



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présentée pour l'obtention du diplôme de MASTER

**TECHNIQUE DE GALETAGE - CONCEPTS ET
APPLICATIONS -**

Option

Fabrication mécanique et productique

Présenté par :

Touahri mohammed

Saggar nacereddine

Devant le jury

Pr. Bouakba mustapha	Pr	Président	UKM Ouargla
Mr.Hasini adel	MAA	Examineur	UKM Ouargla
Dr. Kheireddine abdelaziz	MCB	Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire 2020 - 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier vivement :

- Monsieur **Kheireddine Abdelaziz** Qui a su nous aider dans ce travail, et ne nous a épargné aucune information, et il était toujours à cœur ouvert.

- Que tous les collègues et amis qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail et à en faire de celui-ci un plaisir, retrouvent ici

l'expression de ma

parfaite considération et ma gratitude la plus sincère.

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A la mémoire de mon père.

A ma chère mère.

A mes soeurs et mon frère qui m'ont encouragé et soutenu moralement.

A mes amis.

A tous les enseignants et personnels des Départements de Génie Mécanique de

l'Université kasdi merbah ouargla

Résumé

Le galetage consiste à lisser sans enlèvement de copeaux et à compacter des surfaces métalliques par des éléments de laminage. Pour comprendre le déroulement du processus de finition et pouvoir profiter de tous ses avantages, il est utile d'avoir des connaissances de base sur les critères requis, les conséquences et les possibilités.

Le travail proposé est destiné à d'examiner et mettre en évidence les divers techniques et modes du processus de galetage ainsi que les transformations structurales et modification des caractéristiques qui les accompagnent. en basant sur des dizaines résultats des travaux de recherches publiés, afin de faciliter et raccourcir la recherche sur ce procédé de fabrication.

Mots clés: Déformation plastique; Traitement de surface, Galetage, Dureté, Rugosité, Résistance à la fatigue, Résistance à l'usure.

Abstract

Roller burnishing consists of smoothing without removing chips and compacting metal surfaces by rolling elements. To understand the flow of the finishing process and to be able to benefit from all its advantages, it is useful to have a basic knowledge of the required criteria, the consequences and the possibilities.

The proposed work is intended to examine and highlight the various techniques and modes of the roller burnishing process as well as the structural transformations and modification of the characteristics that accompany them. based on dozens of published research results, in order to facilitate and shorten research on this manufacturing process.

Keywords: Plastic deformation; Surface treatment, Burnishing, Hardness, Roughness, Fatigue resistance, Wear resistance.

الملخص:

تهدف عملية التلميع إلى تحسين حالة الأسطح المعدنية و صقلها دون نزع رقائق المادة بواسطة عناصر الدرفلة. و لأجل فهم سيرورة هذه العملية النهائية مع إمكانية الاستفادة من كل مزاياها الإيجابية، يتحتم علينا معرفة المبادئ الأولية التي يعتمد عليها هذا النمط و المكاسب و النتائج المرجوة من وراء استخدامه.

يهدف هذا العمل المقترح إلى فحص وإبراز التقنيات والأنماط المختلفة لعملية تلميع الأسطوانة بالإضافة إلى التحولات الهيكلية وتعديل الخصائص المصاحبة لها. اعتمادا على عشرات نتائج الأبحاث المنشورة ، و ذلك من أجل تسهيل وتقصير البحث في عملية التصنيع هذه.

الكلمات المفتاحية: التشوه . المعالجة السطحية، التلميع، الصلابة ، الخشونة ، مقاومة التعب ، مقاومة التآكل.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1	ébavurage	5
Figure I.2	brunissage	6
Figure I.3	galetage	6
Figure I.4	grenailage	7
Figure I.5	polissage	7
Figure I.6	Courbe contrainte-déformation	10

CHAPITRE II

Figure II.1	Schéma du principe du procédé de galetage	16
Figure II.2	Principe du galetage	16
Figure II.3	Principe de fonctionnement du galetage.	17
Figure II.4	Procédé de galetage	
Figure II.5	Schéma de principe du procédé de galetage	20
Figure.II.6	Outil du galetage commercialisé par la firme COGSDILL TOOL: partie active, b) corps de l'outil.	20
Figure.II.7	Différents types de galetage avec : n- rotation du galet ; F- force appliquée et a mouvement d'avance du galet	21
Figure.II.8	Outils Roll-a-Finish	23
Figure.II.9	Galeteur Marteleur	24
Figure.II.10	Outils Speciaux	24
Figure.II.11	Machine à galeter extérieure	25
Figure.II.12	Brunissoir Diamanté	26
Figure.II.13	Brunissoir Universal TM	26
Figure.II.14	KB procédé de galetage-moletage	27

CHAPITRE III

Figure.III.1	Effet du galetage sur : a) profil de distribution des contraintes	30
--------------	---	----

	résiduelles induites après galetage (RB) et grenailage (SP) et b)	
	longueur de propagation de la fissure après galetage (RB)	
Figure.III.2	Evolution des contraintes résiduelles en fonction de différents procédés de fabrication.	31
Figure.III.3	Influence des paramètres conventionnels du « Slide Burnishing » sur la rugosité (J. T. Maximov, Anchev, Duncheva, et al., 2017)	32
Figure.III.4	Schéma représentatif de l'influence des paramètres additionnels du SB sur la rugosité de surface	33
Figure.III.5	Etude de l'influence des paramètres conventionnels du SB sur la rugosité de surface par MEF : (a) r=2 mm, (b) r=3 mm, (c) r=4 mm, (d) r=5 mm (J. T. Maximov, Anchev, Dunchev, et al., 2017)	34
Figure.III.6	Pourcentage d'augmentation de la dureté de surface	35
Figure.III.7	Profil comparatif de défaut de circularité par : a) galetage électrochimique DC = 12,14 µm et b) galegtage électrochimique et galetage	35
Figure.III.8	Evolution de l'usure d'un arbre galeté et un autre trempé et rectifié en fonction des kilomètres parcourus	36
Figure.III.9	Relation entre le pourcentage de perte de masse avec le temps d'immersion dans une solution solide (0,5N HCL)	38
Figure.III.10	Courbes contraintes-nombre de cycles en flexion rotative	38
Figure.III.11	Optimisation des paramètres conventionnels du SB sur la durée de vie: (a) influence sur la durée de vie (b) influence sur la rugosité (d'après (J. T. Maximov, Anchev, Dunchev, et al., 2017)).	39

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III

Tableau III.1	Amélioration de la tenue à la fatigue-corrosion par le galetage	37
----------------------	---	----

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE	II
Résumé	III
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
TABLES DES MATIERES	VIII
INTRODUCTION GENERALE	1

Chapitre I Traitement de surface

I.1.Introduction.....	5
I.2.definition.....	5
I.3.surface d'un solide	9
I.4.Propriétés mécaniques des métaux	10
I.4.1 Elasticité et plasticité	10
I.4.2.Résistance mécanique	11
I.4.3.Rigidité.....	11
I.4.4.Ductilité.....	11
I.4.5.Ténacité.....	112
I.4.6.Dureté.....	112
I.4.7.Résistance à la fatigue.....	12
I.5.Conclusion	12

Chapitre II Le Galetage

II.1.introduction.....	15
II.2.definition.....	15
II.3.Présentation du procédé.....	17
II.4.Différents types de galetage	20
II.5.Avantages du galetage :	21
II.6.Outil De Galetage	22
II.6.1.Outils Roll-a-Finish	22
II.6.2.Galetageur Marteleur.....	23
II.6.3.Outils Speciaux.....	23
II.6.4.Machine à galetage extérieure.....	24

II.6.5.Brunissoir Diamanté	24
II.6.6.Brunissoir UniversalTM	24
II.6.7.KB procédé de galetage-moletage	26
II.7. Conclusion	25

Chapitre III Resultats de quelques travaux1

III.1.Introduction	Erreur ! Signet non défini.
III.2.Effet du galetage sur les contraintes résiduelles induites	Erreur ! Signet non défini.
III.3.Effet du galetage sur la rugosité de surface.....	Erreur ! Signet non défini.
III.4.Effet du galetage sur la dureté.....	Erreur ! Signet non défini.
III.5.Effet du galetage sur la précision dimensionnelle et géométrique.....	Erreur ! Signet non défini.
III.6.Effet du galetage sur l'usure.....	Erreur ! Signet non défini.
III.7.Effet du galetage sur la corrosion.....	Erreur ! Signet non défini.
III.8.Effet du galetage sur la tenue à la Fatigue	Erreur ! Signet non défini.
III.8.Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
CONCLUSION GENERALE	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le traitement de surface est l'un des outils qui sont utilisés pour améliorer quelques caractéristiques mécaniques et géométrique des pièces, en raison de sa simplicité, sa facilité d'utilisation, son faible coût et ses résultats impressionnants.

A cet effet, de nombreux travaux de recherches intéressées par ce sujet ont obtenues des bons résultats concernant l'amélioration des caractéristiques étudiées à partir de nombreuses expériences appliquées.

Ce travail vise à mettre en évidence les aspects de traitement de surface par le galetage, et d'examiner ses divers techniques et modes, ainsi de grouper et de catégoriser des dizaines de recherches à travers leur participation et leur intérêt à étudier les différents effets et améliorations sur les propriétés mécaniques, ainsi la qualité de surface et la précision dimensionnelle, ceci contribue à faciliter le processus de recherche dans ce domaine.

