

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique



Département de Génie Mécanique

Projet de Fin d'études

Pour l'Obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat

En Génie Mécanique

Thème

**Amélioration de la qualité de surface par
le procédé de tribofinition**

Etudié par :

BEDDERI serhane

Proposé et dirigé par :

M. BOUAZIZ

D. SAIDI

Juin : 2009

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes parents

A mes frères et sœurs

A tout ma famille et mes amis

Remerciement

En premier lieu je remercie Allah qui m'a aidé à compléter ce travail

Je tiens particulièrement à exprimer mes remerciements et mes profonds respects à monsieur SAIDI et monsieur BOUAZIZ qui ont proposé et dirigé ce travail pour leur suivi et leurs conseils

Je remercie également l'ensemble des membres du jury qui ont accepté d'examiner mon travail

Enfin je remercie tous qui ont participé dans ce travail

Résumé

Dans ce modeste travail que j'ai réalisé mon objectif était d'améliorer la qualité de surface (rugosité) et les caractéristiques technique par la méthode TMVA traitement des métaux par vibro-abrasion appelée aussi « tribofinition »

Mots clés : tribofinition, vibration-abrasif, additifs chimiques.

Abstract

In this modest work that I carried out my objective was of will improve the surface quality (roughness) and the design features by method TMVA treatment of metals by vibro-abrasion called also "tribofinition"

Key words: tribofinition, vibration-abrasive, chemical additives

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| CHAPITRE I. LES FONDEMENTS THEORIQUES DE LA TECHNOLOGIE DE VIBRATION..... | 2 |
| I. 1. INFORMATIONS GENERALES SUR LES VIBRATIONS MECANIKES ET LES PROCESSUS D'ONDES | 2 |
| I. 1. 1. Système Oscillatoire et ses paramètres | 2 |
| I. 1. 2. Système vibratoire..... | 4 |
| I. 1. 2. 1. Système à un degré de liberté | 5 |
| I. 1. 2. 2. Phénomène de résonance :..... | 7 |
| I. 1. 2. 3. Systèmes à N degrés de liberté | 9 |
| I. 1. 2. 4. Vibration libre non amortie | 9 |
| I. 2. USURE PAR ABRASION..... | 10 |
| I. 2. 1. Points de comparaison entre usinage et rectification | 11 |
| I. 2. 2. Analyse mécanique du contact élémentaire | 12 |
| I. 2. 2. 1. Principe d'usure | 12 |
| I. 2. 2. 2. Définitions et principales caractéristiques d'usure par abrasion | 13 |
| CHAPITRE II. PROCÉDE TECHNOLOGIQUES POUR AMÉLIORATION LA QUALITE DE SURFACE ET PROPRIETE DES PIECES MECANIQUE | 16 |
| II. 1. INFORMATIONS GENERALES SUR LES PROPRIETES MECANIKES DES DETAILS | 17 |
| II. 2. L'influence des paramètres technologique sur l'exploitation des pièces mécaniques ... | 17 |
| II. 3. INFLUENCE DE LA QUALITE DE SURFACE SUR LES PROPRIETES MECANIKES DES DETAILS | 18 |
| II. 4. QUALITE DE SURFACE SELON LA METHODE TMVA | 18 |

