

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication mécanique et productique

Présenté Par : Rahmani mohammed akram

Ouggad yasser

Thème

Recherche expérimentale sur l'impact du brunissage
sur la dureté des matériaux usinés

Soutenu publiquement le :/06/2024

Devant le jury :

BOUKHATEM Mourad	MCA	President	UKM Ouargla
BELLOUFI Abderrahim	Pr	Examineur	UKM Ouargla
ABDELKRIM Mourad	Pr	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2023 /2024

Dédicace

Nous tenons à dédier ce modeste travail :

À nos parents.

À nos frères,

À nos sœurs,

À nos familles,

À tous nos amis et nos collègues.

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu, notre Créateur.

*Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et reconnaissance à notre encadreur, Pr. **ABDELKRIM Mourad**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de cette étude, ainsi que pour ses précieux conseils et ses encouragements*

*Nous tenons aussi à remercier **Dr BOUKHATME Mourad** pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail ainsi que pour l'honneur qu'il nous a fait en présidant le jury.*

*Nos remerciements vont également à **Pr BELLOUFI Abderrahim** pour s'être intéressé à ce travail et pour avoir bien voulu nous honorer de sa présence dans ce jury.*

*Enfin, nous remercions tous les étudiants de notre promotion et souhaitons bon courage à tous les étudiants pour terminer leurs études, ainsi qu'à tous les enseignants de l'université **KASDI MERBAH de l'OUARGLA**.*

Sommaire

Introduction Générale.....	01
Chapitre I	
Principes fondamentaux de l'usinage	
I. Introduction	03
I.1. Enlèvement de matière	03
I.2. Tournage.....	04
I.3. Les types d'opérations sur le tournage	04
a) Chariotage	04
b) Dressage	05
c) Filetage	05
d) Perçage	05
I.4. La rectification	07
I.4.1 La rectification plane	07
I.4.2 La rectification cylindrique	07
a) Processus.....	08
b) Avantage.....	08
c) Applications.....	08
I.5.Paramètres des coupes	09
I.5.1. Vitesse de coupe	09
I.5.2 Avance par tour f :.....	09
I.5.3 Profondeur de passe	10
I.6. Matériaux des outils	10
I.7. Phénomène d'usure des outils des coupes.....	11
I.7.1 Types d'usure des outils de coupe.....	11
a) Usure en cratère	11
b) Usure en dépouille	12
I.8.Processus de Brunissage.	13
I.8.1 Définition du Brunissage	13
I.8.2. Principe de l'opération de brunissage	14
I.8.3 Types de Processus de Brunissage.....	14
I.8.4. Brunissage des Billes	15

I.8.5. Brunissage au Rouleau.....	16
I.8.6 Avantages et inconvénients du brunissage.....	16
a) Avantages du processus de Brunissage.....	17
b) Inconvénients du processus de brunissage.....	18
I.8.7. Application Du Brunissage	18
I.9. État de surface.....	19
I.9.1. Paramètres de rugosité.....	19
I.10. La température de coupe.....	20
I.11. La dureté.....	21
I.11.1. Définition.....	21
I.11.2. Essais de dureté.....	21
I.11.3. A quoi sert l'essai de dureté	22
I.11.4. Les type d'essai de dureté.....	22
I.11.5. Le choix de la méthode d'essais de dureté.....	22
I.11.6. La micro dureté.....	23
I.12. Conclusion.....	23

Chapitre II

Conception et fabrication d'un outil de brunissage

II. Introduction.....	26
II.1. Conditions de fabrication des outils de brunissage par Solidworks.....	26
II.1.1. définition Solidworks.....	26
II.1.2. Conception de l'outil.....	27
A. Arbre cylindrique en acier C45.....	27
B. Conception d'une bille	28
C. Roulement et vis et écrou.....	28
D. Assemblage.....	29
II.2. Fabrication d'un outil de brunissage.....	29
II.2.1 Matériau de l'outil	29
a) Roulement 6203.....	29
b) Arbre cylindrique en acier C45.....	30
c) Les billes de précision en acier dur.....	31

II.3. Opération de perçage.....	32
A) Opération de surfaçage	32
B) Opération rainurage	32
C) Réalisation d'un trou	33
D) Assemblage de l'outil de brunissage	34
E) Montage de l'outil de brunissage.....	34
II.4 Conclusion.....	35

Chapitre III

Résultats et discussions

III. Introduction.....	37
III.1.Plans experimental.....	37
III.2.Materiel utilisés.....	37
III.2.1.La pièce.....	37
III.2.2.Machin utilisée.....	38
III.2.3.Microduromètre portable utilisé	38
III.2.4.Mesure de la micro dureté.....	39
III.3Résultats expérimentaux.....	39
III.3.1.Variation de la micro dureté fonction de la profondeur de passe.....	41
III.3.2.Variation de la micro dureté fonction de la vitesse de rotation.....	42
III.3.3.Variation de la micro dureté fonction de nombre de passe.....	44

Liste des figures

Chapitre I
Principes fondamentaux de l'usinage

Figure I.1	Exemples des procédés d'usinage par enlèvement de matière	03
Figure I.2	Enlèvement de matière par tournage	04
Figure I.3	Chariotage	04
Figure I.4	Dressage	05
Figure I.5	Filetage tournage	05
Figure I.6	Perçage sur tournage	05
Figure I.7	rectification plan rectification cylindrique	07
Figure I.8	Procédé de Tournage	08
Figure I.9	ap et f en tournage	09
Figure I.10	Usure en cratère	10
Figure I.11	Usure en dépouille	11
Figure I.12	L'usure en dépouille et l'usure en cratère	12
Figure I.13	Base de fonctionnement du brunissage	13
Figure I.14	processus de brunissage des billes.....	15
Figure I.15	Application Brunissage.....	17
Figure I.16	Paramètres de rugosité	18
Figure I.17	Représentation des différents flux thermiques et sources de chaleur.....	19
Figure I.18	Exemple de machines d'essai de dureté.....	20

Chapitre II
Conception et fabrication d'un outil de brunissage

Figure II.1	logo Solidworks.....	25
Figure. II.2	Circle par solidworks.....	25

Figure II.3	Arbre cylindrique par solidworks.....	26
Figure. II.4	Bille 3D par solidworks.....	26
Figure II.5	Roulement et Vis de fixation par solidworks.....	27
Figure II. 6	Assemblage de l'outil	27
Figure II.7	Roulement 6203.....	28
Figure II.8	Arbre cylindrique en acier C45.....	29
Figure II.9	Bille de précision en acier inoxydable dur	29
Figure II.10	Opération de perçage	30
Figure II.11	Opération de surfacage sur la fraiseuse	30
Figure II.12	Opération de rainurage.....	31
Figure II.13	Création d'un trou pour la Fixation.....	31
Figure II.14	Outil de brunissage.....	32
Figure II.15	Montage de l'outil de brunissage	32

Chapitre III

Résultats et discussions

Figure.III.1	Organigramme expérimental.....	35
Figure.III.2	L'échantillon utilisé	36
Figure.III.3	Tour par allèle universel.....	36
Figure.III.4	Portable Leeb Hardness Tester TIME®5300 (TH110).....	37
Figure.III.5	Méthode de mesure de la micro dureté	37
Figure.III.6	Variation de micro dureté fonction de la profondeur de passe pour (N= 440 tr/min).....	39
Figure.III.7	Variation de micro dureté en fonction de la profondeur de passe pour (N= 900tr/min).....	39
Figure.III.8	Variation de micro dureté en fonction de la profondeur de passe pour (N= 1500tr/min)	40
Figure.III.9	Variation de la micro dureté fonction de la vitesse de rotation (ap= 0.1mm).....	40
Figure.III.10	Variation de micro dureté en fonction de la vitesse de rotation(ap= 0.2mm).....	41

Figure.III.11	Variation de la micro dureté en fonction de la vitesse de rotation ($a_p=0.3\text{mm}$).....	41
Figure.III.12	La micro dureté en fonction de nombre de passé($a_p=0.1$) (N=440).....	42
Figure.III.13	H en fonction de nombre de passé($a_p=0.2$) (N=900).....	42
Figure.III.14	H en fonction de nombre de passé ($a_p=0.3$) (N=1500).....	42

Liste des tableaux

Chapitre II

Conception et fabrication d'un outil de brunissage

Tableau. II.1	Composition chimique de l'acier utilisé.....	30
Tableau. II.2	Composition Mécaniques de l'acier utilisé.....	31

Chapitre III

Résultats et discussions

Tableau.III.1	Résultats expérimentaux.....	40
---------------	------------------------------	----

Nomenclature

Symbol	Unité	Designation
Vc	m / min	Vitesse de coupe
N	tr / min	Vitesse de rotation
D	mm	Diamètre
Vf	mm / min	Vitesse d'avance
f	mm /tr	Avance par tour
ap	mm	Profondeur de passe
T	°C	Température
H	HL	La micro dureté

Introduction générale

Introduction générale

Les attributs essentiels de tout produit comprennent sa forme, sa taille, ses tolérances dimensionnelles et l'intégrité de la surface, y compris sa finition. La finition de surface est le résultat de la dernière opération effectuée sur la pièce, appelée opération de finition. Dans de nombreux cas, cette opération influence également d'autres caractéristiques de surface de la pièce usinée, telles que la présence de défauts comme des microfissures...

L'usinage de précision est une étape importante dans la fabrication de pièces mécaniques de haute qualité, nécessitant souvent des finitions de surface irréprochables. Traditionnellement, la rectification de surface a été largement utilisée pour améliorer la qualité et la résistance à l'usure des pièces usinées. Cependant, la rectification présente des inconvénients tels que la déformation thermique, les contraintes résiduelles et la sensibilité aux fissures, limitant parfois son efficacité dans certaines applications.

Le brunissage, en revanche, offre une alternative attrayante au rectification en raison de ses avantages uniques. Contrairement au rectification, le brunissage ne modifie pas la composition chimique du matériau de base et ne nécessite pas de post-traitement thermique. De plus, le brunissage peut améliorer la micro dureté de la surface, réduire la rugosité et introduire des contraintes résiduelles bénéfiques pour la résistance à la fatigue et à l'usure.

Pour mener cette étude, nous commencerons par fabriquer un outil de brunissage. Ensuite, nous utiliserons cet outil pour mesurer la dureté des surfaces usinées en fonction des paramètres de coupe lors du tournage. Cette approche nous permettra d'étudier les relations entre le brunissage, les propriétés mécaniques des matériaux et les variables opérationnelles, fournissant des perspectives précieuses pour optimiser ce processus dans divers contextes industriels.

Pour mener à bien ce travail, nous avons divisé notre étude en trois chapitres. Le premier chapitre traite des principes fondamentaux de l'usinage. Le deuxième chapitre concerne l'étude expérimentale, commençant par la fabrication de l'outil de brunissage. Enfin, le troisième chapitre porte sur l'interprétation des résultats, en se concentrant sur l'effet des paramètres de coupe sur la micro dureté des surfaces usinées après brunissage et en fin une conclusion qui englobe les principaux résultats trouvés.

Chapitre

I

Principes fondamentaux de l'usinage

I. Introduction

L'usinage par enlèvement de matière est un procédé qui consiste à enlever ou couper le matériau d'une pièce avec un outil donnant lieu à cet excédent de matière, qui est séparé de la pièce avec le même outil. La quantité de matière enlevée et 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. Les procédés d'usinage par enlèvement de matière traditionnels remontent à plusieurs siècles, étant une évolution des procédés manuels. Ce sont, entre autres : tournage, fraisage, perçage, sciage etc. L'usinage par enlèvement de matière présente de nombreux avantages, notamment : Atteint de très faibles tolérances (précision dimensionnelle élevée).

Des coins très aiguisés peuvent être obtenus sur la pièce résultante

- ✓ Préserve les propriétés mécaniques du matériau (contrairement au formage par exemple).
- ✓ Fonctionnement très polyvalent.
- ✓ Il n'est pas plus cher que d'autres procédés tels que le formage.

I.1. Enlèvement de matière

L'usinage est une famille de techniques de fabrication de pièces mécaniques. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision. Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe V_c) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance V_f) (figure I.1)[1].