Dans ce but, notre travail est organisé comme suit:

- Un premier chapitre, traite de brefs rappels bibliographiques concernant le sujet de traitement de surface,
- Un deuxième chapitre présente une aperçue générale sur le processus de galetage avec son principe de procéder ainsi ses différents modes d'application,
- Dans le troisième chapitre, on présente les résultats des dizaines de travaux de recherche au sujet de traitement de surface par galetage d'une manière ordonnée et classée selon leurs effets sur les différentes propriétés mécaniques.
- En fin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Chapitre I

Traitement de surface

I.1.Introduction

Les traitements mécaniques de surface sont des procédés qui permettent d'améliorer les caractéristiques géométriques et mécaniques des matériaux par une action combinée de durcissement superficiel, de modification structurale et d'introduction de contraintes résiduelles de compression grâce à une déformation plastique hétérogène à la surface des pièces mécaniques [1]. Le principe de base de ces procédés est la mise en application d'une pression à la surface d'un matériau pour provoquer une déformation plastique par un outil (ex: rouleau ou galet). La déformation plastique n'est pas homogène sur la profondeur de la pièce à partir de la surface traitée. Ce type de traitements génère des contraintes résiduelles de compression qui sont souvent favorables pour la résistance à la fatigue et à la corrosion [2].

I.2.Définition.

Un traitement de surface (TTS) est une opération mécanique, chimique, électrochimique ou physique et en enlèvement le matériau ou sans qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation et certains de ces processus sont les suivants[3] :

-Ébavurage

Une bavure est un bord surélevé ou un petit morceau de matériau qui reste attaché à une pièce après un processus de modification. [1]



Figure I.1 ébavurage

-Brunissage

L'opération est réalisée avec un brunissoir, outil qui permet d'exercer une pression sur les crêtes de la surface, ce qui a pour conséquence de créer une déformation plastique de la matière pour boucher les creux, au fur et à mesure de la progression de l'outil.[2].



Figure I.2 brunissage

- Galetage

Le galetage est un procédé de finition par formage à froid, Dans le deuxième chapitre, nous en discuterons en détail.



Figure I.3 galetage

-Grenailage

Le grenailage est une technique consistant à projeter, à l'aide d'une grenailleuse, des microbilles sur la surface d'un objet pour en modifier la structure superficielle.



Figure I.4 grenailage

-Polissage

Le polissage est une composante du parachèvement (ou finition) des pièces en tout matériau (métalliques, plastiques, bois...) visant à obtenir un bel aspect, un fini ou un état de surface de haute qualité.



Figure I.5 polissage

» Ce qui nous importe dans cette mémoire , c'est le traitement mécanique, donc

Le traitement mécanique de surface consiste à bonifier les caractéristiques mécaniques tribologiques : usures, pénétration, etc., et la tenue à la corrosion des matériaux, par déformation plastique des couches superficielles. Les propriétés des couches superficielles résultent donc de l'intervention simultanée, et à des degrés divers, selon les cas, des caractéristiques géométriques (macro et microgéométrie, rugosité, etc.), des caractéristiques physique et chimiques (constitution et structure métallurgiques, etc.), des caractéristiques mécaniques propres (limite d'élasticité, coefficient d'érouissage, résistance à la rupture, dureté, etc.) et de l'état des contraintes résiduelles. [4].

Lors de l'application des traitements mécaniques, les couches superficielles des pièces sont déformées plastiquement par une action mécanique [5]. En fonction de la nature des matériaux et du type de procédé utilisé, plusieurs effets peuvent être observés :

- 1 » Erouissage (accroissement de la dureté) [6].
- 2 » Amélioration de la rugosité, de la portance [7]
- 3 » Création de contraintes résiduelles de compression (mise en précontrainte) [6]

Les traitements mécaniques s'appliquent à la majorité des matériaux métalliques tels les aciers ordinaires, les aciers inoxydables, les alliages de titane, d'aluminium et d'autres. Les transformations superficielles apportées, peuvent selon la nature des matériaux (structure, dureté), atteindre des profondeurs allant de plusieurs dixièmes jusqu'à plusieurs millimètres[8]. Ces couches traitées sont utilisées pour :

- 1 » Améliorer les résistances (à la rupture, aux déformations élastique et plastique, etc.).
- 2 » Accroître la tenue aux fatigues et à l'usure (fatigues mécanique, de contact, de corrosion, etc., fretting corrosion, fretting fatigue, et usures abrasive, adhésive, etc.).
- 3 » Accroître la tenue à la corrosion [9].
- 4 » Améliorer les propriétés de frottement (lubrification, coefficient de frottement, état de surface ou rugosité). [9]

» L'influence des traitements sur les propriétés mécaniques dépend du gradient des contraintes résiduelles et des profondeurs affectées. En général, ces profondeurs sont d'autant plus faibles, que les contraintes maximales de compression sont d'autant plus élevées, et par conséquent les substrats sont des matériaux à hautes caractéristiques mécaniques (dureté, résistance à la rupture, tenue à la fatigue). On peut noter à titre d'exemple que l'amélioration à la tenue à la fatigue peut être favorisée par l'introduction des contraintes résiduelles pour les matériaux à hautes caractéristiques mécaniques, alors que l'accroissement de la dureté intéresse que les matériaux à faibles caractéristiques mécaniques. [9].

I.3. Surface d'un solide

La surface d'un solide est une région s'étendant sur quelques distances atomiques qui sépare l'intérieur du matériau du milieu extérieur : en général, le vide ou un gaz. Les propriétés physiques et chimiques, structurales et électroniques des surfaces diffèrent notablement de celles du matériau massif : elles évoluent plus ou moins rapidement vers celles du volume, lorsqu'on s'éloigne de la surface vers l'intérieur du matériau. La tenue mécanique d'une surface est un paramètre très important non seulement lorsque la surface elle-même est soumise à des sollicitations mécaniques (frottement, usure), mais également si l'on considère que la plupart des ruptures (rupture fragile, rupture par fatigue, rupture par corrosion sous contrainte) trouvent leur origine dans des phénomènes superficiels. Les opérations de mise en forme ou de mise à la côte d'une pièce mécanique jouent un rôle déterminant sur la nature des couches superficielles [10]. Ainsi, par exemple, peut-on s'attendre à des variations importantes de la composition, de la structure, des contraintes résiduelles..., d'un acier, selon que les moyens de finition utilisent la coupe, la déformation, l'électroérosion

»Le traitement de surface dépend principalement du phénomène d'écrouissage. L'écrouissage des matériaux cristallins s'explique par l'immobilisation progressive des dislocations et va jusqu'à leur blocage complet. En effet, pour qu'il y ait déformation plastique, il faut des dislocations. L'écrouissage d'un métal correspond aux modifications qu'il subit lorsque les contraintes qui lui sont appliquées sont suffisamment fortes pour provoquer des déformations plastiques permanentes. Suivant les métaux considérés les propriétés mécaniques peuvent évoluer vers une augmentation de la résistance (cas des aciers alliés) jusqu'à un certain point (seuil de rupture) ou à l'inverse vers sa diminution (cas des aciers peu alliés). [11]

L'écroutissage ne se produit que sur les matériaux ductiles et dans le domaine plastique. L'écroutissage entraîne une augmentation de la limite d'élasticité et de la dureté, il est caractérisé par un coefficient d'écroutissage ou de consolidation.[12]

I.4 Propriétés mécaniques des métaux

I.4.1 Elasticité et plasticité

L'une des propriétés principale de l'état métallique est l'aptitude à la déformation sous l'effet d'une contrainte. la déformation résultante peut être élastique, c'est-à-dire qu'elle se résorbe si la contrainte cesse d'être appliquée (la zone OA) voir (figI.1.6), ou plastique, dans le cas où le solide conserve une déformation permanente après que la sollicitation mécanique est été supprimée (la zone AB) voir (Figure I.6). [13]

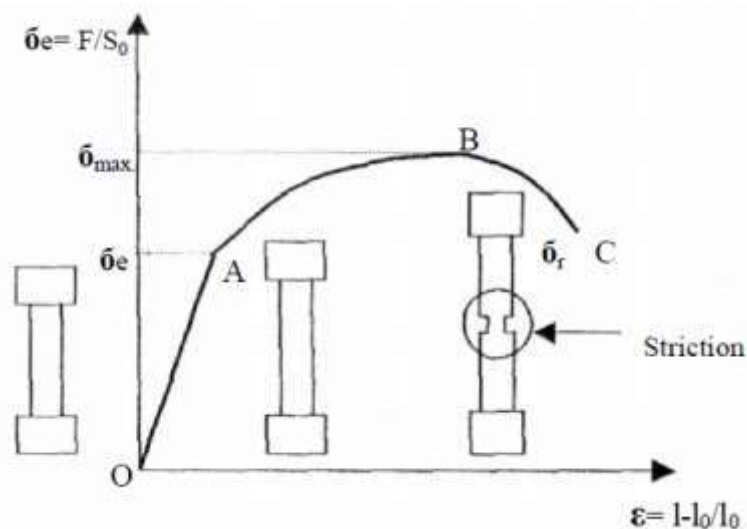


Figure I.6: Courbe contrainte-déformation [13]

L'élasticité est la faculté que possède le métal de pouvoir subir une déformation qui cesse après suppression de l'effort qui la provoque, quand un échantillon de métal est soumis à un effort relativement faible, il ne subit que des déformations élastiques. La position moyenne des atomes n'est que légèrement modifiée. La plasticité du métal revêt deux aspects principaux : - malléabilité : possibilité de réduire le métal en feuille plus ou moins mince. - ductilité : faculté de pouvoir étirer le métal en fils sans le rompre.

I.4.2. Résistance mécanique

C'est la capacité d'une structure de résister aux efforts mécaniques extérieurs [14], le plus souvent cette grandeur est caractérisée par la résistance à la rupture « σ_r » mesurée à la suite d'un essai de traction, c'est la grandeur la plus utilisée pour la majorité des pièces soumises à un chargement statique. [14].