| | |
|--|-----------|
| II. 4. 1. L'essentiel et les possibilités technologiques de la méthode TMVA | 18 |
| II. 4. 2. Rugosité de surface : | 21 |
| II. 4. 3. Contrainte résiduelle | 28 |
| II. 4. 5. MICRODURETE..... | 33 |
| II. 4. 6. La structure de la couche superficielle..... | 40 |
| | |
| CHAPITRE III. PARAMETRES DU PROCEDE..... | 43 |
| III. 1. ANALYSE DES PARAMETRES DU PROCEDE | 43 |
| III. 2. ANALYSER LES CARACTERISTIQUES QUANTITATIVES DE CES PARAMETRES | 45 |
| III. 2. 1. vitesse d'impact des particules et des pièces traitées | 45 |
| III. 2. 2. L'accélération de l'impact des objets | 46 |
| III. 2. 3. La force de l'impact des particules et des pièces à traiter | 46 |
| III. 2. 4. La pression de contact dans la zone de l'impact | 46 |
| III. 3. LES FACTEURS INTRODUIES DANS LE TRAITEMENT DES PIECES PAR VIBRO-ABRASION..... | 49 |
| | |
| CHAPITRE IV. EQUIPEMENT DE TRIBOFINITION..... | 51 |
| IV. 1. LES MACHINES DE TRIBOFINITION..... | 51 |
| IV. 2. RECOMMANDATION POUR LE CHOIX DES MEDIAS | 56 |
| IV. 3. L'ADDITIF CHIMIQUE | 58 |
| IV. 3. 1. caractéristique et désignation | 58 |
| IV. 3. 2. Classification et propriétés des fluides..... | 59 |
| IV. 4. Approche économique de la technologie de vibration | 61 |
| | |
| CHAPITRE V. ANALYSE EXPERIMENTAL | 64 |

| | |
|---|-----------|
| V. 1. LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA MACHINE DE TRIBOFINITION ET LE MILIEU ACTIF UTILISE POUR LE TRAITEMENT | 64 |
| V. 2. COMMENTAIRE POUR LES RESULTATS DES ESSAIS EXPERIMENTAUX | 70 |
| | |
| CONCLUSION GENERALE | 71 |
| BIBLIOGRAPHIE | 72 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II

| | |
|--|----|
| Tableau. I. représente l'influence de l'additif chimique sur la rugosité. | 24 |
| Tableau. II. Représente la variation de rugosité selon le matériau et l'amplitude..... | 25 |
| Tableau. III. Représente L'influence du milieu actif sur le changement de la microdureté de la couche superficielle..... | 37 |
| Tableau. IV. Représente L'influence du poids des échantillons à traiter sur la micro dureté..... | 39 |

CHAPITRE IV

| | |
|--|----|
| Tableau. I. Quelques exemples des particules utilisées dans le milieu actif pour les différentes opérations..... | 57 |
| Tableau. II. Composition de l'additif chimique recommandé pour différentes opérations | 60 |

CHAPITRE V

| | |
|---|----|
| Tableau. I. Echantillon en acier..... | 65 |
| Tableau. II. Echantillon en Aluminium..... | 66 |
| Tableau. III. Echantillon en aluminium..... | 67 |
| Tableau. IV. Echantillon en bronze..... | 68 |
| Tableau. V. Echantillon en Fonte..... | 69 |

INTRODUCTION GENERALE

La notion de " la technologie de vibration " est apparue récemment, dans les années 60, comme une conséquence du développement du processus utilisant les impacts de vibration dans le domaine de la construction mécanique, la construction du bâtiment, l'exploitation minière et d'autres secteurs de Production. Cette notion est née grâce aux spécialistes qui travaillaient dans le domaine de la recherche technologique à basse fréquence et du spectre des fluctuations. Dans l'ensemble, les vibrations sont utilisées dans trois sections distinctes:

L'infrason : fréquence d'oscillations f jusqu'à 10 Hz.

Les vibrations à basse fréquence : $f = 15-100$ Hz.

L'ultrason f au-delà de 1000 Hz.

La technologie de vibration est utilisée dans diverses industries, on la trouve notamment dans le secteur de la construction d'appareils, dans le transport et dans le revêtement métallique et chimique. De même cette technologie révolutionnaire est employée dans les essais de fatigue des matériaux, dans le domaine de la métallurgie, de la fonderie, du moulage par régénération et du nettoyage des pièces brutes.

Cette technologie est aussi présente dans le domaine de l'estampage, le forgeage, dans la production agricole, l'environnement et dans l'exploitation minière et la géologique.