Figure I.1 : Exemples des procédés d'usinage par enlèvement de matière [2]

I.2. Tournage

Le tournage est un procédé de fabrication mécanique par coupe, la pièce est animée d'un mouvement de rotation qui est le mouvement principal du procédé, l'outil est animé d'un mouvement complémentaire de translation 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) (Figure. I.2) [3]



Figure I.2 : Enlèvement de matière par tournage [4]

I.3. Les types d'opérations sur le tournage

A. Chariotage

C'est une opération qui consiste à usiner une surface cylindrique ou conique extérieure (Figure I.3)

Le chariotage est une opération consistant à usiner sur 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. Les paramètres de coupe sont l'avance (f), la profondeur de passe (a_p) et la vitesse de rotation

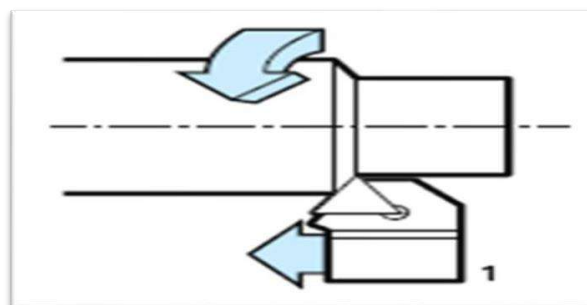


Figure. I.3: Chariotage [5]

B. Dressage

C'est une opération qui consiste à usiner une surface plane perpendiculaire à l'axe de la broche extérieure ou intérieure (Figure. I.4)

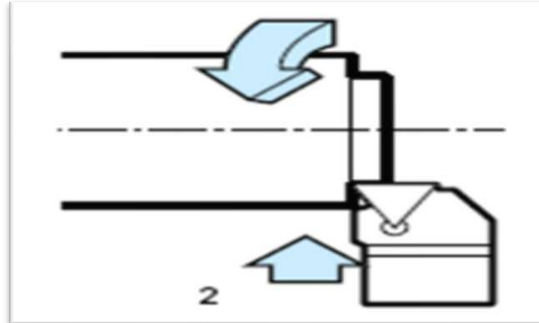


Figure. I.4: Dressage [5]

C. Filetage

C'est une opération qui consiste à réaliser un filetage extérieur ou intérieur (Figure I.5)

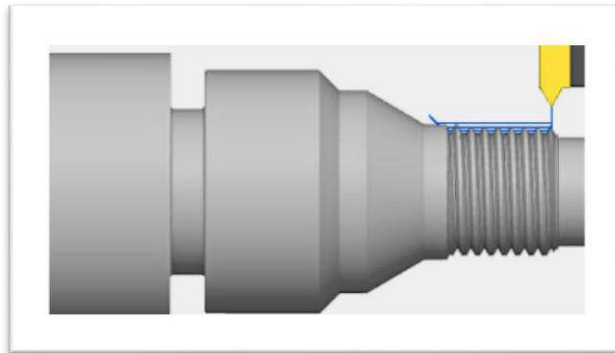


Figure I.5: Filetage tournage [5]

D. Perçage

C'est une opération qui consiste à usiner un trou à l'aide d'une forêt (Fig.I.6)

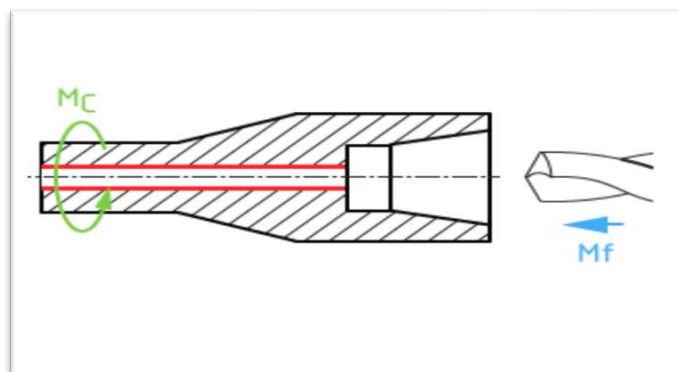


Figure I.6: Perçage sur tournage [5]

I.4. La rectification

Le processus de rectification mécanique est un moyen d'enlever de petits morceaux de matière d'une pièce de machine. Cette opération s'effectue à l'aide d'une machine spéciale appelée « rectifieuse ».

La rectifieuse est équipée d'une roue abrasive qui tourne rapidement et façonne la pièce. Le processus de rectification est le seul moyen d'obtenir une précision de l'ordre de quelques microns.

La rectification est utilisée dans la plupart du temps avec l'objectif de préparer des surfaces qui seront exposées à une certaine friction. Elle peut également être utilisée par les services d'usinage industriel pour donner un profil particulier à une pièce, en utilisant une meule, préalablement préparée à cette fin. [6]

I.4.1 La rectification plane

Le processus implique de meuler horizontalement la pièce afin de retirer à plusieurs reprises des couches de matériau mesurant entre 10 et 40 micromètres (0,01 à 0,04 mm). Dans ce cas, la pièce réalise un mouvement de va-et-vient longitudinal (qui peut être associé à un balayage transversal pour rectifier une largeur supérieure à la largeur de la meule). De la même manière, la rectification double face implique de corriger simultanément les deux faces de la pièce. (Figure I.7)



Figure I.7 rectification plan [7]

I.4.2 La rectification cylindrique

La rectification cylindrique est une méthode d'usinage qui utilise une meule abrasive rotative pour enlever les excès de matière et obtenir des tolérances dimensionnelles et géométriques très précises sur des pièces cylindriques. Cette méthode est largement utilisée dans l'industrie manufacturière pour produire des arbres, des axes, des cylindres, des alésages et d'autres composants nécessitant une haute précision. (Figure I.7)

A. Processus :

Préparation de la pièce : La pièce à usiner est montée entre des centres ou dans un mandrin de serrage.

- Choix de la meule : La meule abrasive appropriée est sélectionnée en fonction des spécifications de la pièce à usiner, y compris le matériau de la pièce, la taille et la finition requises.

- Rectification : La meule abrasive est amenée en contact avec la pièce en rotation, et une pression est appliquée pour enlever progressivement les couches de matériau, formant ainsi la surface cylindrique souhaitée.

- Contrôle de la dimension et de la qualité : Des instruments de mesure précis, tels que des micromètres et des rugosimètres, sont utilisés pour vérifier les dimensions et la qualité de la surface rectifiée pendant le processus.

B. Avantage :

- Haute précision : La rectification cylindrique permet d'atteindre des tolérances dimensionnelles très précises, souvent de l'ordre du micron.

- Finition de surface : Elle produit généralement des surfaces cylindriques avec une excellente finition de surface, souvent sans nécessiter de finition supplémentaire.

- Polyvalence : Ce processus peut être utilisé pour une grande variété de matériaux, y compris les métaux, les céramiques et certains polymères.

C. Applications :

La rectification cylindrique est largement utilisée dans divers secteurs industriels, notamment l'automobile, l'aérospatiale, la fabrication d'outils et de matrices, ainsi que dans la production de machines et d'équipements de précision.



Figure I.7 rectification cylindrique [7]

I.5. Paramètres des coupes

Il est crucial d'introduire les paramètres de coupe afin de poursuivre l'étude, car ils influencent la modélisation des phénomènes physiques observés.

I.5.1. Vitesse de coupe

La vitesse de coupe, également connue sous le nom de V_c , joue un rôle essentiel dans la création du copeau. La vitesse de rotation de la pièce est déterminée par elle. Elle varie en fonction de la méthode d'usinage, du procédé et du rapport outil/matière.

La vitesse de rotation de la pièce est définie par ;

$$N(\text{tr/min}) = \frac{1000 \cdot V_c(\text{m/min})}{\pi \cdot D(\text{mm})}$$

Où D est le diamètre final de la pièce (*figure I.8*)

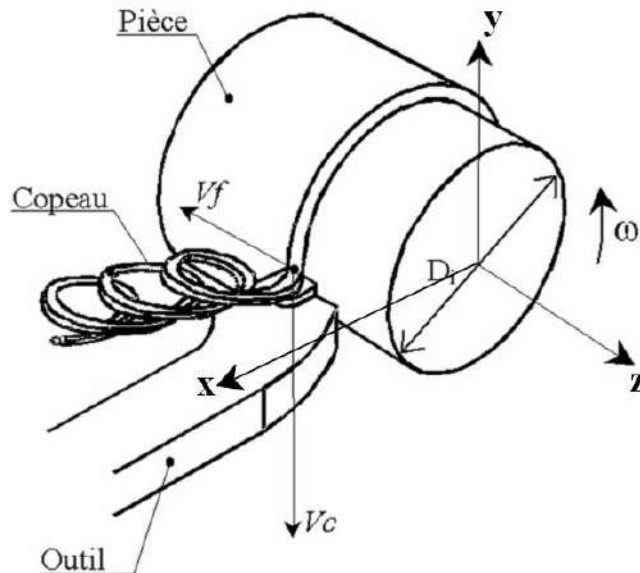


Figure I.8—Procédé de Tournage [1]

I.5.2. Avance par tour f

La différence de déplacement de l'outil entre deux itérations ou deux révolutions (une révolution de la pièce lors du tournage et de l'outil lors du fraisage) est connue sous le nom d'avance notée f [1].

$V_f(\text{mm/min}) = f(\text{mm/tr}) \times N(\text{tr/min})$ (figure I-2).

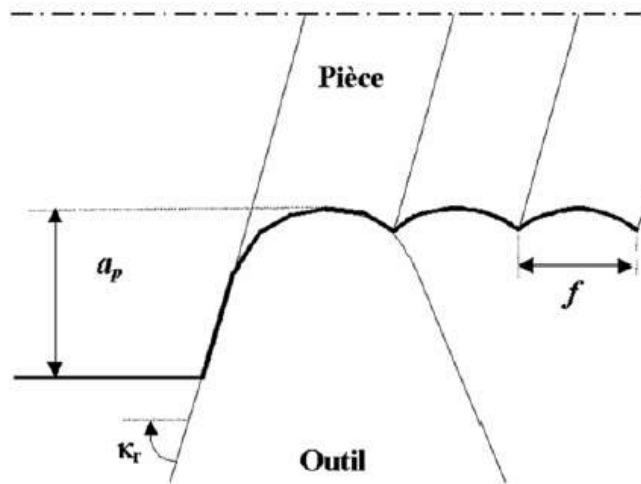


Figure I.9- a_p et f en tournage [1]

La formation du copeau est influencée par la profondeur de passe et l'avance, car elles altèrent la partie coupée du copeau, ce qui entraîne une modification de l'énergie nécessaire pour cisailer la matière.

I.5.3. Profondeur de passe

La profondeur de passe, indiquée par p a [7], représente la longueur de l'arête de coupe qui est appliquée à la matière, dans le cas de la coupe orthogonale, et par exemple la différence entre le rayon avant et après usinage, dans le cas du tournage.

I.6. Matériaux des outils

Le choix d'un matériau et d'une nuance de coupe est un facteur important pour la réussite d'une opération d'usinage, pour effectuer un bon choix pour une application donnée, il convient d'avoir une connaissance de base des propriétés des matériaux de coupe et de leur performance, les critères de choix incluant la matière à usiner, le type et la taille de la pièce, les conditions d'usinage et l'état de surface requis pour chaque opération [8].

Les matériaux de coupe ont des propriétés différentes en termes de dureté, de ténacité et de résistance à l'usure. Ils sont divisés en un grand nombre de nuances dotées de propriétés spécifiques.

De manière générale, les matériaux de coupe doivent posséder les propriétés suivantes :

- Dureté : résistance à l'usure en dépouille et à la déformation
- Ténacité : résistance à la rupture
- Neutralité chimique : absence de réaction chimique avec la matière usinée

- Stabilité chimique : résistance à l'oxydation et à la diffusion
- Résistance aux variations thermiques brusques

I.7. Phénomène d'usure des outils des coupes

Le phénomène d'usure des outils de coupe est dû aux contraintes extrêmement élevées auxquelles sont soumises les faces de coupe et les engrenages, ces contraintes sont principalement d'ordre mécanique (contraintes permanentes ou périodiques, action de frottement, etc.),

Ce qui nécessite que l'outil ait des qualités remarquables de dureté et de ténacité. L'intensité de ces contraintes est augmentée par des effets thermiques qui tendent à diminuer la résistance du matériau de coupe. [9]

De plus, ces effets peuvent conduire à des réactions physico-chimiques principalement au niveau de la face de coupe (interface insert outils), aggravant l'usure de l'outil.