I.4.3. Rigidité

Intervalle de la déformation élastique réversible d'une structure atomique. Cette propriété est liée aux forces inter atomiques dues à la variation de distance entre les atomes [16]. Elle est caractérisée par le module longitudinal de Young où la loi de HOOK est valable. Elle est mesurée suite à un essai de traction [15].

I.4.4. Ductilité

C'est le domaine de déformation permanente irréversible d'une structure, souvent désigné sous le nom de domaine plastique, cette plasticité est due au glissement irréversible entre les plans Cristallographiques du matériau, un matériau ductile peut être étiré ou allongé sans se rompre.[16].

I.4.5. Ténacité

Elle représente la capacité globale du matériau à absorber l'énergie d'une déformation, et caractérise sa résistance à la propagation brutale de la fissure. Cette propriété est quantifiée par la mesure de la résilience [17].

I.4.6. Dureté

L'essai de dureté sert à caractériser la résistance à la déformation plastique d'un matériau non fragile à l'aide d'un essai simple et rapide. La dureté est définie comme la résistance opposée par l'éprouvette à la pénétration d'un corps plus dur.

Comme la géométrie de l'écoulement plastique lors d'un essai de dureté est complexe, l'essai de dureté n'est pas considéré comme une analyse du comportement mécanique d'un matériau au même titre que l'essai de traction. L'essai de dureté ne fournit qu'une seule valeur.

En revanche, 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 suffit. En résumé, c'est un essai bon marché et souvent employé pour des essais comparatifs de séries d'éprouvettes et

pour examiner les effets des divers traitements thermiques, thermomécaniques ou thermochimiques. De nouvelles techniques ont élargi le champ d'application de l'essai de dureté. Ainsi les fabricants proposent maintenant des appareils permettant de mesurer quelques caractéristiques supplémentaires (Module Young, Module de Coulomb, Coefficient de Poisson, Viscosité, Forces d'adhésion (entre la pointe et le substrat) ou encore ténacité et énergie de rupture, etc.) à partir de l'enregistrement de la courbe force-déplacement [18].

I.4.7.Résistance à la fatigue

Elle caractérise la résistance à une sollicitation cyclique, type traction compression ou autre, elle est caractérisée par la limite d'endurance qui est mesurée par les courbes de Wöhler [19].

I.5.Conclusion

Le premier chapitre du mémorandum comprend ce qui est lié au traitement de surface en général, qu'il soit mécanique, chimique ou autre ...

Nous avons également parlé des propriétés mécaniques des pièces, en nous appuyant sur celles de nombreuses références.

Chapitre II

Le Galetage

II.1.introduction

Le but de ce chapitre est de donner un aperçu des connaissances connexes galetage au rouleau. Nous traitons de manière précise tout ce qui touche au sujet, tant l'aspect mécanique que le principe de travail. Nous parlons aussi des types de ce procédé et de ses différentes utilisations, et nous parlons également de l'outil de coupe (ses caractéristiques, types, utilisations ...).

II.2.Définition

Le galetage est une opération de finition et de traitement de surface au cours duquel un outil très rigide (rouleaux ou billes très lisses) est pressé contre la surface de la pièce et roule sur celle-ci dans le but de générer une meilleure intégrité de surface à travers des déformations plastiques localisées la figure II.1 présente le principe de galetage. Dans la zone A, l'effort de compression de la bille (le galet) génère une contrainte, qui déforme élastiquement le matériau. Lorsque la limite élastique est atteinte, le matériau se déforme de façon irréversible (zone B). La hauteur D donne l'amplitude de la déformation totale (élastique et plastique). Dans la zone C, la pression de contact diminue, ce qui engendre donc la décharge du matériau jusqu'à annulation de la déformation élastique. La cote E donne l'amplitude du retour élastique. Sur une faible épaisseur, le volume adjacent à la surface du matériau est déformé plastiquement, ce qui a pour conséquence directe une modification d'ordre dimensionnel. Du fait de la localisation de la déformation sur la couche superficielle, des contraintes résiduelles de compression sont générées. Pour la plupart des matériaux, cette déformation génère de l'écrouissage qui se caractérise par l'augmentation de la dureté superficielle. En observant plus particulièrement la zone déformée, il apparaît que les pics de rugosité sont déformés et viennent ainsi combler une partie des creux. Ce procédé est donc utilisé pour améliorer l'état de surface et les tolérances, augmenter la dureté de la surface et induire des contraintes résiduelles de compression afin d'optimiser la durée de vie en fatigue, la résistance à la corrosion et ainsi qu'à l'usure.[20]

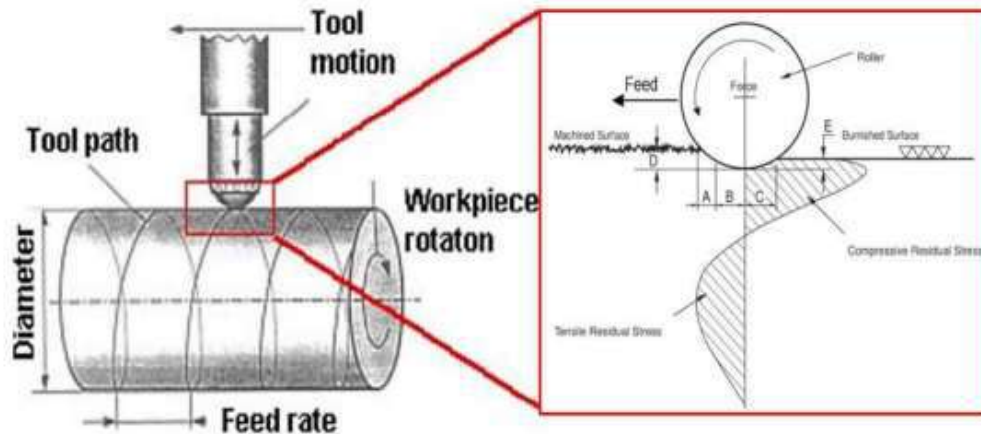


Figure II.1 : Schéma du principe de galetage

- Le galetage est une opération de finition mettant en contact des galets en acier traité poli et une pièce d'une dureté inférieure comme indiqué sur la figure II.2. La surface obtenue par galetage est plus fine et présente une meilleure résistance à l'usure que celle obtenue par abrasion. Le galetage travaille par déplacement de la matière plutôt que par enlèvement [21], il oblige, sous l'application d'une force orthogonale, les crêtes d'une rugosité de surface qui a subi un usinage antérieur (tournage, fraisage) à fluer dans les creux figure I.14, il s'applique sur des pièces métalliques qui ont un allongement $A > 6\%$.

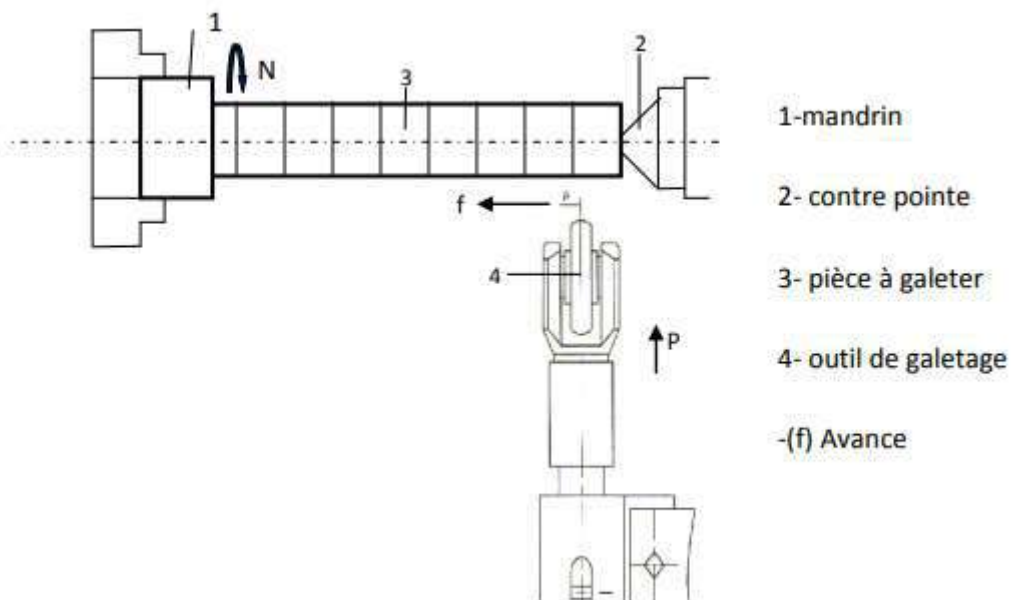


Figure II.2. fonction du galetage.

-Le galetage constitue un traitement de mise en œuvre à froid, il déforme plastiquement les couches superficielles d'une pièce ayant subi en général un usinage préalable par enlèvement de copeaux.(Figure II.3).[22]

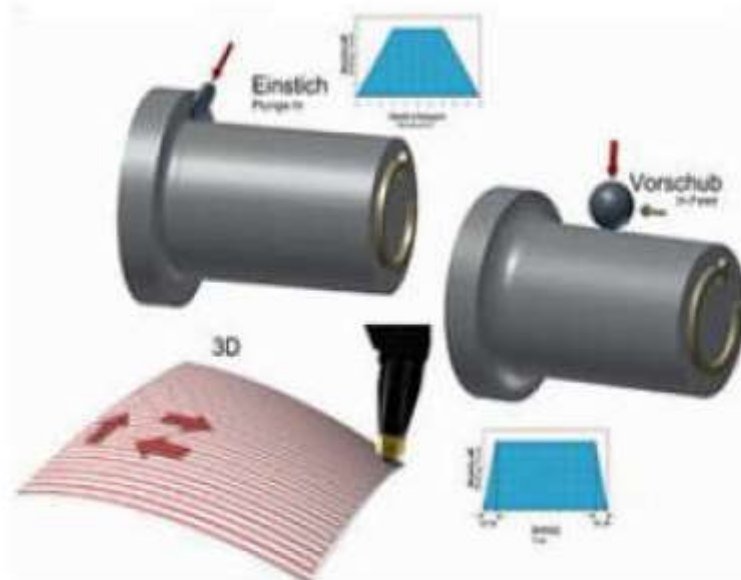


Figure II.3. fonctionnement du galetage.