L'utilisation des vibrations à basses fréquences dans la coupe des métaux est une technique d'assistance peu connue et pas encore maîtrisée. Elle essaye d'améliorer les procédés d'usinage qui présentent des problèmes concernant la formation et l'évacuation des copeaux. Parmi ces procédés: la rectification vibratoire. Cette technique prévoit une augmentation de la productivité par rapport aux procédés classiques tout en améliorant les conditions de travail en ayant aussi une meilleure qualité de surface.

CHAPITRE I

LES FONDEMENTS THEORIQUES DE LA TECHNOLOGIE DE VIBRATION

I. 1. INFORMATIONS GENERALES SUR LES VIBRATIONS MECANIKES ET LES PROCESSUS D'ONDES

Les oscillations mécaniques est appelées « vibrations » par plusieurs scientifiques, les processus d'ondes sont bien représentés en physique, et en technologie de vibration.

En particulier, les processus de travail technologiques de vibration sont étroitement liés à des concepts généraux tels que les oscillations libres et forcées et leurs paramètres.

Le processus du traitement des métaux par vibration étudie les lois du mouvement et l'interaction des particules dans un milieu actif. La modélisation mathématique et Physique fait largement appel à des équations différentielles du mouvement de vibration des particules sur la surface rugueuse, ces dernières jouent un rôle dans la théorie des processus et ont le même rôle fondamental que les équations du mouvement du pendule dans La Théorie générale de vibration.

A cet égard, voici quelques informations générales sur les vibrations mécaniques et sur les processus d'ondes.

I. 1. 1. Système Oscillatoire et ses paramètres

En général, les ondulations décrite comme visant à restreindre le mouvement (ou le changement de condition), répétée en totalité ou en partie. En conséquence, un système qui peut, sous certaines conditions bien définies, effectuer des vibrations, on l'appelle les systèmes oscillatoires. Les vibrations sont appelés mécaniques, si elles sont en train de changer seulement les valeurs mécaniques (les valeurs de mouvement, vitesse, accélération, pression etc.)

Dans le domaine de la technique et la technologie (y compris la technologie du traitement des métaux) est largement utilisé le terme « vibration ». Il reflète largement la notion des oscillations mécaniques, ou oscillations des systèmes mécaniques. Le terme vibration est le

plus souvent utilisé dans les cas où les oscillations de l'amplitude sont relativement petites et à très basse fréquence.

Les ondulations sont appelés périodique, si la valeur est répété a un nombre illimité, à certains intervalles. Le plus petit intervalle de temps T , qui après avoir répété la valeur (ou la période pendant laquelle la durée du cycle d'oscillation), appelée la période d'oscillation.

Les caractéristiques les plus importantes du processus oscillatoire (vibrations) sont l'amplitude et la fréquence d'oscillations. Le premier est décrit comme le plus grand écart par rapport à la valeur moyenne des valeurs variables (figure. 1. 1). Le second (la fréquence) est le nombre d'oscillations par unité de temps.

L'expression de fréquence est donnés par :

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{HZ}) \quad (1.1)$$

f se mesure en (S^{-1}). On a 1 Hertz (Hz) = 1 oscillation à la seconde.

Autrement dit les oscillations périodiques sont harmoniques (sinusoïdales) et sa valeur varie dans le temps, selon la loi :

$$U(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.2)$$

D'Où :

A, ω, φ : paramètres constants.

A : amplitude (mm).

ω : Fréquence angulaire (rad/s).

φ : phase initiale d'oscillation (rad).

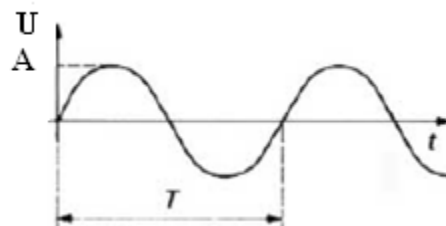


Figure. 1. 1. Oscillation harmonique

La période d'oscillation harmonique est exprimée en termes de fréquence angulaire suivant la formule ci-après :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (\text{s}) \quad (1.3)$$

Conformément. $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (\text{rad/s}) \quad (1.4)$

Phase d'oscillation harmonique définit le sens de modification de la valeur avec l'unité d'amplitude à un moment donné. La phase est exprimée en unités angulaires (radians ou degrés). Pour une représentation visuelle des vibrations harmoniques, vous pouvez utiliser un diagramme circulaire (figure. 1. 2).