Par définition, l'usure est la perte progressive de la matière de la surface active d'un corps à cause du mouvement relatif d'un autre corps sur cette surface [10]

I.7.1 Types d'usure des outils de coupe

A. Usure en cratère

C'est une usure en creux sur la face de coupe, on mesure donc la profondeur du cratère K_T , la distance de son axe à l'arête de coupe avant usure K_M et on détermine le rapport entre les deux

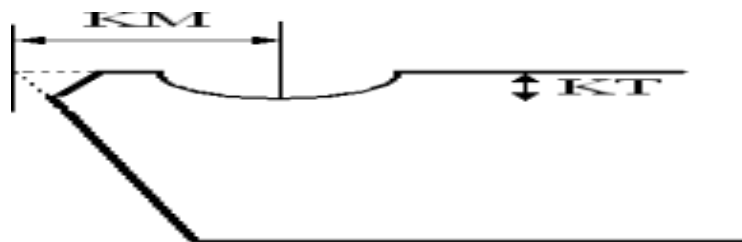


Figure I.10: Usure en cratère [9]

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

Elle est due au frottement du copeau sur la face de coupe de l'outil. Lors de l'usinage, la température élevée à l'interface copeau-outil et les pressions de contact entre le copeau et l'outil, provoquent une diffusion importante de la matière de l'outil vers le copeau par processus d'adhésion.

L'usure est souvent constatée sur les outils en carbures, elle provoque généralement la

rupture de la pointe de l'outil. La valeur critique est celle à partir de laquelle l'outil est considéré comme hors d'usage avec risque important de rupture de l'outil, l'usure est généralement due à une vitesse de coupe excessive ou à une avance trop faible [9]

B. Usure en dépouille

Elle est due au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil et provoque une bande striée parallèle à l'arête de coupe. Elle influe sur l'état de surface de la pièce usinée et sur la précision dimensionnelle de l'usinage, car elle modifie la position de l'arête de coupe. C'est un critère général pour la tenue d'outil, caractérisée par une valeur d'usure admissible

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

Et le type d'usure d'outil le mieux connu dans la plupart des cas, la largeur de l'usure en dépouille est sensiblement uniforme le long de la portion moyenne de la partie rectiligne de l'arête principale. La largeur d'usure en dépouille est facile à mesurer. L'accroissement de la largeur de l'usure en dépouille conduit à une diminution de la qualité de l'outil.

L'accroissement de l'usure en dépouille est généralement uniforme après le taux d'usure élevé initiale, au-delà d'un certain niveau, le taux d'usure en dépouille accélère et provoque des défaillances brutales.

La largeur de l'usure en dépouille VBB est une mesure de l'usure de l'outil convenable et une valeur prédéterminée de VBB est considérée comme un bon critère de durée de vie de l'outil [9]



Figure I.11: Usure en dépouille [9]

Cause:

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

- Arrosage insuffisant.

Solution :

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

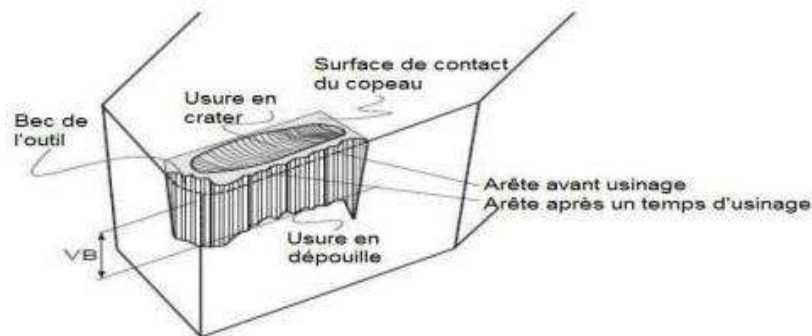


Figure I.12: L'usure en dépouille et l'usure en cratère [9]

I.8. Processus de Brunissage

Le brunissage est un processus de modification de surface qui produit une finition de surface très lisse par la rotation planétaire d'un outil sur une surface alésée ou tournée. L'outil peut être constitué d'une ou plusieurs billes ou rouleaux. Ce processus n'implique pas l'enlèvement de matière des pièces. Toutes les surfaces métalliques usinées ou traitées sont constituées d'une série de pics et de creux qui constituent les irrégularités de surface. La force appliquée par l'outil de brunissage force le matériau des pics à s'écouler dans les vallées. Cela réduit la hauteur des pics et la profondeur des vallées, réduisant ainsi la rugosité de surface. Ceci est illustré dans (Figure I. 13:)

I.8.1 Définition du Brunissage

L'opération de brunissage consiste à obtenir une surface lisse et brillante par contact et frottement de la surface contre les parois des outils durs. C'est une finition et un renforcement du processus. Le brunissage est essentiellement un processus de déformation plastique de surface froide.

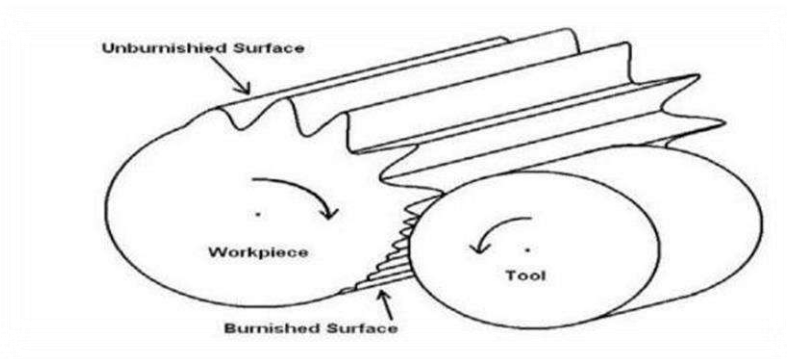


Figure I. 13 :base de fonctionnement du brunissage [20]

I.8.2. Principe de l'opération de brunissage

Le brunissage est un procédé mécanique de finition de surface qui consiste à lisser et à durcir la surface d'une pièce métallique en la comprimant avec un outil de brunissage. Ce processus est généralement effectué à froid et peut être appliqué à diverses pièces, telles que des cylindres, des arbres, et des surfaces planes.

Étapes de l'opération de brunissage

Préparation de la surface : Avant le brunissage, la surface de la pièce doit être propre et exempte de contaminants comme l'huile, la graisse ou les débris. La surface est souvent pré-usinée pour obtenir une rugosité de base.

Choix de l'outil de brunissage : Un outil de brunissage, généralement en acier dur ou en carbure, est sélectionné en fonction de la forme et des dimensions de la pièce à traiter. L'outil peut être rotatif (comme un rouleau) ou fixe (comme une bille).

Application de l'outil : L'outil de brunissage est appliqué sur la surface de la pièce sous une pression contrôlée. Cette pression provoque une déformation plastique des aspérités de surface, les aplatissant et les compactant.

Mouvement de l'outil : L'outil est déplacé de manière continue et régulière sur la surface à traiter. Pour les surfaces cylindriques, cela peut impliquer une rotation de la pièce ou de l'outil. Pour les surfaces planes, l'outil peut être déplacé linéairement.

Lubrification : Un lubrifiant est souvent utilisé pendant le processus de brunissage pour réduire le frottement et la chaleur, ainsi que pour faciliter un mouvement fluide de l'outil sur la surface.

I.8.3 Types de Processus de Brunissage

Le processus de brunissage peut généralement être classé en deux catégories comme suit:

1) Basé sur l'élément de déformation

a) Brunissage des billes

- i. Souple
- ii. Rigide
- b) Brunissage au rouleau
- 2) Basé sur le mouvement de l'outil, sur la surface
 - a) Normal ou ordinaire
 - b) Impact
 - c) Vibratoire
- 3. Classification basée sur l'outil:

Le processus de brunissage peut être globalement classé en deux types en fonction de la géométrie de l'outil. Elles le sont

- 1. Brunissage des billes
- 2. Brunissage au rouleau

I.8.4. Brunissage des Billes

Les billes de brunissage, également appelées billes de brunissage ou billes de polissage, sont des outils utilisés dans le processus de brunissage, une méthode de finition de surface qui implique le frottement contrôlé d'une bille ou d'un outil similaire sur une pièce métallique pour améliorer sa finition et ses propriétés mécaniques.

Les billes de brunissage sont généralement des billes en acier ou en carbure de tungstène, bien que d'autres matériaux puissent également être utilisés en fonction des exigences de l'application. Elles sont disponibles dans une gamme de tailles et de diamètres pour convenir à différentes applications et types de pièces.

Le processus de brunissage avec des billes de brunissage implique de faire rouler les billes sur la surface de la pièce métallique à l'aide d'une pression contrôlée. Ce processus déforme plastiquement la surface du matériau, réduisant ainsi la rugosité et améliorant la finition de surface. De plus, le brunissage peut également induire des contraintes résiduelles bénéfiques pour la résistance et la durabilité de la pièce.

Les billes de brunissage sont largement utilisées dans diverses industries, notamment l'automobile, l'aérospatiale, l'outillage, la fabrication de moules et bien d'autres, pour traiter des pièces telles que des arbres, des engrenages, des roulements et des surfaces internes de cylindres [17]

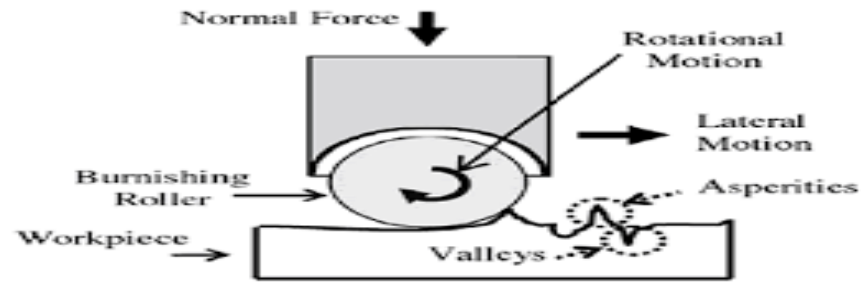


Figure I. 14 :processus de brunissage des billes [20]

I.8.5. Brunissage au Rouleau

Le " brunissage roller" est un type d'outil utilisé dans le processus de brunissage, également connu sous le nom de polissage par déformation plastique. Ce processus est utilisé pour améliorer la finition de surface et renforcer la résistance à la corrosion des pièces métalliques.

Un brunissage roller est généralement constitué d'un cylindre métallique ou d'une série de rouleaux montés sur un support. Ces rouleaux sont généralement fabriqués dans des matériaux durs tels que l'acier ou le carbure de tungstène et sont souvent recouverts d'un revêtement spécial pour améliorer leurs propriétés de frottement et de durabilité.

Lors du processus de brunissage, le brunissage roller est pressé contre la surface de la pièce métallique avec une force contrôlée. Sous l'effet de cette pression, les aspérités de la surface métallique sont déformées plastiquement, ce qui entraîne une réduction de la rugosité et un polissage de la surface. En même temps, le matériau de la surface est comprimé, ce qui renforce sa résistance et sa durabilité.

Les brunissages rollers sont utilisés dans une variété d'applications industrielles, notamment dans l'automobile, l'aérospatiale, la fabrication d'outils et la production de composants mécaniques de haute précision. Ils peuvent être montés sur des machines-outils telles que des tours CNC, des fraiseuses ou des rectifieuses, et sont souvent utilisés pour traiter des pièces telles que des arbres, des engrenages, des cylindres et des boîtiers de moteurs [16].

De notre côté, nous avons procédé au brunissage à l'aide d'une boule, ce qui est maintenant plus crucial et assure une surface impeccable et de magnifiques finitions.

I.8.6. Avantages et inconvénients du brunissage

Chaque méthode de production présente ses propres bénéfices et désavantages, qui déterminent sa faisabilité dans les secteurs industriels. Le brunissage présente aussi des bénéfices et des désavantages, qui sont abordés dans cette partie.

A. Avantages du processus de Brunissage

1. Taille précise :

Les pièces peuvent être produites par brunissage avec un contrôle élevé des dimensions. Par conséquent, des tolérances très étroites peuvent être atteintes

2. Finition de surface superfine :

Finition des surfaces très lisses, jusqu'à $0,05 \mu\text{m Ra}$ est possible avec le brunissage. L'état de surface obtenu est comparable à toutes les autres opérations classiques d'état de surface comme le meulage, le grenailage, etc.

3. Améliore les propriétés physiques:

Le brunissage produit une surface dure, résistante à l'usure et à la corrosion en raison du laminage à froid. Il induit également des contraintes de compression qui augmentent la durée de vie en fatigue des composants soumis à des charges cycliques.