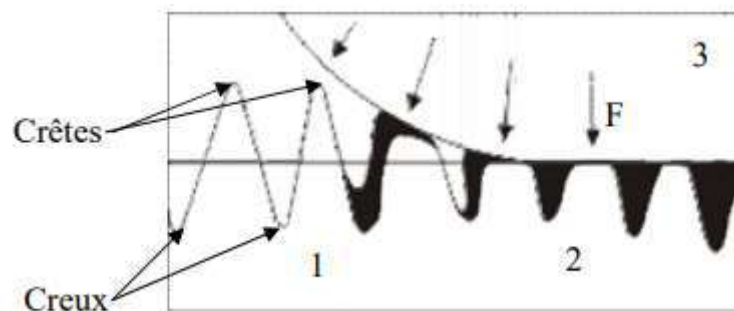
II.3. Présentation du procédé

Les bonnes performances d'une pièce mécanique telles que la résistance à la fatigue, la capacité de maintien à la charge de frottement, etc., dépendent, d'une manière conséquente, de sa surface surtout sa topographie, sa dureté, des natures de la contrainte et de la déformation induite sur la région de la surface. Dans les mécanismes, employés actuellement, environ 50% de l'énergie fournie sont perdus dans le frottement des éléments au cours du mouvement relatif [23]. Une bonne valeur de rugosité est plus que nécessaire pour une bonne apparition esthétique, une bonne résistance à la corrosion, et une haute résistance à la fatigue[24].

Ces dernières années, un intérêt particulier est accordé en fabrication mécanique aux opérations de finition et le galetage peut être bien indiqué, dans des cas précis, pour améliorer les caractéristiques d'une surface par déformation plastique ou du moins sa couche superficielle. Il a été utilisé, depuis longtemps, par exemple dans la fabrication des essieux montés des wagons et des motrices de chemins de fer [25]. Actuellement, il s'impose dans

différentes branches de l'usinage mécanique et il s'affirme de plus en plus comme une technique extrêmement intéressante et rentable. La définition des conditions du procédé pour obtenir un état de surface parfait, comme les caractéristiques et les formes des outils, la force à appliquer, les nombres de passes, etc., a été lente et difficile. Son aboutissement est le résultat d'essais méthodiques menés avec rigueur.

Le galetage est un procédé de finition par formage à froid, il déforme plastiquement les couches superficielles de la surface d'une pièce qui a subit en général un usinage par enlèvement de copeau (tournage, fraisage, etc.), son principe de travail est que la force appliquée par l'outil de galetage sur une pièce oblige les crêtes d'une surface à fluer dans les creux de cette dernière (Fig.II.4.a). Dans le domaine industriel, il est considéré comme étant un procédé de traitement mécanique [26], et aussi qualifié comme un procédé de finition sans enlèvement de copeau par excellence et constituer une alternative aux procédés de finition par enlèvement de copeaux telle que la rectification jugée trop lente et onéreuse [27]. Comme il apporte des modifications sur les propriétés en surface, c'est un procédé qui présente d'autres avantages par rapport aux autres procédés de fabrication telles : la résistance à la corrosion [28], la résistance à la fatigue [29], la production des contraintes résiduelles de compression [30], et enfin l'augmentation de la durée de vie des pièces. La figure II.4.b illustre les différents paramètres d'état de surface affectée par le procédé de galetage.



1- surface usinée, 2- surface galetée, 3- galet et F- force de galetage

Figure II.4.a. Procédé de galetage (schéma de principe)

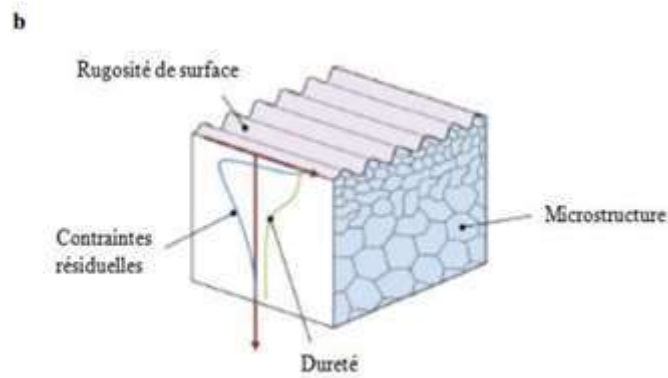


Figure II.4.b. Procédé de galetage (schéma des effets du galetage sur les différents paramètres d'état de la couche superficielle de la surface traitée).

De la figure.II.5, le galet roule de la droite vers la gauche sur une surface plane. Dans la zone A, l'effort de compression de la bille génère une contrainte, qui déforme élastiquement le matériau. Lorsque la limite élastique est atteinte, le matériau se déforme de façon irréversible (zone B). La hauteur D donne l'ampleur de la déformation totale (élastique et plastique). Dans la zone C, la pression de contact diminue, ce qui a pour conséquence la décharge du matériau jusqu'à annulation de la déformation élastique. La cote E donne l'ampleur du retour élastique. Sur une faible épaisseur, le volume adjacent à la surface du matériau est déformé plastiquement, ce qui a pour conséquence directe une modification d'ordre dimensionnel. Du fait de la localisation de la déformation sur la couche superficielle, des contraintes résiduelles de compression sont générées. Sur la figure, la composante de la contrainte résiduelle représentée n'est pas spécifiée. Toutefois, d'après la forme de la distribution, il est probable qu'il s'agisse d'une composante appartenant au plan tangent à la surface de la pièce. De plus, pour la plupart des matériaux, cette déformation génère de l'écaillage qui se caractérise par l'augmentation de la dureté superficielle.[20]

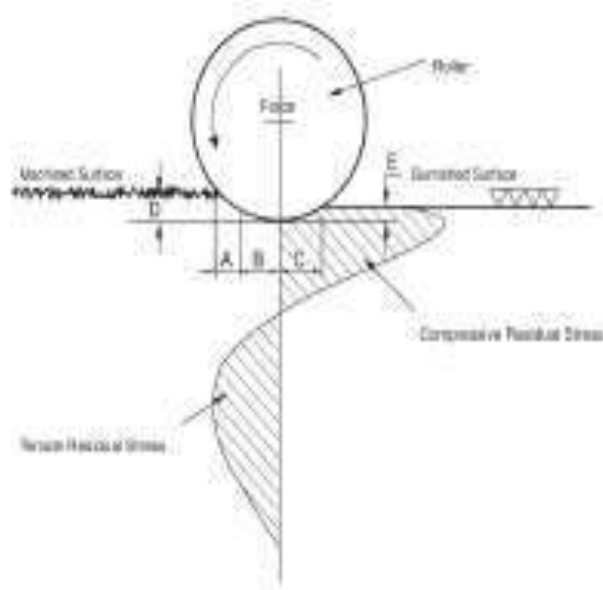
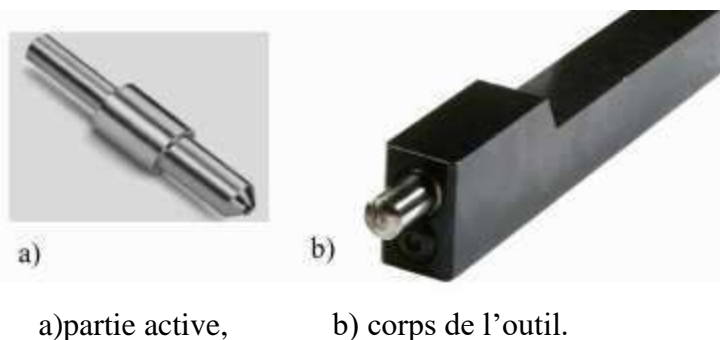


Fig.II.5.Schéma de rôle de galetage

La technologie du procédé est variée selon la machine et l'outil utilisé [20]. Elle réside principalement dans le fait que la force appliquée par l'outil de galetage sur la pièce à traiter oblige les couches superficielles de celles-ci à subir une déformation plastique.



a)partie active,

b) corps de l'outil.

