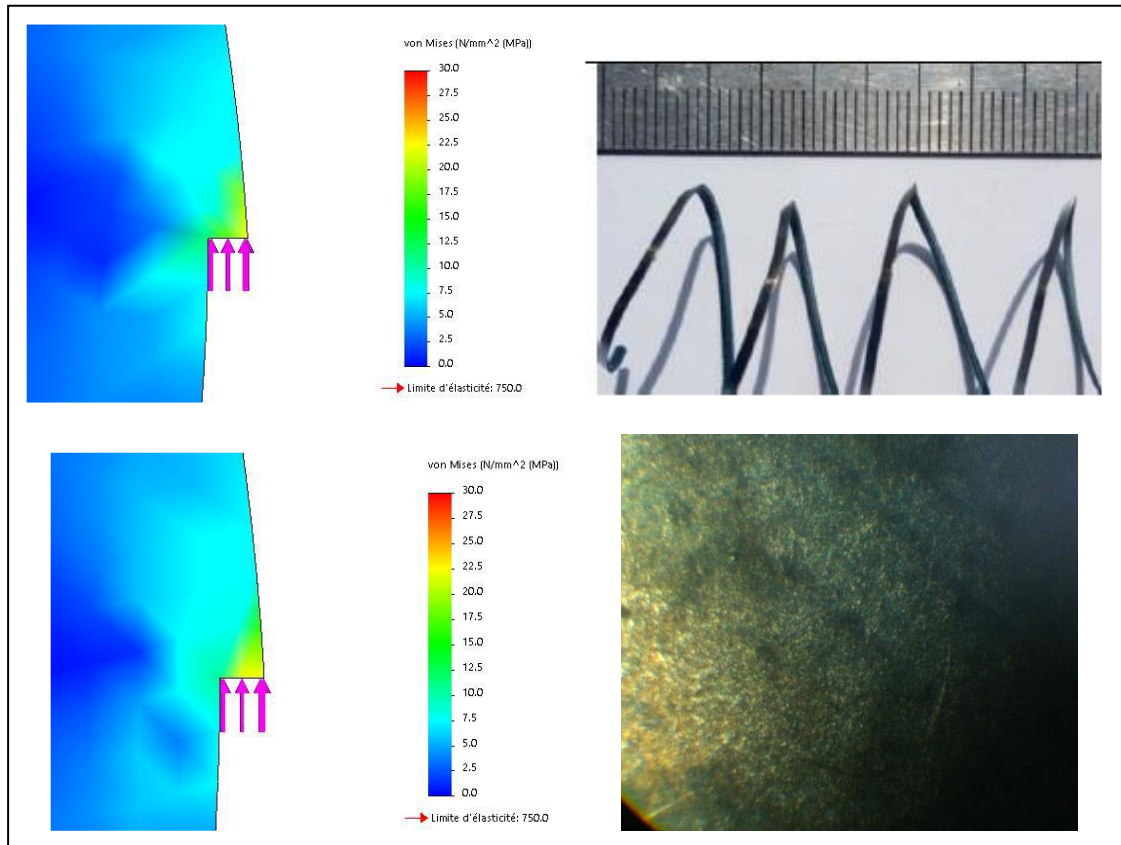


Figure IV.8 Forme du copeau en fonction du diamètre de la pièce, \varnothing moyen de 100mm

Sur les figures suivantes on remarque clairement qu'à de fort diamètre (environ 140mm) au voisinage du début de formation du copeau la contrainte est plus importante et est distribué de manière homogène, ce qui favorise probablement la formation de copeau long