4. Plus économique:

Le brunissage élimine le meulage et le rodage, qui sont des processus coûteux et chronophages. Le brunissage peut être effectué sur n'importe quel tour ou perceuse standard, ce qui élimine l'investissement initial. Une main-d'œuvre qualifiée n'est pas nécessaire pour ce processus. Tout travailleur ayant de l'expérience dans l'utilisation d'un tour ou d'une perceuse peut travailler sur le processus de brunissage.

5. Gain de temps

La pièce chargée sur un tour, une fraiseuse ou une perceuse n'a pas besoin d'être remontée pour le brunissage. L'outil précédent peut être remplacé par un outil de brunissage et le processus peut être effectué sur la même monture. Ainsi, le temps de cycle est réduit, ce qui augmente le débit.

6. Réglages réglables

La plupart des outils de brunissage disponibles dans le commerce ont des réglages réglables, ce qui augmente leur portée de travail. Cela réduit le coût lorsqu'un changement a lieu dans la conception des composants.

7. Pièces d'usure remplaçables:

Les pièces d'usure telles que les rouleaux, les billes, les rouleaux de guidage, etc. peuvent être facilement remplacées, ce qui contribue à prolonger la durée de vie de l'outil avec moins de coûts de maintenance.

8. Une grande variété de géométries de pièces, telles que des surfaces planes, coniques, cylindriques et de forme libre, peuvent être traitées par brunissage

B. Inconvénients du processus de brunissage

1. L'outil de brunissage a un coût initial élevé.
2. Il est impossible d'appliquer le brunissage sur des pièces miniatures.
3. Il est impossible de brunir les composants dont les parois sont plus minces et qui n'ont pas suffisamment de résistance, car les forces appliquées lors du brunissage sont généralement importantes.
4. L'application de brunissage sur des formes et des contours complexes requiert des outils spécialisés et des ouvriers hautement compétents. Lorsque la conception ou les formes des contours évoluent, il est nécessaire de concevoir et de produire un nouveau ensemble d'outils. Cela fait augmenter les dépenses et le temps.

I.8.7. Application Du Brunissage

Divers éléments du système hydraulique,

Phoques,

Vannes,

Broche,

Fils accrochés à l'arbre.

Industrie des Moteurs et des Pompes :

Appareils Ménagers

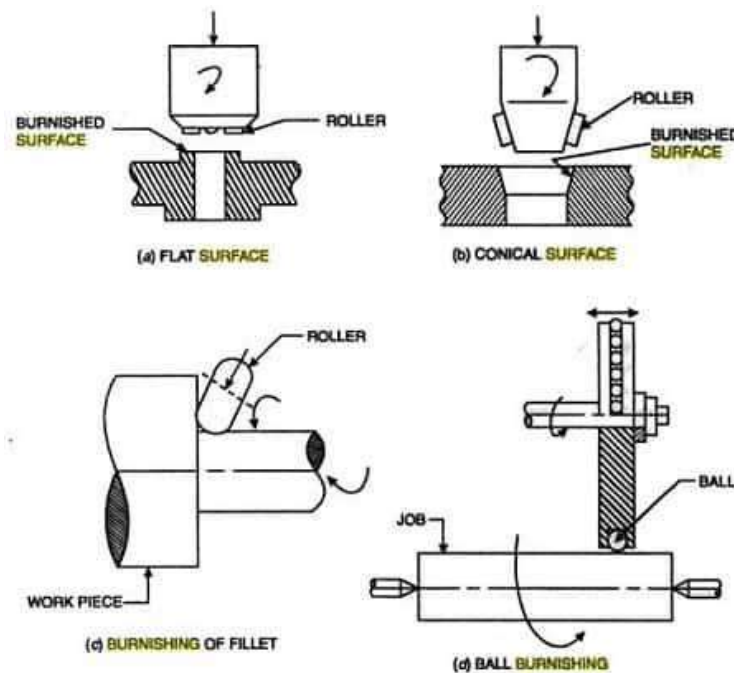


Figure I. 15. Application de Brunissage [20]

Les surfaces planes, cylindriques ou coniques (intérieures et externes) sont polies à l'aide de rouleaux en acier trempé ou en carbure cémenté ou de billes d'acier placées sur un support, fig. Des rouleaux arrondis à un rayon sont utilisés pour brunir les filets et les rainures. Des outils à rouleaux multiples sont utilisés pour brunir les trous sur des perceuses à colonne, des tours à tourelle, des aléseuses horizontales, des machines construites en unités et des tours automatiques.

I.9.État de surface

Les paramètres d'état de surface jouent un rôle crucial dans la fabrication mécanique, et saisir leur signification permet aux techniciens de sélectionner les méthodes de fabrication adéquates. Il est nécessaire de déterminer la qualité de la surface usinée en se basant sur l'usinage industriel. Outre les dimensions, il est nécessaire de déterminer la rugosité de la surface. Nous utilisons le terme "état de surface" pour désigner les anomalies de surface causées par le processus d'usinage de la pièce, comme l'usinage, le moulage, etc. La mesure est généralement effectuée à l'aide d'un dispositif à palpeur à pointe de diamant, connu sous le nom de profil mètre, qui enregistre le profil d'une surface.

I.9.1. Paramètres de rugosité

Les paramètres d'état de surface les plus couramment utilisés sont récapitulés dans la (Figure.16)

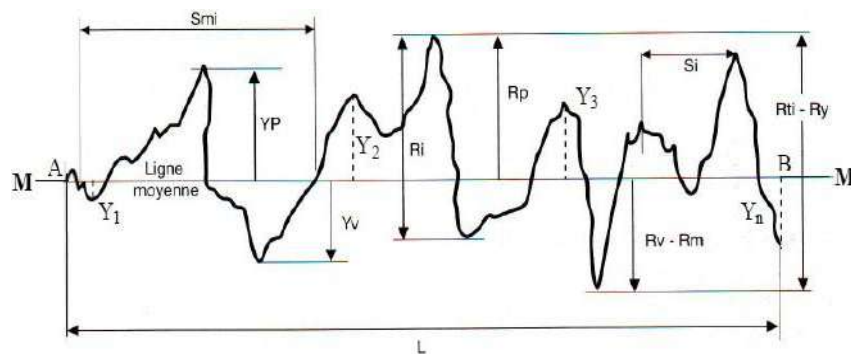


Figure. I.16: Paramètres de rugosité[21]

-MM: La ligne moyenne représente la direction générale du profil - L: La longueur de base est utilisée pour mesurer et calculer les paramètres de rugosité.

- YP: Distance entre un pic et MM.

- YV: La profondeur d'une couche par rapport à « MM »

- Rp,Rv(ouRm) : La hauteur, la profondeur maxidespics, etc., en comparaison avec « MM ».

- RT:Rti(ouRy) Maximum d'écart sur la longueur d'évaluation, (Ry=Rp+Rm)

- Moyenne des Rtisurlalongueur totale d'évaluation : Rtm.

- Ri: Le principe fondamental de la rugosité
- R: La taille moyenne de la rugosité (moyenne de la rugosité sur la longueur d'évaluation)
- Rmax : Amplitude maximale de rugosité.
- Rz : Niveau d'anomalies sur 10 points (moyenne des valeurs absolues des 5Yp et 5Yv les plus élevées, sur 5 segments d'évaluation successifs).

La valeur moyenne des distances entre les pointes successives est représentée par la moyenne arithmétique des écarts de profil par rapport à l'alignement moyen.

- Si: Pas de défauts locaux dans le profil
- Pas d'anomalies dans le profil (moyenne des Smi sur la longueur de base)

I.10. La température de coupe

La chaleur générée pendant l'usinage, son évacuation et ses conséquences sur la durée de vie des outils sont des problèmes encore plus importants. Elle n'est plus évacuée par les fluides de coupe, et les températures atteintes dans l'outil pendant l'usinage ont beaucoup augmenté. Cette augmentation a pour principal effet l'usure prématurée de l'outil, qui peut être expliquée par plusieurs phénomènes en fonction du couple outil/matière

. L'étude de la zone de génération du copeau est la plus intéressante thermiquement, car elle est le siège des plus grands échauffements. Les mécanismes de génération de chaleur sont liés aux déformations plastiques engendrées dans les zones de cisaillement. L'ensemble des déformations et contraintes dépend également de la température [10].

Le transfert de chaleur dans le copeau et dans la pièce s'effectue majoritairement par transport alors que dans l'outil le transfert s'effectue principalement par diffusion. De fait, la répartition des flux ne se fait pas de manière équivalente et dépend bien sûr des conditions de coupe et des propriétés thermiques des matériaux. Seul un faible pourcentage de la chaleur générée est transmis à l'outil et la pièce, la majorité étant évacuée par le copeau (Figure I.17)

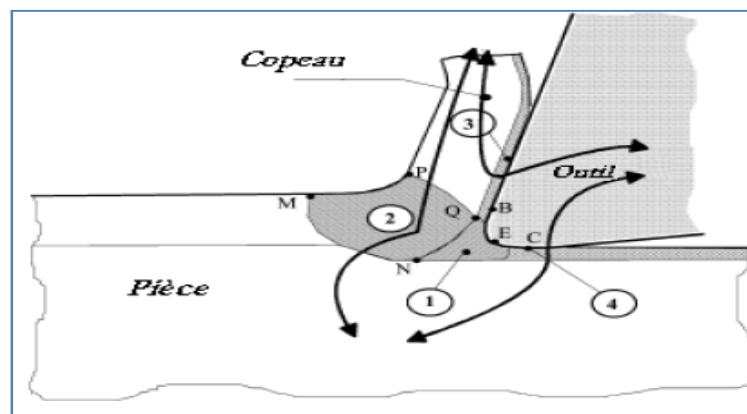


Figure I.17: Représentation des différents flux thermiques et sources de chaleur [10]

I.11. La dureté

I.11.1. Définition

La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose une surface de l'échantillon à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers). S'il y résiste bien, il est dit dur, sinon il est dit mou. La dureté se mesure sur différentes échelles selon le type de matériau considéré [11]

I.11.2. Essais de dureté

L'essai est très simple à réaliser, n'utilise pas de machine coûteuse et n'exige pas l'usinage d'une éprouvette, puisqu'une surface plane de quelques mm^2 suffit. Un pénétrateur de géométrie connue est appliqué sur la surface du matériau à tester avec une force connue pendant un temps donné, on mesure la surface ou la profondeur de l'empreinte laissée dans le matériau, plus l'empreinte laissée est petite, plus le matériau est dur [12].

- Les essais de dureté qui mesurent la profondeur de pénétration comprennent : essai Rockwell, essai de pénétration instrumentalisé par bille.
- Les essais de dureté qui mesurent la taille de l'empreinte laissée par le pénétrateur sont : Vickers, Knoop, et Brinell.

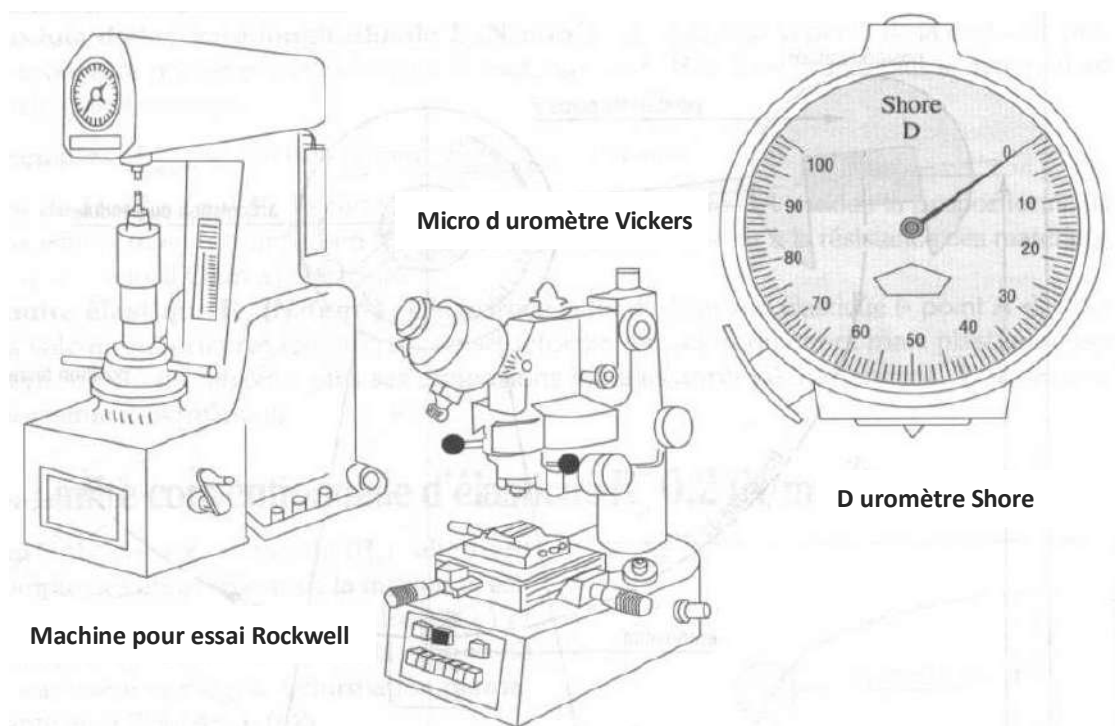


Figure.18. Exemple de machines d'essai de dureté [12]

I.11.3. A quoi sert l'essai de dureté ?