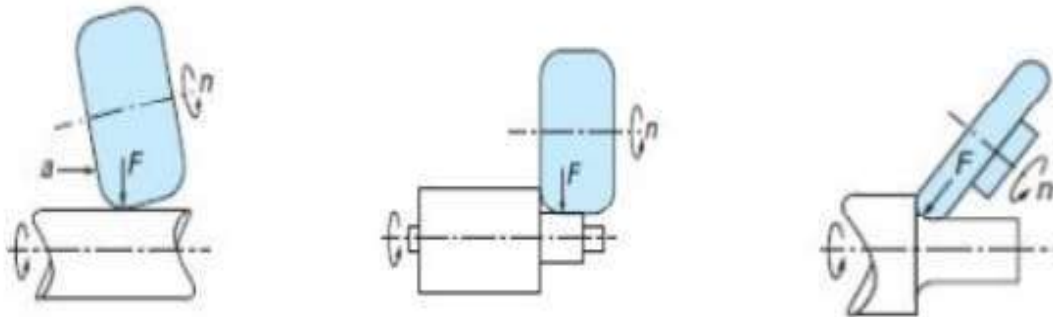
Figure.II.6. Outil du galetage commercialisé par la firme COGSDILL TOOL

II.4.Différents types de galetage

a) Le galetage de surface : Il permet d'améliorer la surface du point de vue macro et micro géométrie (Figure.II.7.a). Toutefois, la tolérance finale ne dépend pas de cette seule action mais, en premier lieu, de la valeur dimensionnelle de l'opération d'usinage de préparation tels que : tournage fin, rectification normale ou fine. Le galetage de surface est donc fonction de l'approche dimensionnelle fournie par l'ébauche.[31].

b) Le galetage dimensionnel : Il permet d'obtenir des tolérances serrées (Figure.II.7.b), toutefois ses possibilités sont, jusqu'à présent, limitées à des surfaces assez restreintes, comme les portées de roulement par exemple, à condition de respecter les normes de dureté pour certains matériaux. Dans ce cas précis, la qualité de surface ou son aspect a une importance secondaire pour l'ébauche. La tolérance se situe entre 0.1 et 0.15mm. [31].

c) Le galetage de renforcement : Il a pour conséquence l'augmentation de la résistance à la fatigue, surtout pour les pièces soumises aux grands efforts et aux grandes charges (Figure.II.7.C.).[31].



a- Galetage de surface

b- Galetage dimensionnel

c- Galetage de renforcement

Figure.II.7. Différents types de galetage avec : n- rotation du galet ; F- force appliquée et a- mouvement d'avance du galet [21].

II.5. Avantages du galetage :

Amélioration de l'état de surface de la pièce usinée. Opération économique du fait qu'elle se fait sur pièce non traitée, et donc qu'elle économise une opération de rectification plus coûteuse opération très précise, surtout dans le cas de l'utilisation de la commande numérique.

L'application du procédé de galetage permet de modifier plusieurs paramètres d'une pièce mécanique tels que:

- l'état de surface (rugosité, dureté, tolérance dimensionnelle et géométrique, etc.) par le biais de l'écrasement des aspérités ;
- le type de contraintes résiduelles induites par le biais d'une déformation plastique hétérogène entre la surface et la sous-couche du matériau traité ;

- l'état microstructural par un écrouissage ou par une transformation de phase du matériau traité.[32]

Ces modifications ont une incidence directe sur un ensemble de propriétés de matériaux associés à ces paramètres tels que : l'amorçage et la propagation des fissures de fatigue, la résistance à l'usure, et la résistance à la corrosion et à la corrosion sous contrainte etc. Ces modifications ont été confirmées par plusieurs travaux de recherches réalisés précédemment dans ce domaine qui sont résumées dans les paragraphes qui suivent. [20]

1. Amélioration de l'état de surface de 0,05 à 0,1 Ra soit 2 à 4 microns
2. Meilleur contrôle de la cote jusqu'à 0,01 mm
3. Amélioration de la dureté en surface de 5 à 10%
4. Amélioration du temps de contact jusqu'à 300%
5. Amélioration de la résistance à la corrosion
6. Réduction de la friction
7. Elimination des traces et des imperfections
8. Remplace des opérations onéreuses comme la rectification ou rodage
9. Production accrue à cout réduit comparée à d'autres opérations de finition.

II.6.Outil De Galetage

II.6.1.Outils Roll-a-Finish

Les outils Roll-a-Finish de cogsdill sont appliqués à une grande variété de configurations de pièces, notamment:

- Diamètres intérieurs (trous)
- Diamètres extérieurs (arbres)
- Surfaces planes
- Cônes
- Surfaces sphériques et contours
- Filets (rayons aux épaules)[30].



Figure.II.8.Outils Roll-a-Finish

II.6.2.Galetteur Marteleur

pour le galetage de pièces à parois fines ou irrégulières ainsi que pour des pièces poreuses ou ayant une tolérance très serrée.[30]



Figure.II.9.Galetteur Marteleur

II.6.3.Outils Spéciaux

pour les applications spécialisées qui nécessitent un équipement spécial de galetage intérieur, extérieur conique, face, sphère contour diamètres multiples et virtuellement toute forme de pièce.[30]



Figure.II.10.Outils Spéciaux

II.6.4.Machine à galeter extérieure

Pour le galetage d'arbres ou de surfaces cylindriques de toute longueur.



Figure.II.11.Machine à galetter extérieure

II.6.5.Brunissoir Diamanté

Pour l'obtention de poli-miroir sur diamètres extérieurs, alésages de grandes dimensions, faces de virtuellement tout diamètre.[30]



Figure.II.12.Brunissoir Diamanté

II.6.6.Brunissoir Universel TM

pour le galetage d'arbres faces, cônes, formes et diamètres intérieurs importants. Outil conçu pour s'adapter à toute dimension ou forme de pièce et n'importe quelle machine rotative.[30]



Figure.II.13 Brunissoir Universal TM

II.6.7.KB procédé de galetage-moletage

pour la retouche d'arbres et d'alésages hors tolérance opération en deux étapes utilisant les appareils à moleter Cogsdill et les outils Roll-a-Finish.[30]



Figure.II.14.KB procédé de galetage-moletage

II.7. Conclusion

Ce chapitre est consacré à la définition du procédé de galetage, c'est pour cela nous avons

- Défini l'opération de galetage,;
- Donné son principe de procédé;
- Donné les différents types de galetage avec leurs avantages;
- Donné les différents outils de galetage.

Chapitre III

Résultats de quelques travaux

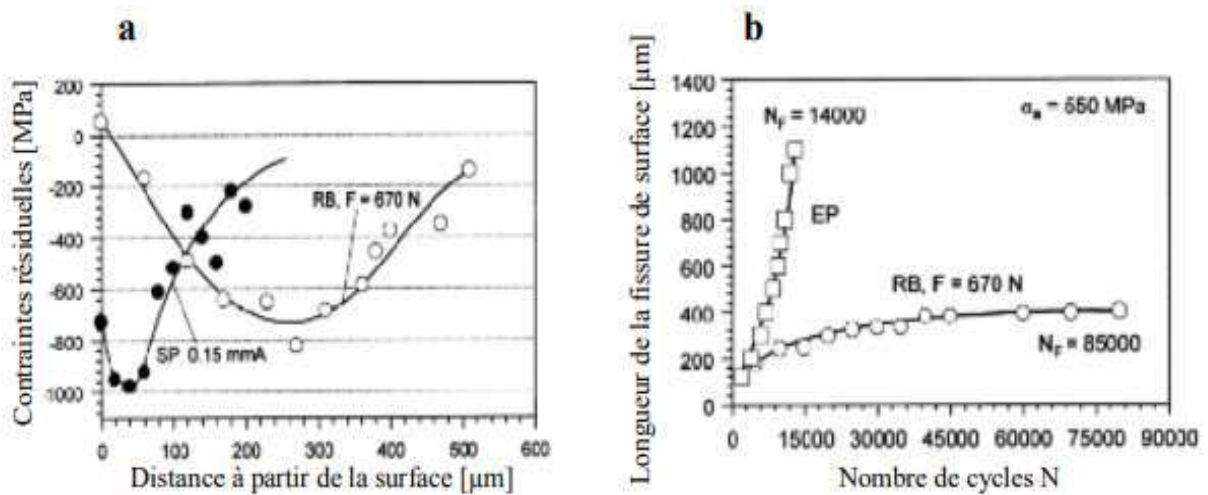
Chapitre III: Résultats de quelques travaux

III.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous avons exposé des dizaines de résultats des travaux de recherche expérimentaux concernant les effets de galetage sur les différentes pièces mécanique d'une façon collectionné et synthétisé selon leur impact sur les différentes propriétés communs, dont le but de faciliter la recherche dans ce sujet.

III.2.Effet du galetage sur les contraintes résiduelles induites

-Dans le travail de recherche de L. Wagner[31], l'auteur a montré que les contraintes de compression résiduelles générées par le galetage du tambour ont un effet direct sur l'étalement des fissures (directement lié au nombre de cycles), ce qui a donné au processus de galetage au rouleau des résultats satisfaisants par rapport à d'autres méthodes, notamment l'électropolissage (Figure.III.1).



a) profil de distribution des contraintes résiduelles induites après galetage (RB) et grenailage (SP) b) longueur de propagation de la fissure après galetage (RB) et électropolissage (EP)

Figure.III.1. Effet du galetage sur les contraintes résiduelles [31]

-Le travail de recherche réalisé par W. Bouzid. Saï[32] concernant les contraintes résiduelles induites dans la couche superficielle d'un matériau en acier inoxydable duplex (ferrite + austénite) montré que le meilleur résultat est obtenu sur une surface ayant subi un galetage à bille après rectification par rapport à d'autres surfaces ayant subi respectivement un tournage, une rectification après tournage et un galetage après tournage (Figure.III.2).

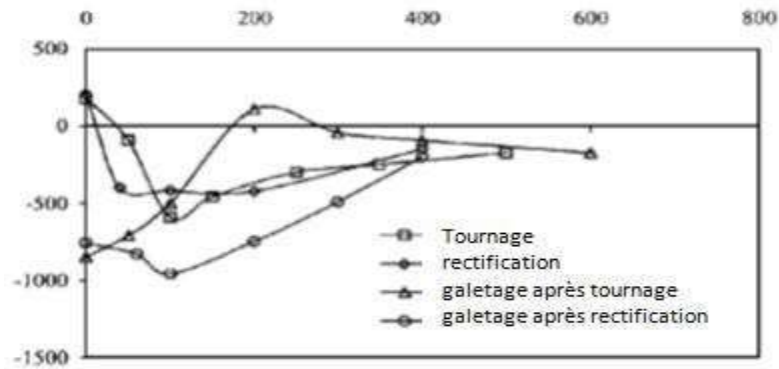


Figure.III.2. Evolution des contraintes résiduelles en fonction de différents procédés de fabrication.