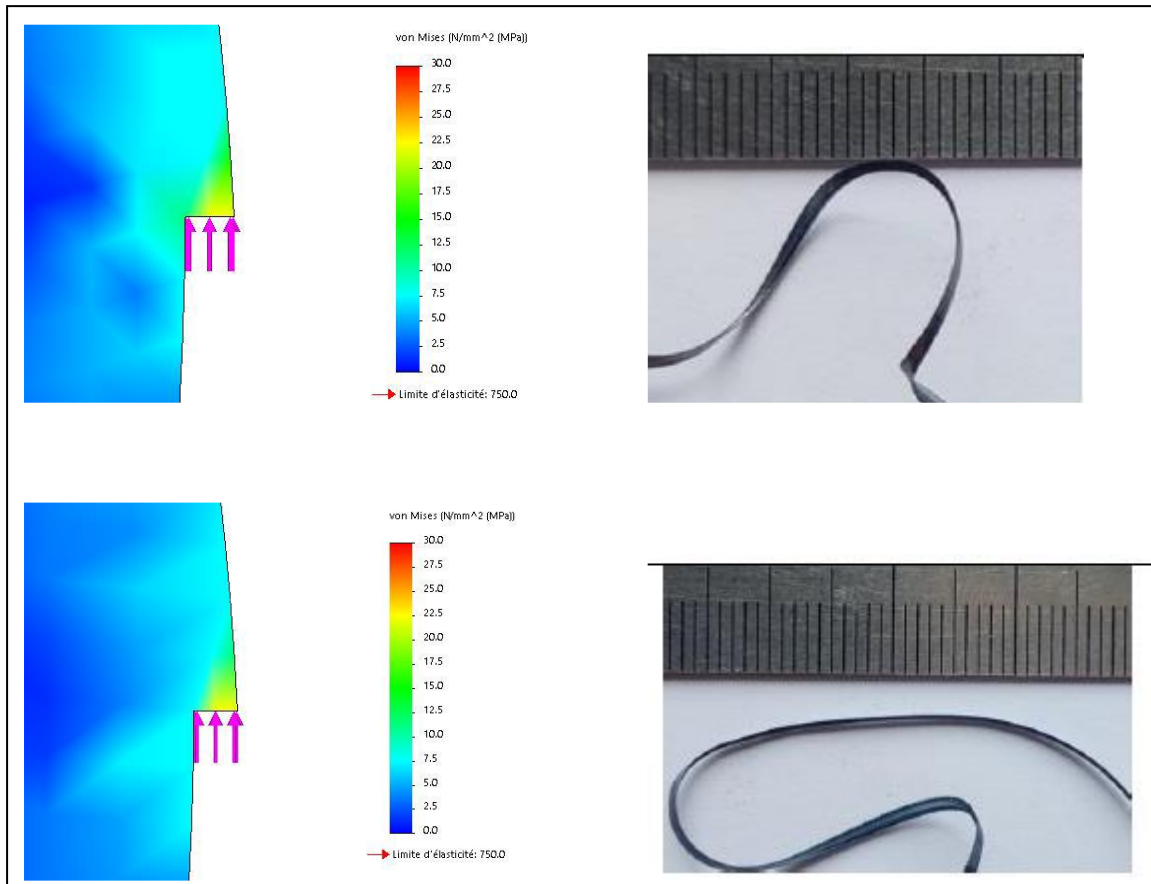


Figure IV.9 Forme du copeau en fonction du diamètre de la pièce, diamètre moyen de 140mm

Conclusion

Ce travail porte sur une initiative d'un travail de recherche sur l'influence du diamètre de la pièce en acier 42 Cr Mo 4, sur l'usinabilité en prenant en compte la forme de copeau formé durant l'usinage.

Les résultats obtenus mettent clairement en évidence la différence du type de copeau obtenue lors une opération de chariotage qui est due a probablement à la microstructure hétérogène de la pièce, ainsi la taille des grains sont variables en allant du centre de la pièce vers la périphérie, la bibliographie nous indique que la taille des grains passe de gros grains de l'intérieur de la pièce vers des grains plus petits vers son diamètre extérieur.

Nous remarquons aussi que la dureté augmente du centre de la pièce vers la périphérie, cela est probablement dû à la microstructure hétérogène de la pièce comparant celle à cœur de la pièce allant vers son extrémité,

Les résultats obtenus lors de la simulation du comportement du copeau soumis à un effort de coupe $F=800N$ nous permet de voir la distribution des contraintes de Von Mises au voisinage du début de formation du copeau qui ce diffères entre les différents diamètre de mettent clairement en évidence l'obtention des type de copeau différents.