L'essai peut renseigner sur la résistance à l'usure par frottement, la capacité à s'usiner, l'homogénéité du matériau, l'efficacité des traitements thermiques...etc. [12]

I.11.4. Les type d'essai de dureté

Il existe plusieurs manières pour déterminer la dureté d'un matériau :

- Essai de Rockwell
- Essai de Brinell
- Essai de Vickers
- Essai de Shore
- Essai de Leeb
- Essai de knoop

L'essai de dureté est défini par 3 critères, des lettres et des chiffres. La valeur de dureté est toujours placée avant les critères de l'essai [13]

1^{ère}critère : H = Hardness (dureté en anglais)

2^{ème}critère : Une seconde lettre indiquant le type d'essai de dureté:

- HR(Rockwell)
- HV(Vickers)
- HS (Shore)
- H L(Leeb)
- H K (knoop)

3^{ème}critère :

Une lettre ou un nombre, définit par les normes ISO:6506-Brinell,6507-Vickers,6508-Rockwell

I.11.5. Le choix de la méthode d'essais de dureté

Lors du choix de la méthode d'essais de dureté, les considérations suivantes sont importantes [14] :

- Le type de matériau à tester en dureté
- L'exigence de se conformer à une norme
- La dureté approximative du matériau
- L'homogénéité/hétérogénéité du matériau
- La taille de la pièce
- La nécessité de procéder à un enrobage

- Le nombre d'échantillons à tester
- La précision requise du résultat

I.11.6. La micro dureté

La micro dureté est une mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration d'une pointe dure. C'est une propriété mécanique qui permet d'évaluer la dureté superficielle d'un matériau à une échelle microscopique. Voici quelques définitions associées à la micro dureté :

1. Micro dureté Vickers : Une méthode de mesure de la micro dureté où une pointe en forme de pyramide de diamant est pressée dans la surface du matériau et la diagonale de l'empreinte est mesurée pour calculer la dureté. C'est une technique couramment utilisée pour les matériaux céramiques, métalliques et certains polymères [19].

2. Micro dureté Knook : Similaire à la méthode Vickers mais utilisant une pointe de forme différente, en forme de losange allongé, pour la pénétration. Cette méthode est souvent préférée pour sa capacité à évaluer des matériaux très minces ou des zones spécifiques à l'intérieur d'un matériau.

3. Micro dureté Rockwell : Une méthode où une petite charge est appliquée à l'aide d'un cône en diamant ou une sphère et la profondeur de pénétration est mesurée. C'est moins couramment utilisé pour la micro dureté, mais il peut être utile pour certains matériaux spécifiques.

4. Micro dureté Brinell : Une méthode similaire à la micro dureté Rockwell, mais utilisant une bille en carbure de tungstène comme indenter. Elle est plus couramment utilisée pour les matériaux plus tendres, mais elle peut également être utilisée pour mesurer la micro dureté. En général, la micro dureté est utilisée pour évaluer la dureté superficielle des matériaux, pour examiner les variations de dureté à petite échelle ou pour évaluer les effets de traitements thermiques ou de traitements de surface sur les propriétés mécaniques des matériaux.

I.12. Conclusion

Ce chapitre a exploré les principes fondamentaux de l'usinage, en mettant l'accent sur les techniques de tournage, de rectification et de brunissage. Nous avons également abordé les conditions de coupe, éléments essentiels pour optimiser les performances d'usinage. La deuxième partie de ce chapitre a donné un aperçu de la micro dureté et de ses effets sur les propriétés des matériaux, ainsi que des méthodes pour la mesurer. De plus, nous avons examiné les phénomènes liés au processus de brunissage et l'influence de ce procédé sur la micro dureté des surfaces métalliques.

Chapitre

II

**Conception et fabrication d'un outil
de brunissage**

II. Introduction

L'importance de la conception des produits après la réalisation réside dans la capacité à optimiser les performances, la qualité et la durabilité des produits, en tenant compte des contraintes de fabrication et des retours d'expérience pour améliorer continuellement leur conception.

Dans ce chapitre, nous présenterons la conception de l'outil de brunissage par SolidWorks en première étape, puis nous détaillerons la réalisation de l'outil de brunissage.

II.1. Conception d'un outil de brunissage par Solidworks

II.1.1. Définition Solidworks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) 3D développé par la société Dassault Systèmes SolidWorks Corp., une filiale de Dassault Systèmes, fondée en 1993. SolidWorks permet aux ingénieurs et aux concepteurs de créer, simuler et fabriquer des produits en 3D.

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) développé par la société Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Il est largement utilisé dans l'industrie manufacturière pour la conception de produits, la modélisation 3D et la création de dessins techniques. Voici une définition plus détaillée :

Conception 3D : SolidWorks permet aux utilisateurs de créer des modèles 3D de pièces et d'assemblages en utilisant une variété d'outils de modélisation, tels que la création de formes de base (comme des extrusions, des révolutions, etc.), des opérations de modification (comme les coupes, les évidements, etc.) et des fonctionnalités avancées (comme les congés, les nervures, etc.).

Assemblages : Les utilisateurs peuvent assembler plusieurs composants 3D pour former des ensembles fonctionnels. SolidWorks offre des outils pour positionner et contraindre les composants, simuler les mouvements et les interférences, ainsi que pour créer des éclatés et des animations d'assemblage.

Dessins techniques : Le logiciel permet de générer automatiquement des dessins techniques détaillés à partir des modèles 3D, comprenant des vues en coupe, des vues éclatées, des cotes, des annotations et des nomenclatures. Ces dessins sont utilisés pour la fabrication et l'inspection des pièces.

Simulation : SolidWorks propose des modules de simulation pour analyser le comportement des pièces et des assemblages sous différentes conditions de charge, telles que la contrainte, la

déformation, la température, etc. Cela permet aux ingénieurs de valider leurs conceptions avant la fabrication.

Gestion des données : Le logiciel intègre des fonctionnalités de gestion des données pour organiser et gérer les fichiers de conception, les révisions et les processus de collaboration au sein d'une équipe de conception.

SolidWorks est largement utilisé dans divers secteurs, notamment l'ingénierie mécanique, l'aérospatiale, l'automobile, l'électronique et bien d'autres, en raison de sa convivialité, de sa puissance et de sa polyvalence dans la modélisation et la conception de produits [18].

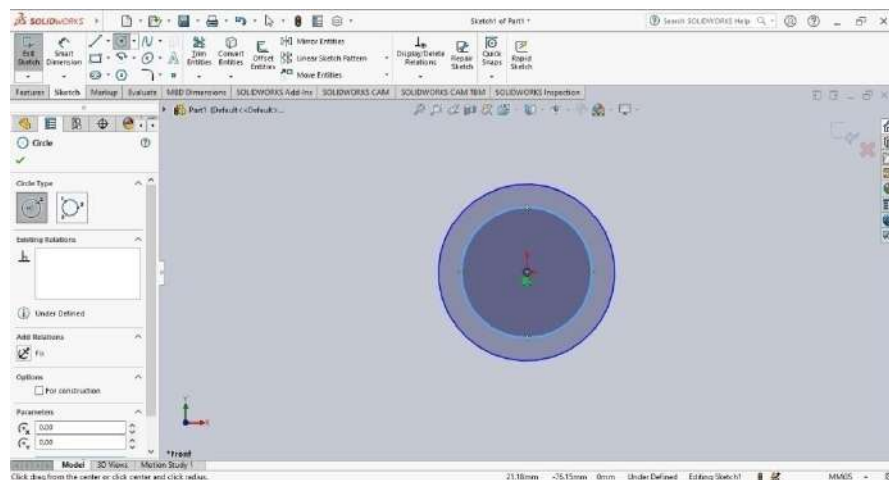


Figure II.1 logo du Solidworks

II.1.2 Conception de l'outil

A. Arbre cylindrique en acier C45

Les figures II.2 et 3 représentent le plan de face et l'arbre cylindrique en acier qui va servir de support pour porter la bille et le roulement dans SolidWorks. C'est la première étape pour la conception de notre outil de brunissage, en commençant par une esquisse et un cercle



FigureII.2. Circle par solidworks

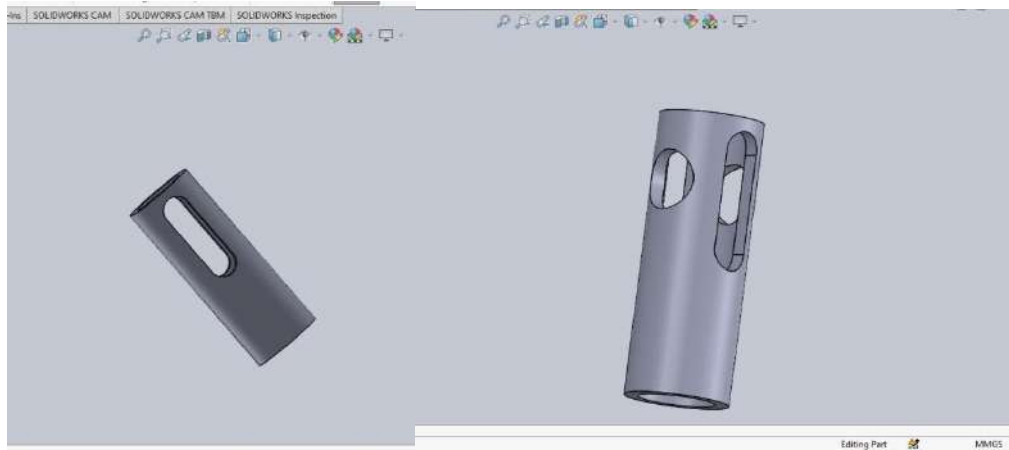


Figure II.3. Arbre cylindrique par solidworks

B. Conception d'une bille

La figure II.2 représente la conception d'une bille en acier dur réalisée avec SolidWorks. Cet élément est essentiel pour l'outil de brunissage.

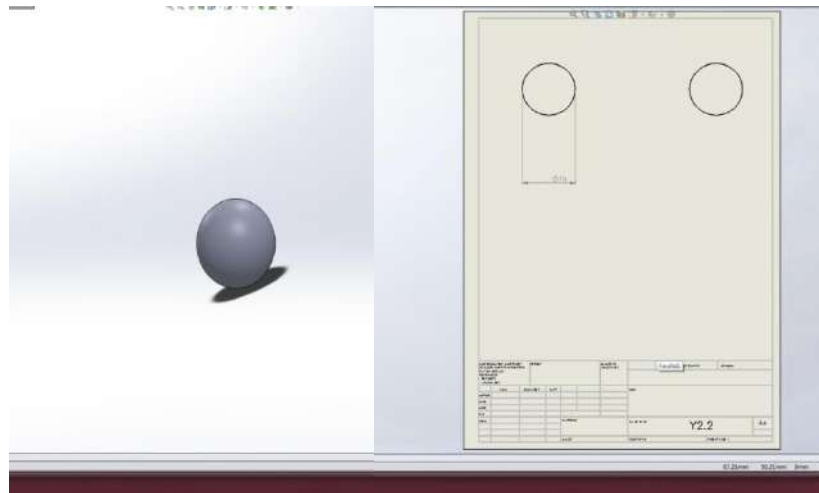


Figure II.4. Bille 3D par solidworks

C. Roulement et vis et écrou

La figure II.5 représente la conception du roulement et de la vis de fixation de ce dernier réalisée avec SolidWorks.