Dans le travail de recherche de Chomienne [33] , l'auteur a montré que les paramètres du processus de polissage au rouleau Bullet ont un effet très important dans le développement des contraintes de compression résiduelles qui se produisent.

-G. Kermouche[34] note que le paramètre prédominant dans le processus de galetage est la pression appliquée, mais la vitesse d'avance et la vitesse de coupe n'ont aucun effet sauf dans des cas très particuliers - le toilettage produisant de fortes contraintes de compression sur la surface, et plus la force exercée par le cylindre est grande, plus son travail à l'intérieur est valorisé.

Anis Rami[35] a réalisé une série d'expériences basées sur une conception expérimentale de Taguchi complétée par une analyse de variation (ANOVA). Le but de son étude est de déterminer les paramètres optimaux de rotation / galetage du rouleau lors du traitement de l'acier 42 Cr Mo 4 permettant de donner une intégrité de surface optimale permet de prédire les contraintes résiduelles générées par le processus combiné et la comparaison révèle un bon accord entre les résultats numériques et ses résultats expérimentaux obtenus.

III.3.Effet du galetage sur la rugosité de surface

Dans le travail de recherche de Maximov et al. [36], les auteurs ont montré que la vitesse d'alimentation et la vitesse de polissage du rouleau sont deux paramètres qui ont un excellent effet sur la finition de surface –rugosité–.

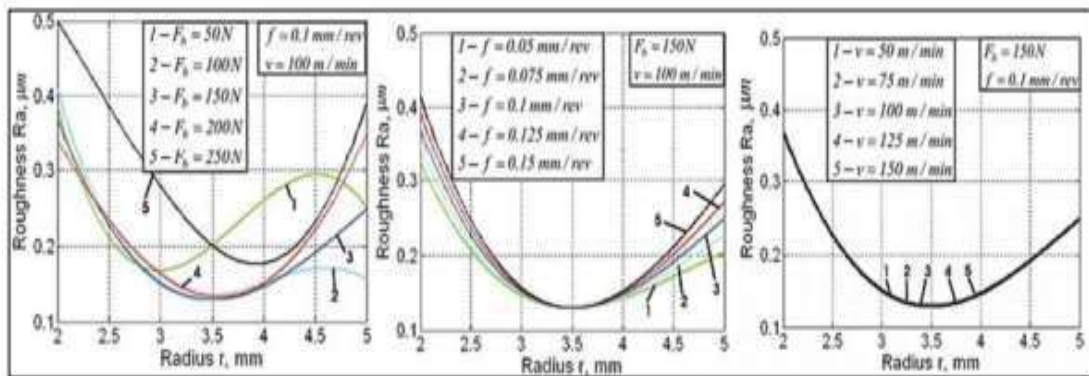


Figure.III.3: Influence des paramètres conventionnels du « Slide Burnishing » sur la rugosité [36]

-Dans leur seconde étude sur le « slide burnishing », Maximov et al.[36] ont étudié l'influence des paramètres additionnels sur les contraintes résiduelles présentes en surface, en adoptant les paramètres conventionnels optimaux déterminés pour la meilleure rugosité. Ils démontrent ainsi que:

- Le plus fort niveau de contraintes en compression est obtenu avec lubrification et avec une seule passe (S2) ;
- L'augmentation du nombre de passes entraîne une relaxation des contraintes résiduelles, quel que soit le mode de lubrification (avec ou sans) et le sens de galetage ;
- Le galetage bidirectionnel entraîne un fort niveau de relaxation des contraintes comparé au galetage unidirectionnel (S6 -S7 vs S6-S8).

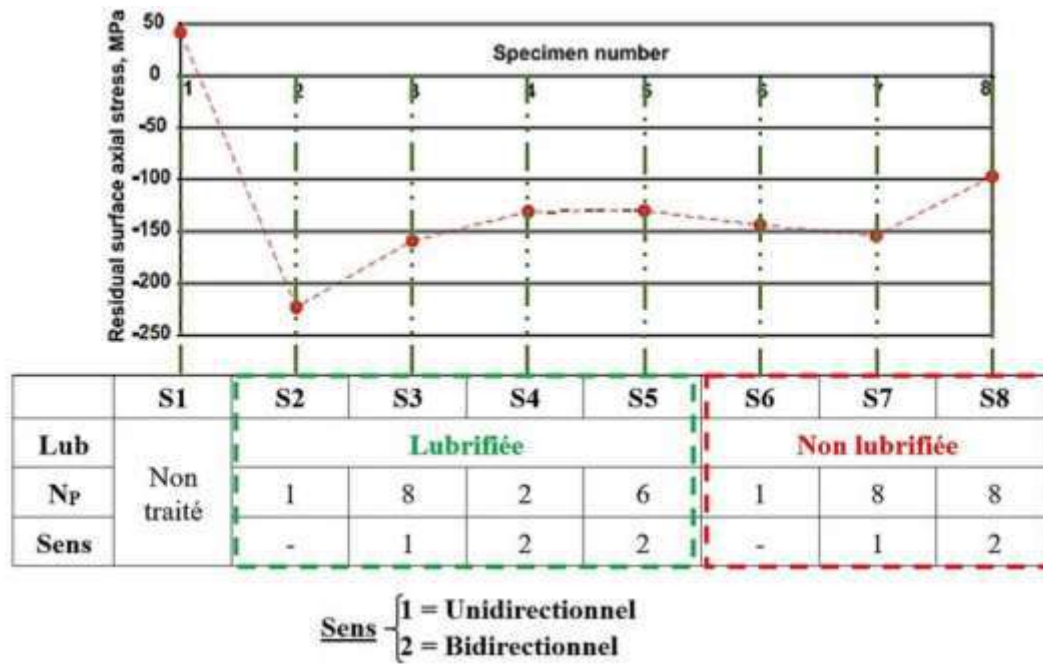
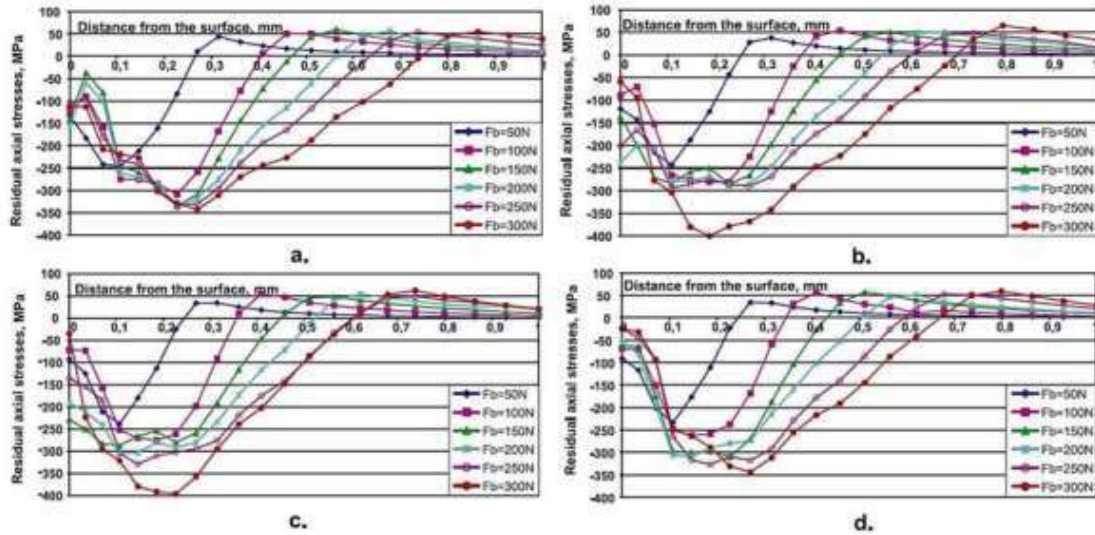


Figure.III.4 : Schéma représentatif de l'influence des paramètres additionnels du SB sur les contraintes résiduelles de l'AA2024-T3 [36]

-Les auteurs dans la même référence précédente, ont étudié l'influence des paramètres conventionnels sur les contraintes résiduelles aux moyens de modèles numériques par la Méthode des Éléments Finis (MEF), Ils ont constaté que l'augmentation de la force de galetage conduit à une plus grande profondeur de la zone de compression et en conséquence augmentation des contraintes de compression résiduelles.

Leurs résultats révèlent également le phénomène de saturation qui apparaît à partir d'une certaine valeur d'effort. .



(a) $r=2$ mm, (b) $r=3$ mm, (c) $r=4$ mm, (d) $r=5$ mm

Figure.III.5 : Etude de l'influence des paramètres conventionnels du SB sur les contraintes résiduelles par MEF [36]

-Hamid Hammadsh et al.[37] visent dans leur travail à déterminer les effets des deux processus (galetage à bille et galetage au rouleau) sur la rugosité et la rigidité par comparaison, selon l'effet de divers paramètres. Ils ont obtenus des résultats qui montrent clairement la différence entre les surfaces traitées par rapport les surfaces non traitées.

III.4.Effet du galetage sur la dureté

-Dans le travail de recherche de Bourebia Mounira et al.[39], les auteurs ont appliqués le processus de galetage aux alliages d'aluminium commerciaux dont l'objectif est d'améliorer les normes technologiques de traitement. Leurs résultats expérimentaux ont montré qu'il est possible d'obtenir une amélioration de la dureté de surface de 30 à 50% pour le matériau d'étude grâce à ce procédé.