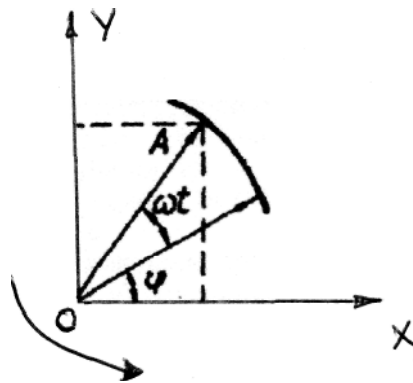


Figure. 1. 2. représentation des vibrations harmoniques

I. 1. 2. Système vibratoire

On distingue deux classes de systèmes :

- Les systèmes conservatifs pour lesquels il y a un échange constant entre les deux formes d'énergie : cinétique et potentielle (c'est-à-dire énergie de déformation des éléments de structure) ;
- Les systèmes dissipatifs pour lesquels on aura décidé d'atténuer les effets en utilisant un amortisseur dissipatif d'énergie qui peut être :
 - à fluide : on utilise les pertes de charge dues à la viscosité du fluide.
 - à frottement solide.
 - à dissipation structurale.

I. 1. 2. 1. Système à un degré de liberté

a)- Vibration libre :

➤ Systèmes conservatifs

Système masse-ressort

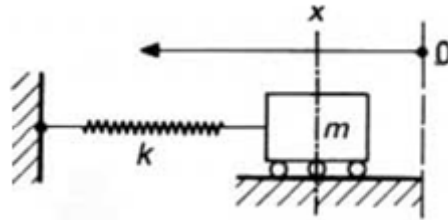


Figure. 1. 3. Masse-ressort.

L'équation qui régit le mouvement d'un tel système est :

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + kx = 0 \quad (1.5)$$

Avec :

M : masses.

K : rigidité de ressort

On déduit :

$$x(t) = A_0 \cos(\omega t + \varphi) \quad (1.6)$$

Avec la pulsation

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{rad/s}) \quad (1.7)$$

➤ Systèmes dissipatifs

• A frottement visqueux

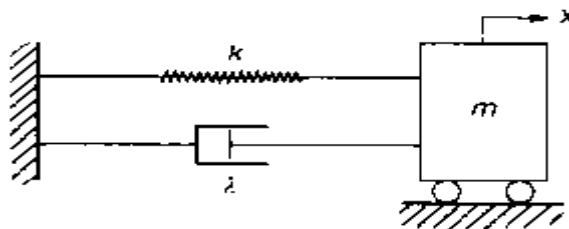


Figure. 1. 4. Frottement visqueux.

Le coefficient d'amortissement visqueux (ou fluide) λ exerce sur le mouvement de la masse m une force d'amortissement $\lambda \frac{\partial x}{\partial t}$ proportionnelle à la vitesse instantanée. L'équation différentielle traduisant le comportement du système (déplacement de la masse $x(t)$ par rapport à sa position de repos après un lâcher) peut s'écrire :

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \lambda \frac{\partial x}{\partial t} + kx = 0 \quad (1.8)$$

Avec :

K : rigidité du ressort qui exprime que la force de rappel est proportionnelle à l'élongation X .