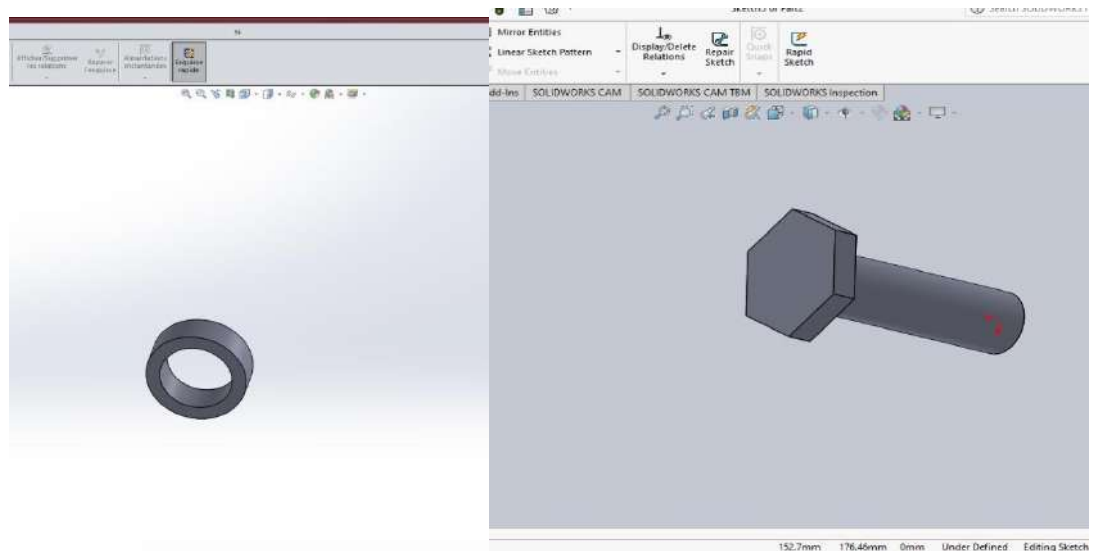


Figure II.5. Roulement et Vis de fixation par solidworks

D. Assemblage

La figure II.5 représente l'étape finale de la conception, qui consiste à assembler tous les éléments pour former l'outil de brunissage.

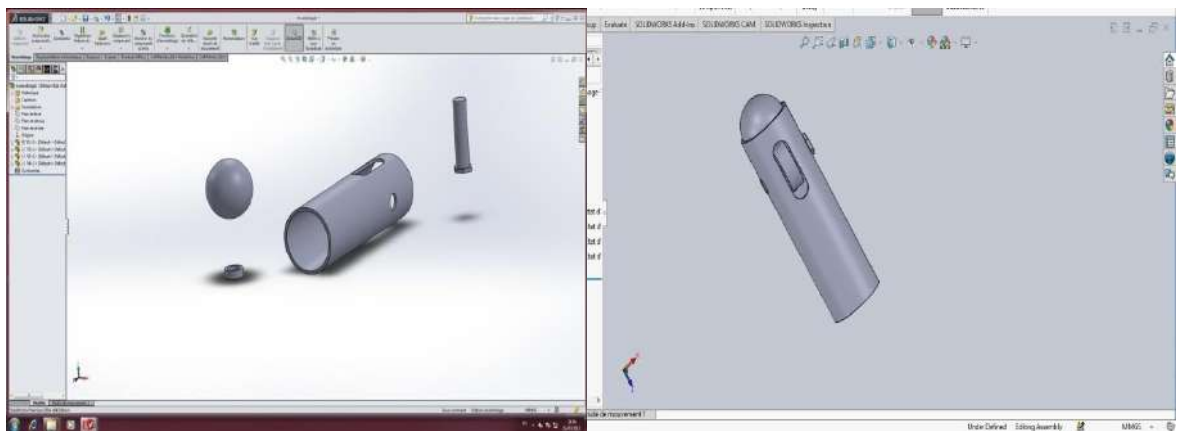


Figure II.6. Assemblage de l'outil

II.2. Fabrication d'un outil de brunissage

II .2.1 Matériau de l'outil

a) Roulement 6203

Le roulement 6203 est un type de roulement à billes très courant, utilisé dans de nombreuses applications industrielles et mécaniques en raison de sa polyvalence et de sa robustesse. Voici une description détaillée de ce roulement :

Caractéristiques Techniques du Roulement 6203

Dimensions :

Diamètre intérieur (d) : 17 mm

Diamètre extérieur (D) : 40 mm

Largeur (B) : 12 mm

Type :

Roulement à billes à une rangée : Ce type de roulement est conçu pour supporter des charges radiales et, dans une certaine mesure, des charges axiales dans les deux sens.

Matériaux :

Anneaux et billes : Généralement fabriqués en acier à roulement de haute qualité.

Cage : Peut-être en acier, en polymère ou en laiton, selon les spécifications du fabricant et les conditions d'application [18]



Figure II.7 Roulement 6203

B. Arbre cylindrique en acier C45

L'arbre cylindrique en acier C45 est un acier au carbone non allié couramment utilisé dans diverses applications industrielles en raison de ses bonnes propriétés mécaniques et de sa capacité à être durci par traitement thermique. Voici un aperçu détaillé de l'acier C45 [18]:

Composition Chimique

L'acier C45 se caractérise par la teneur suivante en éléments chimiques (les pourcentages peuvent varier légèrement selon les normes spécifiques) :

Tableau II.1. Composition chimique de l'acier utilisé

Carbone (C)	Manganèse (Mn)	Silicium (Si)	Phosphore (P)	Soufre (S)
0,42% à 0,50%	0,50% à 0,80%	≤ 0,40%	≤ 0,045%	≤ 0,045%

Propriétés Mécaniques

Les propriétés mécaniques de l'acier C45 peuvent être ajustées par traitement thermique (trempe et revenu) :

Tableau II.2. Composition Mécaniques del 'acier utilisé

Résistance à la traction	Limite d'élasticité	Allongement à la rupture	Dureté
600 - 800 MPa	340 - 520 MPa	14 - 18%	170 - 210 HB



Figure II.8. Arbre cylindrique en acier C45

C. Les billes de précision en acier dur

Les billes de précision en acier dur sont des billes métalliques utilisées dans une variété d'applications industrielles et commerciales où une précision et une fiabilité élevées sont nécessaires. Elles sont fabriquées à partir d'acier de haute qualité, généralement de l'acier chromé ou de l'acier inoxydable, et sont produites avec des tolérances très strictes pour assurer une uniformité de taille et de forme.

Diamètre 24



Figure II.9. Bille de précision en acier inoxydable dur

II.3. Opération de perçage

Après avoir choisi l'arbre avec des dimensions bien déterminées et réalisé les opérations de chariotage et de dressage sur le tour, nous avons effectué une opération de perçage sur une longueur de 5 cm afin de préparer le logement du roulement et de la bille figure II.10.



Figure II. 10. Opération de perçage

A. Opération de surfaçage

Pour assurer une bonne fixation de l'outil de brunissage dans le porte-outil, une opération de surfaçage sur la machine de fraisage est obligatoire, comme le montre la figure II.11.



Figure II.11. Opération de surfaçage sur la fraiseuse

B. Opération rainurage

Après l'opération de surfacage, une rainure de 4 cm de longueur est réalisée afin de placer le roulement et la bille, comme illustré dans la figure suivante.



Figure II.12. Opération de rainurage

C. Réalisation d'un trou

Pour fixer le roulement dans son logement, nous avons réalisé un trou de diamètre 10 mm à l'aide d'un foret sur une perceuse radiale, comme illustré dans la figure suivante



Figure II.13. Création d'un trou pour la fixation

D. Assemblage de l'outil de brunissage

La figure suivante montre un outil de brunissage après l'assemblage de tous les éléments. À cette dernière étape, nous pouvons désormais utiliser cet outil pour réaliser les opérations de brunissage.



Figure II.14. Outil de brunissage

E. Montage de l'outil de brunissage

La figure II.15 représente le montage de l'outil de brunissage dans le porte-outil d'un tour, ainsi qu'un premier essai de l'opération de brunissage



Figure II.15. Montage de l'outil de brunissage

II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé notre démarche pour fabriquer un outil de brunissage. Nous avons commencé par la conception avec SolidWorks, puis nous avons procédé à la fabrication en utilisant différentes opérations et machines telles que le tour, la fraiseuse et la perceuse. Le but est d'utiliser cet outil pour réaliser des essais et mesurer la dureté après les opérations de brunissage en fonction de différents paramètres de coupe.

Chapitre

III

Résultats et

Discussions

III. Introduction

Les L'interprétation des résultats est essentielle pour comprendre les causes et les conséquences des phénomènes physiques. Dans ce chapitre, nous présentons notre banc d'essais dans un premier temps, puis nous expliquons les résultats obtenus à partir des essais expérimentaux. Ces essais sont basés sur l'effet des paramètres tels que la vitesse de rotation, l'avance et la profondeur de passe sur la dureté de la surface après les opérations de brunissage.

III .1 Plan expérimental

Pour mener cette investigation nous avons a d'opter au plan expérimenta le suivant l'organigramme figure III.1.



Figure III.1. Organigramme expérimental

III .2Matériel utilisés

III .2.1 La pièce

Les échantillons utilisés dans ce travail sont en acier C45figuier III.2 , est un acier au carbonade qualité moyenne à haute dureté, qui est couramment utilisé dans la fabrication de pièces mécaniques, d'engrenages, de pièces d'usure, de pignons, d'arbres, de paliers, de boulons, de rivets, de clavettes, de ressorts et d'autres composants



Figurier III.2L'échantillon utilisé

III.2.2 Machin utilisée

La machine de tour Emco Maximat V13 est une machine à tour de précision produite par Emco, une entreprise autrichienne spécialisée dans la fabrication de machines-

outils.Elleestconçuepourêtrereutiliséedansdesateliersdefabricationetdescentresdeformati onpour usinerdes pièces en métal ou en plastique.

La machine de tour Emco Maximat V13 est équipée d'un moteur puissant de 0,9 kW(1,2 ch), d'un mandrin de 3 mors, d'un chariot transversal et longitudinal, d'un chariot porte-outil et d'une boîte de vitesses à changement rapide pour une sélection facile de la vitesse de coupe .Elle est également équipée d'indisponibilité définitive remboursera la surchauffe de la pièce à usiner et de l'outil de coupe

La machine à tour Emco Maximat V13 (Figure III.3) est capable d'usiner des pièces jusqu'à un diamètre de 140 mm et une longueur maximale de 400 mm. Elle peut être utilisée pour effectuer des opérations d'usinage tel que tournage, le perçage, le filetage...



Figure III.3 : Tour par allèle universel

III.2.3 Microduromètre portable utilisé

L'essai de dureté Leeb, également connu sous le nom d'essai de dureté de rebond, est une méthode utilisée pour mesurer la dureté des matériaux, en particulier des métaux. Ce test a été développé par Dietmar Leeb dans les années 1970 et est connu pour sa portabilité et sa facilité d'utilisation sur le terrain.



Figure III.4. Portable Leeb Hardness Tester TIME®5300 (TH110)

III.2.4. Mesure de la micro dureté

La figure suivante représente la méthodologie suivie pour mesurer la micro dureté après l'opération de brunissage en utilisant un testeur de dureté portable Leeb, et ce, en fonction des paramètres de coupe, sans démontage de la pièce.



Figure III.5. Méthode de mesure de la micro dureté

III.3 Résultats expérimentaux

Nous avons mené 27 essais expérimentaux de brunissage au cours de notre étude, en fonction des paramètres de coupe (N ; a_p ; f), dans l'atelier du département de génie mécanique de l'Université de Kasdi Merbah Ouargla. Pour ces essais, nous avons utilisé l'appareil Portable Leeb Hardness Tester TIME®5300 (TH110).

Le tableau suivant représente les résultats de la mesure de micro dureté surface en fonction des paramètres de coupe lors de l'opération de brunissage.

Tableau III.1: Résultats expérimentaux.