- Selon la recherche d' Abraham [38], qui concerne la dureté de la surface, il a conclu que la déformation plastique de la couche superficielle de certains matériaux sous l'influence de la force de galetage du rouleau appliqué provoque le phénomène d'écrouissage qui augmente considérablement la dureté superficielle jusqu'à une valeur de 130%. voir figure III.6

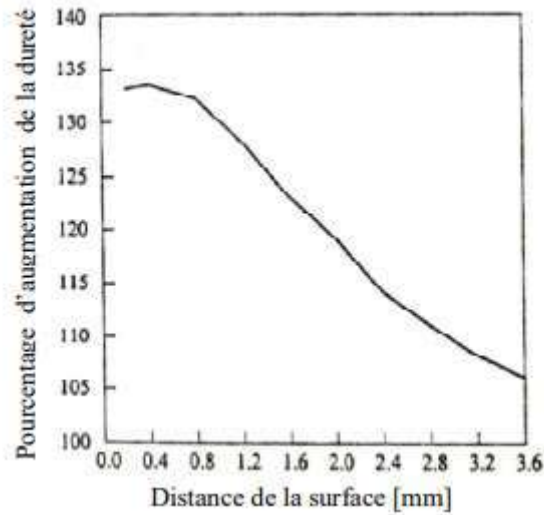
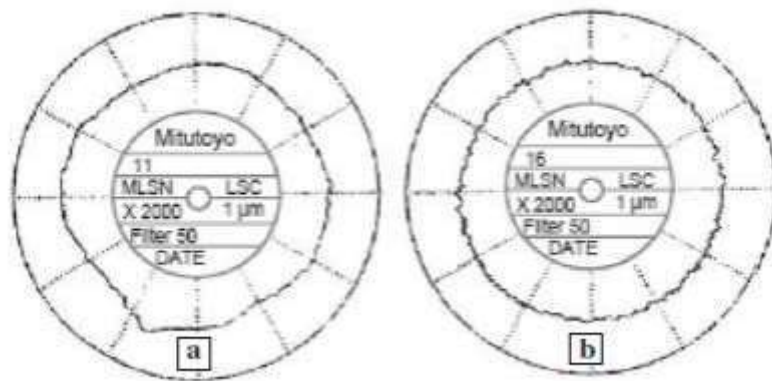


Figure.III.6. Pourcentage d'augmentation de la dureté de surface. [38]

III.5.Effet du galetage sur la précision dimensionnelle et géométrique

Dans le travail de recherche du Professeur H. El Elixir [39] sur l'impact du processus de galetage au rouleau sur le déséquilibre géométrique de la rondeur. L'auteur a conclu que l'obtention du meilleur résultat en termes de réduction de la rondeur des pièces cylindriques avec cette technologie de galetage au rouleau est optimisée par une force de galetage cylindrique de 150 Newtons et une vitesse d'avance de 0,12 (Fig.III.7).



a) galetage électrochimique DC = 12,14 μm b) galetage électrochimique et galetage DC = 3,32 μm

Figure.III.7. Profil comparatif de défaut de circularité []

III.6.Effet du galetage sur l'usure

- Selon le travail de A. C. E. Mendar [25], qui s'intéresse à l'effet de galetage sur l'usure, l'auteur prend une colonne de direction en acier C45 renforcée et rectifiée et sur un arbre ni trempé ni rodé.

Les résultats des tests de corrosion, est présentés par figure III. 8 , qui montre que les échantillons galetés ont une résistance à l'usure mieux que les échantillons trempés et rectifiés d'une manière considérable.

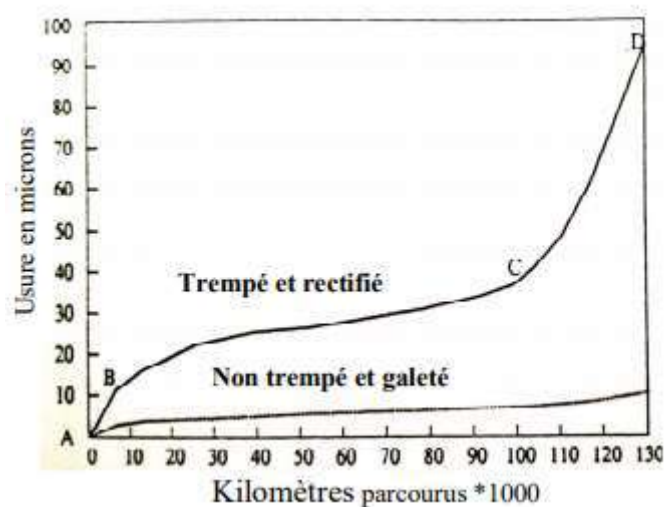


Figure.III.8. Evolution de l'usure d'un arbre galeté et un autre trempé et rectifié en fonction des kilomètres parcourus .[25]

- Kamgaing Souop [40] dans son étude expérimentale sur l'acier RB-40 afin de déterminer les améliorations que le procédé de galetage additionner, il a recommandé d'utiliser ce procédé comme un procédé de finition vu les résultats obtenus.

III.7.Effet du galetage sur la corrosion

Le travail effectué par le Prof. Marque[41], montre que le processus de galetage au rouleau augmente la résistance à la corrosion et réduit ainsi les effets des agents corrosifs. L'auteur a testé trois échantillons de géométries différentes dans l'eau douce et l'air ambiant, avec ou sans galetage, afin de déterminer les limites de la capacité portante. Ses résultats obtenus sont présentés dans suivant:

Eprouvette	Milieu	Limite de fatigue (MPa)		Gain en%
		Sans galetage	Avec galetage	
Lisse	Air	260	290	11.5
	Eau douce	110	150	50
Avec trou	Air	177	238	34.5
	Eau douce	132	158	20
Avec gorge	Air	180	280	55
	Eau douce	130	200	54

Tableau.III.1 : Amélioration de la tenue à la fatigue-corrosion par le galetage .[41]

-III.8.Effet du galetage sur la tenue à la Fatigue

-Les travaux réalisés par L. Wagner[43] ont montrés que le galetage à bille appliqué sur deux types de matériaux AISI 304 et AZ80 a un effet bénéfique sur la résistance à la fatigue par rapport au galetage électrolytique (Figure.III.10).

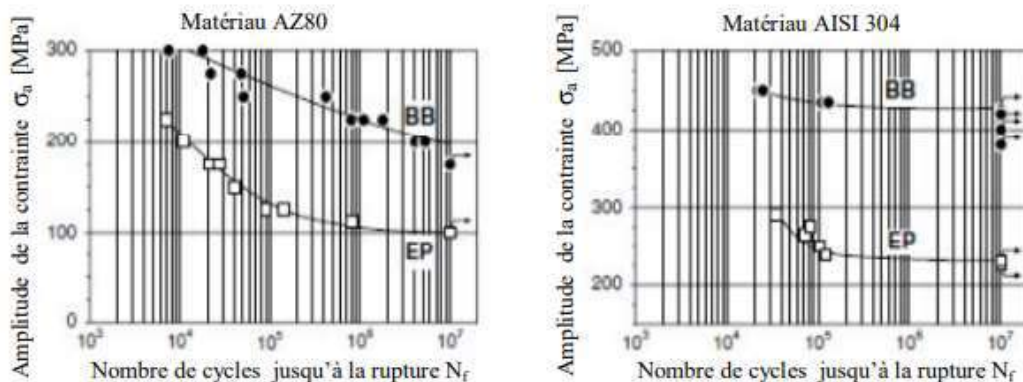
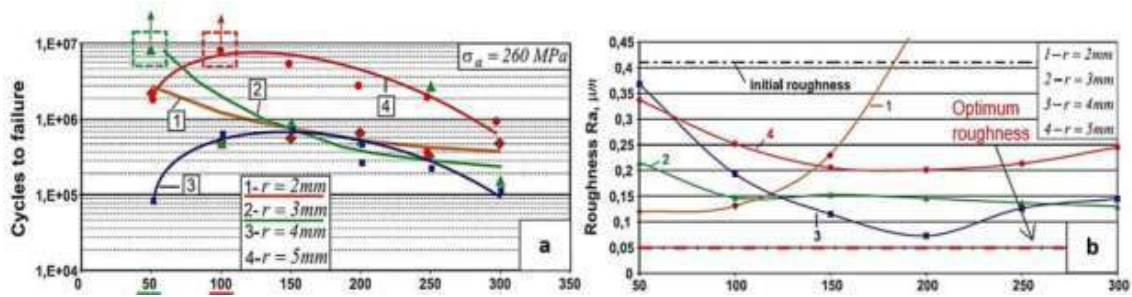


Figure.III.10 Courbes contraintes-nombre de cycles en flexion rotative .

Dans le travail de Maximov et al. [44], les auteurs ont optimisé deux paramètres conventionnels (le rayon d'outil et la force de galetage) qui ont une grande influence sur la résistance à la fatigue (N=107 cycles). Ils ont obtenu deux combinaisons de paramètres optimaux distincts pour la résistance à la fatigue et pour la rugosité.



(a) influence sur la résistance à la fatigue (b) influence sur la rugosité

Figure.III.11 : Optimisation des paramètres conventionnels

III.8.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné des dizaines de recherches publiées concernant l'effet de galetage sur les différentes propriétés mécaniques des aciers, et nous avons les groupés et les classés suivant leurs études et influences sur les différentes caractéristiques.