Si on fait le changement de variable $x = Be^{rt}$

L'équation caractéristique est :

$$mr^2 + \lambda r + k = 0 \quad (1.9)$$

Dont les racines sont :

$$r = \frac{-\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 4mk}}{2m} \quad (1.10)$$

Selon le signe de $\lambda^2 - 4mk$, trois cas sont à envisager

- $\lambda^2 - 4mk < 0$, Mouvement périodique amorti ou pseudo-périodique
- $\lambda^2 - 4mk = 0$, Mouvement apériodique critique
- $\lambda^2 - 4mk > 0$, Mouvement apériodique

- **Frottement solide**

$$m\ddot{x} + kx = -\frac{\dot{x}}{|\dot{x}|} F_0 \quad (1.11)$$

- Si $kx_{max} > F_0$, on a atténuation de l'amplitude de l'oscillation
- Si $kx_{max} < F_0$, le mouvement s'arrête

- **Frottement structural**

On est confronté à des matériaux ayant des relations contraintes déformations présentant une boucle d'hystérésis et qui ont la faculté de dissiper de l'énergie.

b)- Vibration forcée :

Le signal exciteur est une force périodique ou un déplacement imposé

- Déplacement imposé $d(t)$

L'équation de mouvement s'écrit :

$$m\ddot{x} + k[x - d(t) - l_0] = 0 \quad (1.12)$$

Soit

$$m\ddot{x} + k(x - l_0) = kd(t) \quad (1.13)$$

Avec l_0 longueur libre du ressort

- Force périodique $f(t)$

L'équation du mouvement s'écrit :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1.14)$$

Avec :

x la variable de position et $\omega_i = \frac{2\pi}{T}$ la Pulsation.

I. 1. 2. 2. Phénomène de résonance :

Le phénomène de résonance peut affecter différentes grandeurs :

- Le déplacement, dont l'amplitude évolue en fonction de la pulsation excitatrice ω_i et passe par un maximum pour une valeur de ω_i dite pulsation de résonance.
- L'accélération, dont l'amplitude passe par un maximum pour une autre valeur de ω_i ceci est à prendre en compte lors du transport de passagers,

Prenons le cas d'une excitation harmonique

$$F(t) = F_0 \cos(\omega_i t + j) \quad (1.15)$$

Sur la figure. 1. 5. On peut voir l'allure des courbes $H(\omega) = \frac{X_{max}}{\frac{F_0}{k}}$ en fonction de $\alpha = \frac{\omega_i}{\sqrt{\frac{k}{m}}}$

pour différentes valeurs du coefficient d'amortissement réduit $\varepsilon = \frac{c}{2\sqrt{km}}$

Apparait clairement le phénomène de résonance de déplacement pour $\omega_i = \sqrt{\frac{k}{m}}$

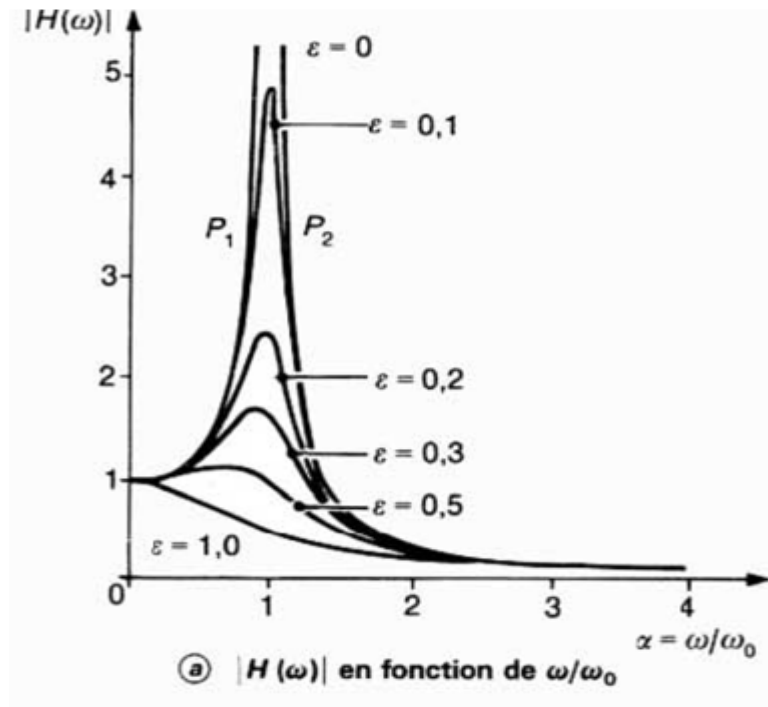


Figure. 1. 5. Le phénomène de résonance.