Essais	Paramètres de coupe			H(HL)
	N (tr/min)	f (mm/tr)	a_p (mm)	
1	440	0.045	0.1	381
2		0.157		620
3		0.225		657
4		0.045	0.2	647
5		0.157		647
6		0.225		648
7		0.045	0.3	676
8		0.157		645
9		0.225		634
10	900	0.045	0.1	432
11		0.157		649
12		0.225		648
13		0.045	0.2	661
14		0.157		666
15		0.225		652
16		0.045	0.3	628
17		0.157		650
18		0.225		649
19	1500	0.045	0.1	424
20		0.157		604
21		0.225		663
22		0.045	0.2	646
23		0.157		650
24		0.225		641
25		0.045	0.3	643
26		0.157		669
27		0.225		704

III.3.1. Variation de la micro dureté fonction de la profondeur de passe

Les courbes représentées dans les figures suivantes III.6, III.7 et III.8 montrent la variation de la micro dureté en fonction de la profondeur de passe (a_p) pour la vitesse de rotation (N), l'avance (f)

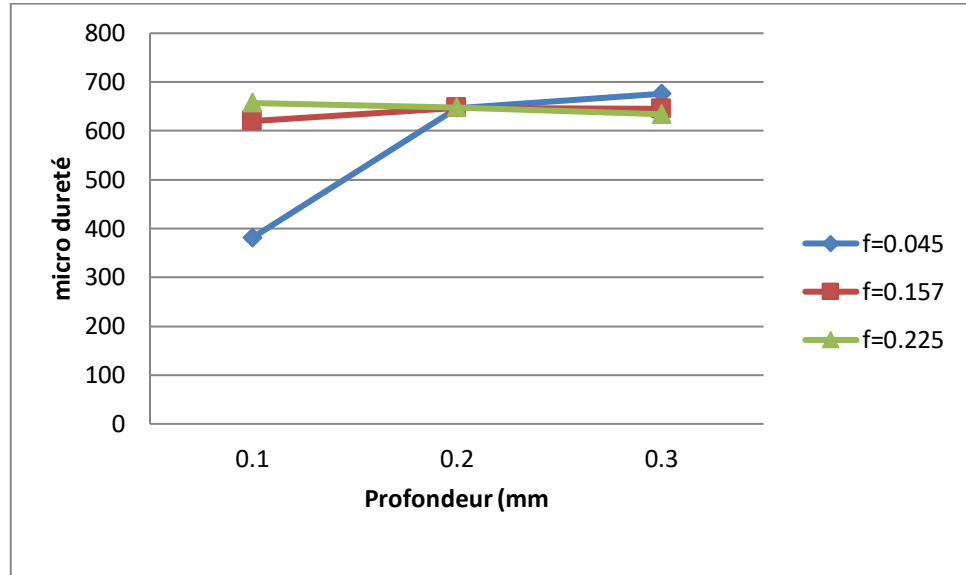


Figure III 6 : Variation de micro dureté en fonction de la profondeur de passe pour ($N= 440$ tr/min)

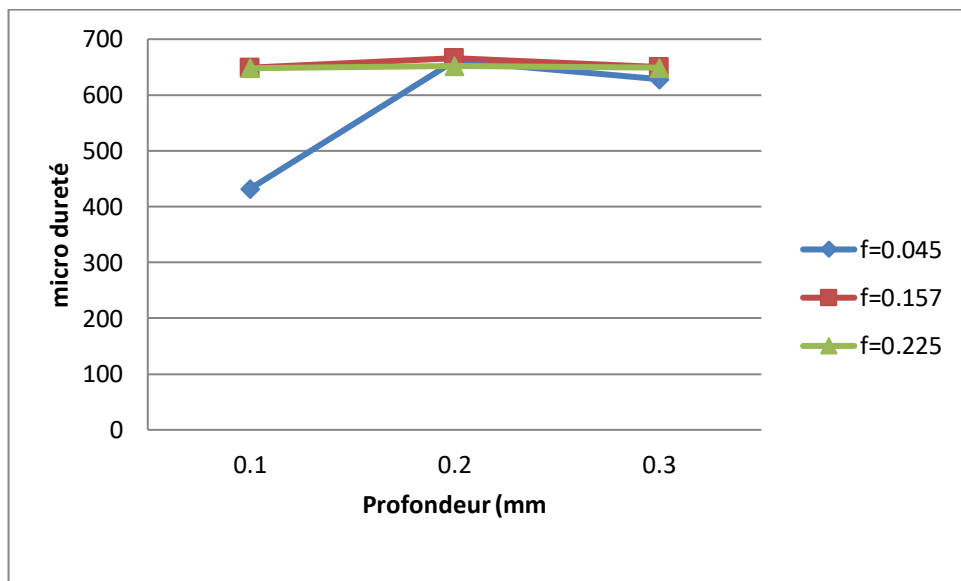


Figure.III.7 : Variation de micro dureté en fonction de la profondeur de passe pour ($N= 900$ tr/min)

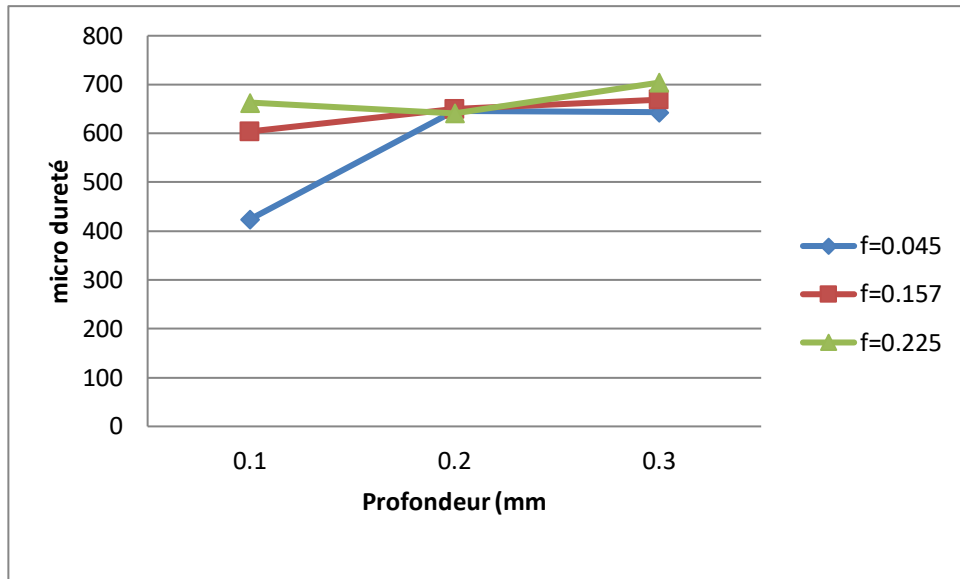


Figure.III.8 : Variation de micro dureté en fonction de la profondeur de passe pour
($N= 1500\text{tr/min}$)

La courbe des figures III.6, III.7 et III.8 montrent la variation de la micro dureté en fonction de la profondeur de passe pour ($N=440, 900, 1500 \text{ tr/min}$ et $f=0,045, 0,225$ et $0,157 \text{ mm/tr}$). Il est évident que la profondeur de passe à un effet direct sur la micro dureté de la pièce. Plus l'outil est en contact profond avec la pièce, plus la micro dureté est grande.

III.3.2. Variation de la micro dureté fonction de la vitesse de rotation

Les courbes représentées dans les figures suivantes III.9, III.10 et III.11 montrent la variation de la micro dureté en fonction de la vitesse de rotation (N), pour l'avance (f) et la profondeur de passe (a_p).

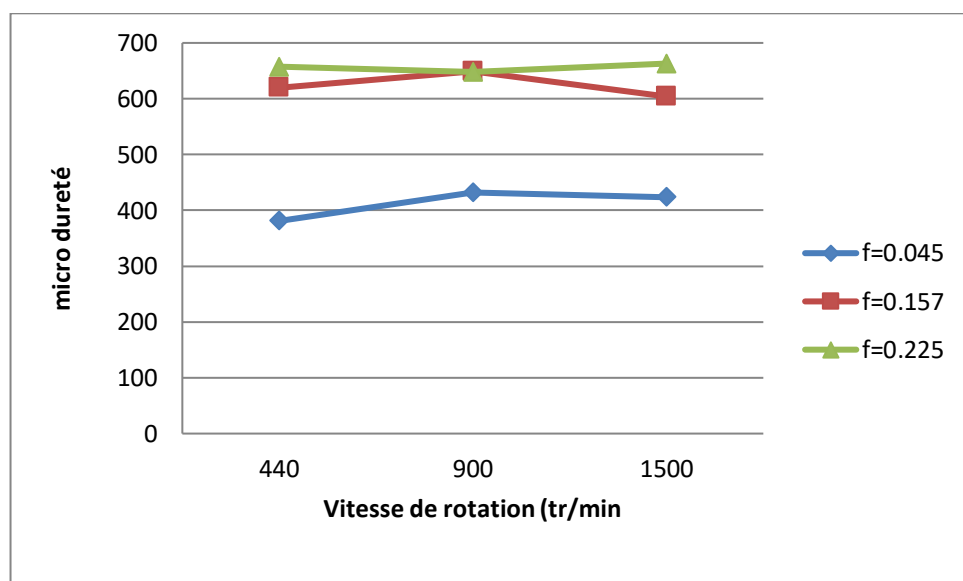


Figure .III.9 : Variation de la micro dureté fonction de la vitesse de rotation ($a_p = 0.1mm$)

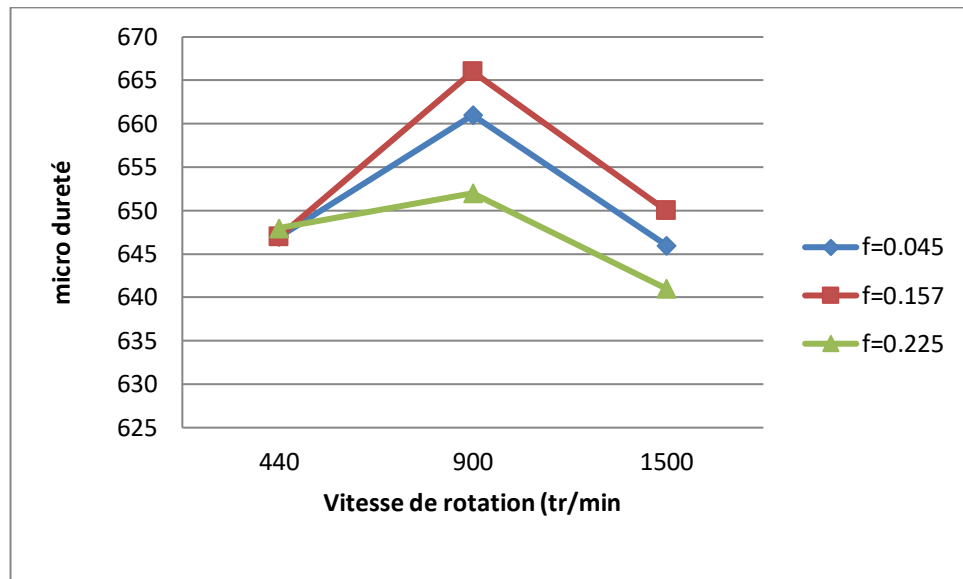


Figure. III .10 : Variation de micro dureté en fonction de la vitesse de rotation ($a_p = 0.2mm$)

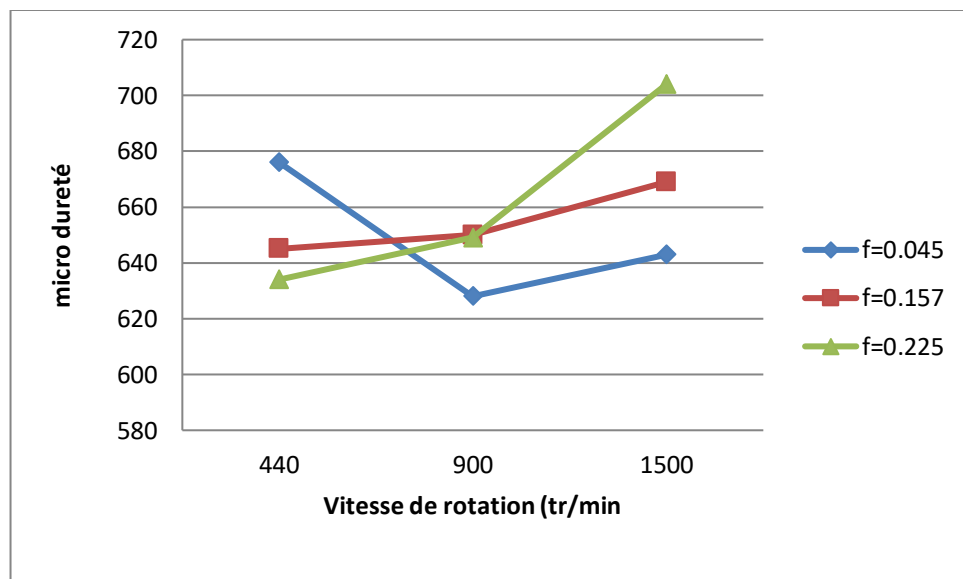


Figure.III.11 : Variation de la micro dureté en fonction de la vitesse de rotation ($a_p = 0.3mm$)

Une comparaison des courbes des trois figures III.9, III.10 et III.11, qui représentent l'effet de la variation de la vitesse de rotation sur la micro dureté des surfaces après le brunissage, montre que la vitesse de rotation a un effet sur la micro dureté de la pièce, mais elle est liée à l'évolution de la profondeur de passe. Nous pouvons conclure ici que plus la vitesse de rotation et la profondeur de passe sont élevées, plus la micro dureté de la pièce est importante.