Nous avons constaté que la plupart des résultats des travaux sont semblables dans le sens général de point de vu les effets d'amélioration du procédé de galetage sur les différentes caractéristiques des matériaux, tel que la rugosité, la dureté, la résistance à la fatigue et l'usure...etc,

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

D'après les effets étendus des traitements de surface, et principalement le procédé de galetage sur les différents matériaux, et en particulier les aciers et leurs alliages, on trouve une abondance de recherches scientifiques expérimentales qui s'intéressent à ce sujet. Ce qui offre un nombre très important de données et résultats. Cette richesse d'avis et recommandations similaires et comparables parfois et compléments ou contradictoires d'autres fois selon le matériau d'étude ou les paramètres du procédé de galetage a été utilisés, autant cela aide le chercheur, autant cela le fait perdre dans cette énorme quantité de recherches.

Nous avons contribué par ce modeste travail afin de faciliter et simplifier la recherche bibliographique sur ce sujet, où nous avons commencé notre travail par généralité sur les traitements de surface, suivi par un chapitre consacré à la définition du processus de traitement de surface par le galetage avec ses différents types et paramètres.

Et en troisième chapitre, nous avons assemblé des dizaines de recherches expérimentales, et nous avons les ordonné et classé selon l'effet du procédé de galetage sur chaque propriété mécanique. On a obtenu beaucoup de résultats similaires pour chaque caractéristique, et quelques résultats des travaux qui ont contredit avec d'autres, mais d'une façon complémentaire.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Bourebia M. Laouar L. 2015. Influence des paramètres de traitement par brunissage sur la texture de la surface, IRevue, proceeding du 22ème Congrès Français de Mécanique, (Irevue, AFM), Lyon, France.
- [2] A.C.E.MENDER, La technique du galetage, métaux, déformation N°47, avril 1978.
- [3] F. KLOCKE. J. LIERMANN. Roller burnishing of hard turned surfaces, international journal of machines tools et manufacture vol 38 P.P 419-423 (1998).
- [4] D.Restraint & J. Lu. Study of residual stress distribution by the combination of three techniques in an aluminium based MMC. Materials science forum. p. 498-503. Trans Tech Publications, (2000).
- [5] T.Segawa, H. Sasahara & M. Tsutsumi. Development of a new tool to generate compressive residual stress within a machined surface. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 44, no 11, p. 1215-1221. (2004).
- [6] W. Bouzid. Saï & J. L. Lebrun. Influence of finishing by burnishing on surface characteristics. Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 12, no 1, p. 37-40. (2003).
- [7] V. K. Yatsenko. Evaluation of the effectiveness of diamond burnishing of gas turbine engine parts. Strength of Materials, vol. 15, no 6, p. 875-879. (1983).
- [8] G. Maeder, L. Castex & J. Barralis. Précontraintes et traitements superficiels. Techniques de l'ingénieur [M1180]-1999, (1991).
- [9] V. K. Yatsenko, V. F. Pritchenko, I. N.Komarchuk & al. Diamond burnishing of coatings. Strength of Materials, vol. 19, no 5, p. 725-726. (1987).
- [10] H. Hamadache, L. Laouar. N. E. Zeghib & al. Characteristics of Rb40 steel superficial layer under ball and roller burnishing. Journal of Materials Processing Technology, vol. 180, no 1, p. 130-136. (2006).
- [11] ALEXANDRE N. OVCEYENKO, MAKSIMILIAN. M. GAJEK, VLADIMIR I. CEREBRYAKOV, Formation de l'état de surface des pièces par procédés technologiques, Politecnika OPOLOSKA, NAKLAD, Opole.2001.
- [12] www.wikipedia.org.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [13] L. Laouar, Traitement mécanique de surface par brunissage des aciers XC48 et XC18 – Optimisation et caractérisation, Thèse doctorat d'état ; Université de Annaba , 2007
- [14] L. KATCHANOV, Éléments de la théorie de la plasticité, traduction française, éditions Mir 1975.
- [15] J-P Baillon, J-M Dorlot, DES MATERIAUX, Presses Internationales polytechnique, École polytechnique de Montréal, 2000.
- [16] G. FRADE ; Métallographie essais mécaniques ; 1970.
- [17] KAPSA et CARTIEN, techniques de l'ingénieur- traité mécanique, 1986
- [18] ALEXANDRE N. OVCEYENKO, MAKSIMILIAN. M. GAJEK, VLADIMIR I. CEREBRYAKOV, Formation de l'état de surface des pièces par procédés technologiques, Politecnika OPOLOSKA, NAKLAD, Opole.2001.
- [19] C. BATHIAS, J. P. BAILON, La fatigue du matériau et des structures pour les presses de l'université de Montréal, Edition MALOINE, Paris 1980.
- [20] Hassan, A. M., &Maqableh, A. M. (2000). The effects of initial burnishing parameters on nonferrous components. *Journal of Materials Processing Technology*, 102(1–3), 115–121.
[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00464-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00464-7)
- [21] Tourabmohamed, et Bouchlaghem Abdelaziz, effets des paramètres du régime de galetage sur la rugosité et la dureté de surface des matériaux ferreux, Université Badji Mokhtar Annaba Département de Génie Mécanique
- [22] M. TOURAB, Influence des paramètres du régime de galetage sur les fonctions finales de rugosités et de dureté de surface des aciers, thèse de magister 2003, Département de Mécanique, Faculté des sciences de l'ingénieur ; Université Badji Mokhtar.
- [23] M. H. El-axir. An investigation into roller burnishing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 40, no 11, p. 1603-1617. (2000).
- [24] A. M. Hassan, The effects of ball-and roller-burnishing on the surface roughness and hardness of some non-ferrous metals. *Journal of materials processing technology*, vol. 72, no 3, p. 385-391. (1997).
- [25] A. C. E. Mendar. La technique du galetage. *Métaux et déformation*, vol. 47, p. 45-57.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(1978).

- [26] H.E.F Groupe. Guide d'emploi des traitements de surfaces appliqués aux problèmes de frottement. Ed. Tec et doc. 410p. (2000).
- [27] F. J. Shiou&C. H. Chen.Freeform surface finish of plastic injection mold by using ballburnishingprocess. Journal of materials processing technology, vol. 140, no 1, p. 248-254. (2003).
- [28] A. M. Hassan, &A. M. Momani. Further improvements in some properties of shot peened components using the burnishing process. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 40, no 12, p. 1775-1786. (2000).
- [29]F. Klocke& J. Liermann, Roller burnishing of hard turned surfaces. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 38, no 5-6, p. 419-423. (1998). [25] G. Maeder, L. Castex& J. Barralis.Précontraintes et traitements superficiels. Techniques de l'ingénieur [M1180]-1999, (1991).
- [30] V. K. Yatsenko, E. Ya.Korenevskii,& D. M. Petergerya. Effect of diamond burnishing on the corrosion-fatigue strength of steel ÉI961 and alloy ÉI437B. Strength of Materials, vol. 7, no 1, p. 16-18. (1975).
- [31] F. KLOCKE. J. LIERMANN. Roller burnishing of hard turned surfaces, international journal of machines tools et manufacture vol 38 P.P 419-423 (1998).
- [32] J. Lu. Traitements de surface mécaniques Principes. Techniques de l'ingénieur. Matériaux métalliques, no M1190. (2006).
- [33] M.TOURABavantages du galetage
- [34] Cogsdill Tools produits Inc. outil de précision 2002 www .cogsdill.com.
- [35] L. Wagner. Mechanical surface treatments on titanium, aluminum and magnesium alloys. Materials Science and Engineering: A, vol. 263, no 2, p. 210-216. (1999).
- [36] W. Bouzid. Saï& J. L. Lebrun. Influence of finishing by burnishing on surface characteristics. Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 12, no 1, p. 37-40. (2003).
- [37] V. Chomienne, F. Valiorgue, J. Rech& al. Influence of ball burnishing on residual stress profile of a 15-5PH stainless steel. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 13, p. 90-96. (2016).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [38]G. Kermouche, Étude de traitements mécaniques des surfaces reposant sur des sollicitations de rayure (superfinition, polissage, galetage), Number 3, 2013
- [39]Anis Rami , Contributions expérimentales et numériques pour la compréhension de l'intégrité des surfaces induite par un outil combiné usinage – galetage, jeudi 29 mars 2018 ,
- [40]Maximov, J. T., Anchev, A. P., Dunchev, V. P., Ganev, N., Duncheva, G. V., & Selimov, K. F. (2017). Effect of slide burnishing basic parameters on fatigue performance of 2024-T3 high strength aluminium alloy: Fatigue Performance of 2024-T3 Aluminium Alloy. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 40(11), 1893–1904. <https://doi.org/10.1111/ffe.12608>
- [41] H. Hamadache, L. Laouar, N.E. Zeghib, K. Chaoui, characteristics of Rb40 steel superficial layer under ball and roller burnishing, *journal of materials Technology* 180-2006, 130-136.
- [42] Bourebia Mounira, Laouar Lakhdar, Hamadache Hamid, Bouchelaghem Abdelaziz Mahmoud traitement Mécanique de surface - Effet sur la dureté superficielle d'un alliage d'aluminium, VIIIèmes Journées d'Etudes Techniques – JET'2014 The International congress for applied mechanics La mécanique et les matériaux, moteurs du développement durable
- [43]S. Braham. Modélisation du galetage des vilebrequins. Thèse de doctorat. (1991).
- [44]H. Hamadache, L. Laouar, K. Chaoui, Influence des traitements mécaniques de surface sur la rugosité, la dureté et la résistance à l'usure d'un acier, *Revue Synthèse, Université de Annaba*, N°15, pp. 120-128, Annaba 2006.