En perspective on propose de voir de manière plus précise la microstructure de cet acier pour déterminer la nature des microstructures MEB, afin de mettre un lien direct entre la forme de copeau et le type de grain présent sur des pièces de grands diamètres.

Annexes

Serie 1

Diagonal (mm)	Dureté
0.43	301
0.45	275
0.445	281
0.445	281
0.45	275
0.45	275
0.465	257
0.47	252
0.45	275
0.47	252
0.47	252
0.465	257
0.46	263
0.475	247
0.46	263
0.46	263
0.47	252
0.46	263
0.47	252
0.47	252
0.48	242
0.47	252
0.48	242
0.47	252
0.49	232
0.49	232
0.47	252
0.47	252
0.48	242
0.47	252

Serie 2:

Diagonal (mm)	Dureté
0.42	315
0.42	315
0.44	287
0.45	275
0.45	275
0.45	275
0.46	263
0.45	275
0.45	275
0.45	275
0.46	263
0.44	287
0.47	252
0.46	263
0.47	252
0.46	263
0.46	263
0.46	263
0.47	252
0.46	263
0.48	242
0.46	263
0.48	242
0.47	252
0.48	242
0.48	242
0.49	232
0.49	232
0.49	232
0.49	232

Serie 3

Diagonal (mm)	Dureté
0.43	301
0.43	301
0.43	301
0.45	275
0.45	275
0.47	252
0.47	252
0.47	252
0.47	252
0.46	263
0.48	242
0.47	252
0.47	252
0.47	252
0.47	252
0.47	252
0.48	242
0.47	252
0.48	242
0.475	247
0.47	252
0.47	252
0.49	232
0.49	232
0.48	242
0.50	223
0.45	275
0.49	232
0.47	252

Références bibliographiques

- [1] : **Sébastien CAMPOCASSO**, Développement d'un modèle d'efforts de coupe multi opérations et multi-matériaux Application au tournage du cuivre pur dans différents états métallurgiques, le 29 novembre 2013, École doctorale n° 432 : Science des Métiers de l'ingénieur.
- [2] : **A.Belloufi**, Cours Procédés de Fabrication, Master Maintenance Industriel, Université d'Ouargla, 2010.
- [3] : **D.Maamri, A.Necib**, Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'énergie Pendant le Tournage, mémoire de master, Université d'Ouargla, 2015.
- [4] : B. Vielle, méthode et fabrication, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS.
- [5] : Mémoire de fin d'étude, l'influence des paramètres de coupe sur l'état de surface lors de l'usinage de l'acier XC48 réalisé par : Mr : BOUGOFFA RAMEZ MED LAMINE promotion 2018.
- [6] : Philippe DEPEYRE, fabrication mécanique, université de la REUNION, Faculté des Sciences et Technologies, 2004-2005.
- [7] : Brigitte vasques, etude de comportement de rayon d'arête et de son influence de surface en tournage à sec, 17 juin2008, Université François – Rabelais.
- [8] : S. BENSAAIDA, Coupe des métaux, Université Mohamed Khider – Biskra –Algérie.
- [9] : J.F. Debongnie, complements de fabrication mécanique et F.A.O, 2013.
- [10] : Mansouri Nora, Milla Abderrahim, Influence des angles de coupe sur l'usinage des alliages d'aluminium, 21 juin 2017.
- [11] : M. NOUARI, Modélisation de l'usure par diffusion des outils de coupe en usinage à grande vitesse, Thèse de Doctorat de l'Université de Metz – France, 2000.
- [12] : C. GRUESCU, F. DEFOURNE, P. QUAEGEBEUR et J. F. ANTOINE, Préparation de production en productique mécanique - étude de fabrication et analyse d'usinage (3PM-EFAU), SEMM (Service Enseignement et Multimédia) / Université Lille1 – France, 2015.

[13] : Mémoire de fin d'étude, influence de la taille des grains d'un acier sur la formation des copeaux réalisé par : Mr : TIAB Lyes OUCHENE Mohand Akli.