I. 1. 2. 3. Systèmes à N degrés de liberté

Les équations de Lagrange (qui ici sont très commodes) permettent d'obtenir le système d'équation :

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad \text{avec } \{x\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix} \quad (1.16)$$

I. 1. 2. 4. Vibration libre non amortie

On a alors $[C] = [0]$ et $\{F(t)\} = \{0\}$

L'équation de mouvement s'écrit :

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\} \quad (1.17)$$

D'où :

$$\{\ddot{x}\} + [M]^{-1}[K]\{x\} = \{0\} \quad (1.18)$$

La solution générale s'écrit :

$$\{x(t)\} = \begin{Bmatrix} A_{11} \\ \cdot \\ \cdot \\ A_{n1} \end{Bmatrix} \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + \cdots + \begin{Bmatrix} A_{1n} \\ \cdot \\ \cdot \\ A_{nn} \end{Bmatrix} \cos(\omega_n + \varphi_n) \quad (1.19)$$

➤ **Systeme non amorti**

L'équation du mouvement s'écrit :

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1.20)$$

➤ **Systeme avec amortissement visqueux**

L'équation du mouvement s'écrit :

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \quad (1.21)$$

I. 2. USURE PAR ABRASION

Le processus d'abrasion est défini comme un mécanisme complexe où un matériau à dureté élevée raye une surface antagoniste constituée par un matériau moins dur, engendrant une modification plastique de sa surface. Sa principale caractéristique est l'irréversibilité. L'étude des mécanismes locaux de déformation plastique et de rupture mis en jeu par l'abrasion est alors très importante dans tous les problèmes d'interaction entre surfaces en mouvement. Si, ces dernières années, de nombreuses études ont grandement accru la compréhension de ce procédé, l'évolution constante des caractéristiques métallurgiques, chimiques, mécaniques et structurales des matériaux démontre l'impérative nécessité d'étendre plus en avant le champ d'investigations dans les divers domaines du processus d'abrasion. Celui-ci peut être considéré, dans un cas comme un micro-usinage accompagné d'un taux d'enlèvement de matière (rectification), et dans l'autre comme un phénomène de déformation plastique caractérisé par un faible taux d'enlèvement de matière (usure abrasive).

Dans le cadre spécifique de la rectification, l'analyse du processus d'abrasion peut se décomposer en différentes approches, issues des trois sous-systèmes pouvant être isolés dans

L'environnement du procédé : la meule, la pièce et les grains (figure. 1. 6).