III.3.3. Variation de la micro dureté fonction de nombre de passe

Les Figures. III.12.III.13. III.14). Représentent l'effet de nombre de passe sur la micro dureté de surfaces après les opérations de brunissage.

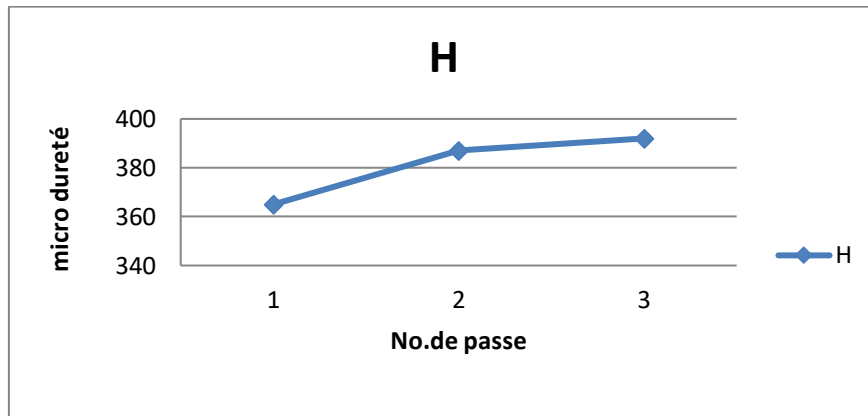


Figure .III.12.La micro dureté en fonction de nombre de passé ($ap=0.1$) ($N=440$)

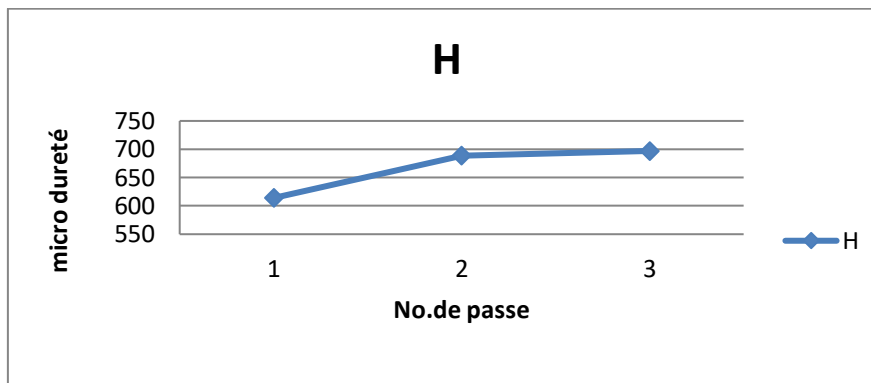


Figure.III.13.H en fonction de nombre de passé ($ap=0.2$) ($N=900$)

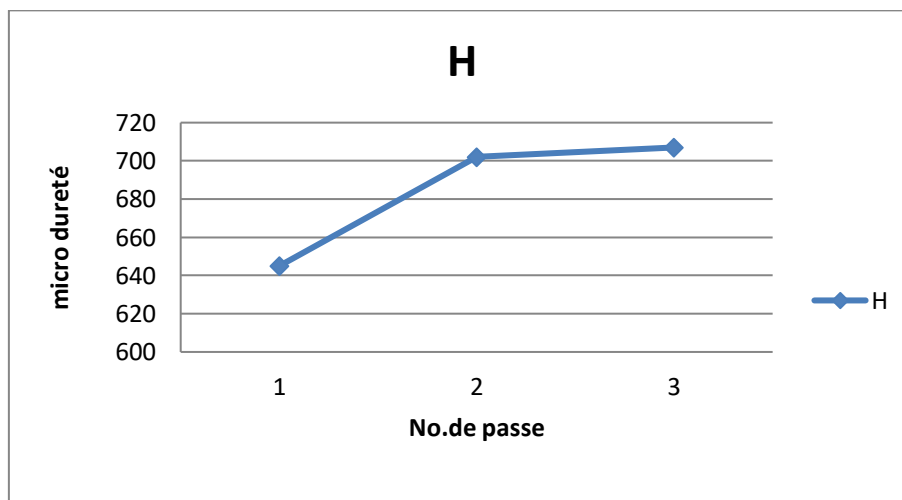


Figure.III.14.H en fonction de nombre de passé ($ap=0.3$) ($N=1500$)

Avec l'augmentation du nombre de passes, la dureté de surface augmente considérablement. L'augmentation de la dureté de la surface avec un plus grand nombre de passes est assez compréhensible en raison d'un durcissement excessif et par conséquent d'un écaillage des couches superficielles dû à des frottements plus répétés.

Conclusion Générale

Conclusion générale

En conclusion, Le brunissage est un processus d'amélioration de la surface des pièces métalliques qui entraîne une augmentation de la dureté superficielle, une amélioration de la résistance à l'usure et à la fatigue, ainsi qu'une réduction de la rugosité.

L'effet des paramètres de coupe, tels que la vitesse de rotation, l'avance et la profondeur de passe, sur la micro dureté après le brunissage est significatif.

Une augmentation de ces paramètres peut conduire à une augmentation de la dureté de la surface, mais il est important de contrôler ces paramètres pour éviter un durcissement excessif et des effets néfastes tels que l'érouissage.

Le nombre de passes lors du brunissage a un impact significatif sur la micro dureté de la surface. En général, on observe que plus le nombre de passes n'est élevé, plus la micro dureté de la surface n'augmente. Cela est dû à l'accumulation de déformations plastiques successives, ce qui entraîne un durcissement progressif de la surface. Cependant, il est important de noter qu'il existe un point de saturation où l'augmentation du nombre de passes n'entraîne plus une augmentation significative de la micro dureté, car le matériau atteint un état de durcissement maximal. Par conséquent, il est essentiel de trouver un équilibre entre le nombre de passes et les autres paramètres de coupe pour obtenir les meilleures performances en termes de micro dureté et de résistance de la surface.

Ainsi, pour obtenir les meilleurs résultats en termes de dureté et de résistance, il est déterminant de comprendre et de contrôler les paramètres de coupe lors du brunissage.

Bibliographie

- [1] **Mourad Abdelkrim**, Détermination De La Densité De Chaleur A L'interface PièceOutil :ApplicationAu Tournage, ThèseDeDoctorat, UniversitéDe Batna, 2017
- [2] **Reference Internet** :[Http://https://www.tebis.com/fr](http://https://www.tebis.com/fr)
- [3] **Arbaoui Mohamed et al** ,Surveillance DeLa Température DeCoupe PendantLeTournageDeL'acierAisi1060EnUtilisantLaLogiqueFloue,MémoireDeMasterU niversitéKasdi MerbahOuargla, 2017
- [4] **Référence Internet** <https://www.metallerie-chaudronnerie.com/restauration-ouvrages-métalliques>
- [5] **Dr. Kamel AOUES**, CoursProcédésdefabricationpar enlèvementdematière'USINAGE'',l'UniversitéMohamed KhiderBiskra,2018
- [6] Le manuel "Manufacturing Processes for Engineering Materials" de Serope Kalpakjian et Steven Schmid propose une couverture approfondie des techniques de rectification et d'autres processus de fabrication de précision
- [7] "**Manufacturing Processes for Engineering Materials**" par Serope Kalpakjian et Steven Schmid
- [8] **A. Passeron**, **Tournage Techniques De L'ingénieur**, Traite Génie Mécanique, Bm7086, P27
- [9] **Chakir Sara Et Liadi Karima**, ModélisationEtSimulationDesMécanismeAuxInterfaces Pièce-Outil-CopauxDeL'acierXc48, MémoireMaster, UniversitéBlida, 2016
- [10] **Malek HABAK**, Étude de l'influence de la microstructure et des paramètres de coupe sur le Comportement en tournage de l'acier a roulement 100cr6. Thèse de Mécanique etMatériaux.ENSAM, (décembre2006), P 191, paris
- [11] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Dureté_\(matériau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dureté_(matériau))
- [12] **Rocdacier**, Essaidedureté–Brinell–Vickers–Rockwell, 2017
- [13] www.someco.fr, contrôle dedureté, principedebase
- [14] <https://www.struers.com/fr-FR/Knowledge/Hardness-testing#>
- [15] "A Review on Ball Burnishing Process" par M. K. Pradhan et al. (Disponible sur ResearchGate)

- [16] Guo, Y.B., Xie, Z., 2010. "Study on the influence of burnishing parameters on surface roughness and residual stress." *Journal of Materials Processing Technology*, 210(8), pp.1079-1084
- [17] Goyal, A., Sharma, V.S., 2015. "Optimization of burnishing parameters for surface roughness and hardness of AISI 304 stainless steel." *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 37(2), pp.641-651
- [18] SolidWorks Official Website: <https://www.solidworks.com> - Le site officiel de SolidWorks propose une mine d'informations sur le logiciel, y compris des tutoriels, des ressources de formation, des cas d'utilisation et des démonstrations de produits
- [19] "Handbook of Microhardness Measurement" par K. S. E. Forsey et P. A. Smith
- [20] "**Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics**" édité par Joseph R. Davis. Ce livre traite des différents procédés de durcissement de surface, y compris le brunissage, et leurs applications industrielles.
- [21] "**A Review of Surface Roughness Measurement in Machining Processes**" par Hitendra Kumar et al. (2018):

ملخص

تلعب عملية التنعيم دورًا حيويًا في تحسين خصائص السطح للأجزاء المعدنية. الهدف من هذا العمل هو قياس الصلابة الدقيقة بعد عملية التنعيم بناءً على شروط القطع (سرعة الدوران، معدل التغذية، عمق القطع) وعدد التمريبات. تتضمن الخطوة الأولى تصميم وتصنيع أداة تنعيم محددة. تُظهر النتائج أن هذه العوامل تؤثر بشكل كبير على الصلابة. يؤدي العدد الكبير من التمريبات ومعايير القطع المثلى إلى زيادة ملحوظة في الصلابة الدقيقة، مما يعزز مقاومة التآكل والإجهاد للأجزاء. من خلال تحسين هذه المعايير، تمكن عملية التنعيم من الحصول على أسطح ذات جودة ومتانة أفضل، وهو أمر ضروري للعديد من التطبيقات الصناعي

الكلمات المفتاحية: التنعيم: شروط القطع: الصلابة

Résumé

L'opération de brunissage joue un rôle important dans l'amélioration des propriétés de surface des pièces métalliques. L'objectif de ce travail est de mesurer la microdureté après le brunissage en fonction des paramètres de coupe (vitesse de rotation, avance, profondeur de passe) et du nombre de passes. La première étape consiste à concevoir et fabriquer un outil de brunissage spécifique. Les résultats montrent que ces facteurs influencent significativement la dureté. Un nombre de passes élevé et des paramètres de coupe optimisés conduisent à une augmentation notable de la microdureté, améliorant ainsi la résistance à l'usure et à la fatigue des pièces. Le brunissage, en optimisant ces paramètres, permet d'obtenir des surfaces de meilleure qualité et durabilité, essentielles pour de nombreuses applications industrielles.

Mots clés : Brunissage : Paramètres de coupe : Microdureté

Abstract

The burnishing operation plays a crucial role in improving the surface properties of metal parts. The objective of this work is to measure the microhardness after burnishing, based on cutting parameters (rotation speed, feed rate, depth of cut) and the number of passes. The first step involves designing and manufacturing a specific burnishing tool. The results show that these factors significantly influence hardness. A high number of passes and optimized cutting parameters lead to a notable increase in microhardness, thereby enhancing the wear and fatigue resistance of the parts. By optimizing these parameters, burnishing achieves surfaces of better quality and durability, essential for many industrial applications

Keywords: Burnishing : cutting parameters: Microhardness