[14] : Michael F. Ashby David R. H. Jones Matériaux Propriétés, applications et conception 4e édition © Dunod, Paris, 2013 ISBN 978-2-10-058767-4].

[15] : https://fr.wikibooks.org/wiki/Technologie/Mat%C3%A9riaux/G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s/D%C3%A9signation_normalis%C3%A9_des_aciers

[16] : Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de master Option : Matériaux pour l'Ingénierie Mécanique Thème « Effet du temps de grenailage sur le comportement en usure et en microdureté des aciers de construction faiblement alliés nitrurés 25CD4 et 42CD4 » Université Abderrahmane Mira de Bejaia Département de Génie Mécanique année universitaire 2012/2013.

[17] : Y Brechet, MF Ashby - Matériaux & Techniques, 1998 - mattech-journal.org.

[18] : A. CONSTANT, G. HENRY et J. C CHARBONNIER, principes de base des traitements thermiques thermomécanique et thermochimiques des aciers "édition PYC, 1992.

[19] : T Hamieh, M Rageul-Lescouet, M Nardin... - J. Chim. Phys, 1996 - researchgate.net J Chim Phys (1996) 93, 1332-1363 G) Elsevier, Paris Étude des propriétés superficielles de quelques ...
da I. INTRODUCTION ET OBJECTIF DE L'ETUDE Au contact de l'atmosphère, la surface ...
la protection de l'acier contre la corrosion, on procède à des traitements de surface.

[20] : Baaloul khawla.Djedouani kheira, Evaluation des propriétés mécaniques (dureté) d'un acier 42CD4, Juin 2015.

[21] : https://www.alliance-mim.com/wp-content/uploads/2016/12/FicheTechnique_42CrMo4.pdf

[22] : **Wei Feng**, Effect of relief-hole diameter on microstructure evolution of 20CrMnTiH steel during hot upsetting, 17th International Conference on Metal Forming, Metal Forming 2018, 16-19 September 2018, Toyohashi, Japan.

[23] : **J. Pal**, Improving reducibility of iron ore pellets by optimization of physical parameters, Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, 27 April 2016.

- [24] **Tarek Mabrouki**, Numerical and experimental study of dry cutting for an aeronautic aluminium alloy (A2024-T351), International Journal of Machine Tools and Manufacture Pages 1187-1197, September 2008.
- [25] **C. Courbon**, Further insight into the chip formation of ferritic-pearlitic steels: Microstructural evolutions and associated thermo-mechanical loadings, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 77 (2014) 34-46.
- [26] **Sudhansu Ranjan Das**, Hard turning of AISI 4340 steel using coated carbide insert: Surface roughness, tool wear, chip morphology and cost estimation, Materials Today: Proceedings 5 (2018) 6560–6569
- [27] **Ashwin Devotta**, Quantitative characterization of chip morphology using computed tomography in orthogonal turning process, 9th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME '14, Procedia CIRP 33 (2015) 299 – 304
- [28] **Bin Li**, Chip morphology of normalized steel when machining in different atmospheres with ceramic composite tool, Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2011.

Résumé

Le but de ce travail est de trouver le paramètre qui influe sur la formation du copeau et qui génère des types de copeau différents lors d'une opération d'usinage des aciers et pour cela nous avons effectué des essais sur l'acier 42 Cr Mo 4, et une analyse microstructurale qui a abouti à des conclusions à partir de ces résultats.

Abstract

The purpose of this work is to find the parameter that influences the formation of the chip and which generates different types of chips during a machining operation of steels, and for this I perform tests on steel 42 Cr Mo 4, and I am also doing a microstructural analysis and we reached conclusions from these results.

ملخص

الغرض من هذا العمل هو العثور على العامل الذي يؤثر على تشكيل رقائق والتي تولد أنواعاً مختلفة من الرقائق أثناء تشغيل الآلات للفولاذ، ولهذا أقوم بإجراء اختبارات على الفولاذ 42 Cr Mo 4، وأنا أيضاً أقوم بتحليل مجهرية وتوصلنا إلى استنتاجات من هذه النتائج.