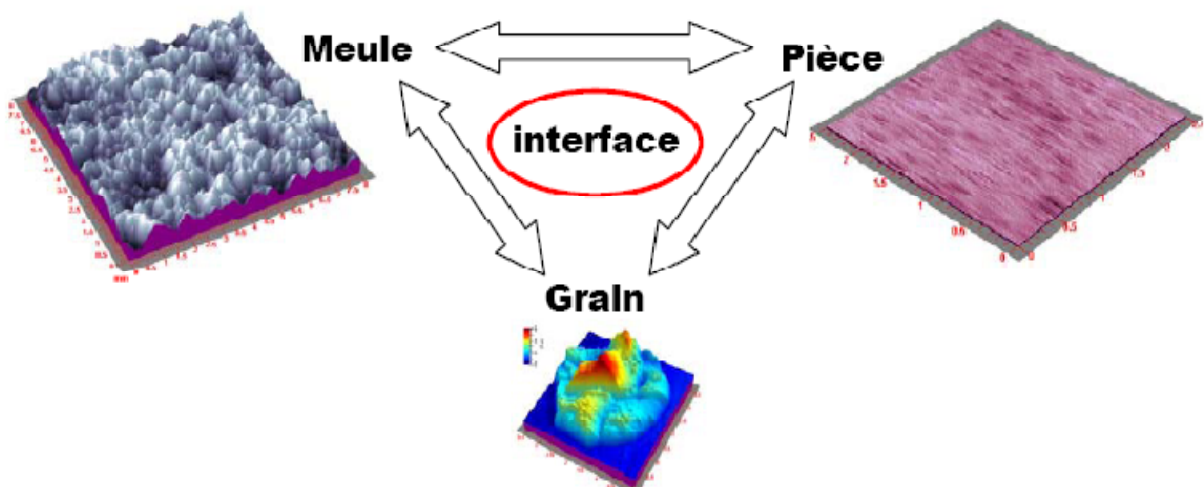


Figure. 1. 6. Environnement du processus d'abrasion en rectification.

I. 2. 1. Points de comparaison entre usinage et rectification

Le travail effectué pendant la formation de copeau est le produit de la puissance mécanique d'entrée durant le temps de rectification. En rectification, la puissance mécanique est égale au produit de l'effort tangentiel et de la vitesse de coupe. La plus importante partie de l'énergie est transformée en énergie thermique, qui est distribuée sur la pièce, les abrasifs, les copeaux, le lubrifiant et l'environnement. Une petite partie de cette énergie est retenue pour la génération de la surface, en tant qu'énergie potentielle résidant dans les copeaux et la pièce sous la forme d'efforts résiduels. La (figure. 1. 7) montre une comparaison de la génération des effets mécaniques et thermiques en coupe (tournage, fraisage) et en rectification.

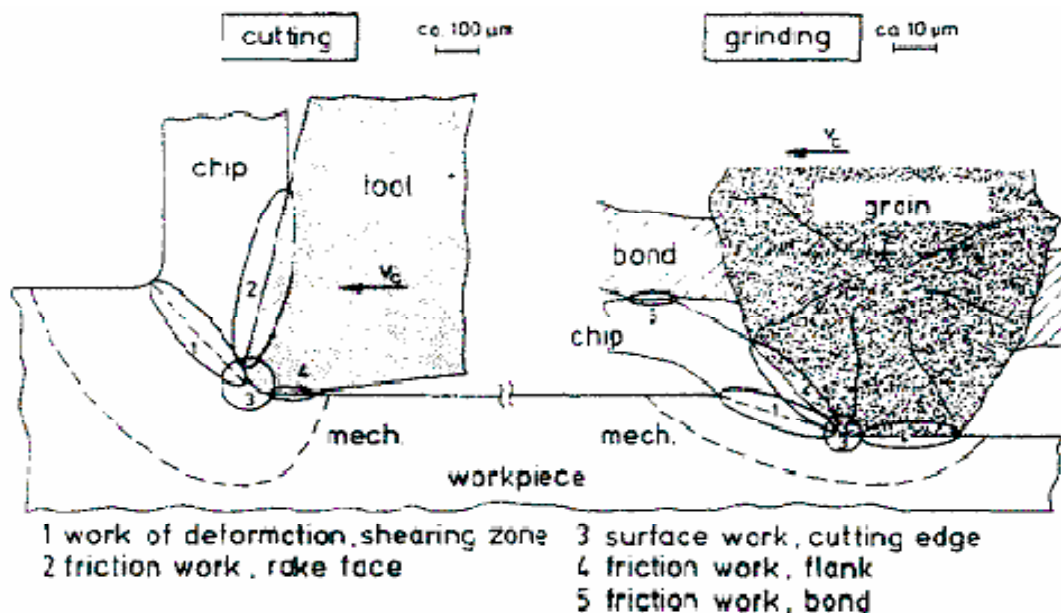


Figure. 1. 7. Effets mécaniques et thermiques en coupe et rectification

I. 2. 2. Analyse mécanique du contact élémentaire

I. 2. 2. 1. Principe d'usure

L'analyse microscopique du processus de coupe par abrasion consiste à étudier l'action d'une particule abrasive élémentaire sur une surface antagoniste. Cette approche est à la base de la compréhension des phénomènes locaux de déformations plastiques et de rupture, mis en

jeu au cours du processus d'abrasion. Le grain, en rectification, ou l'aspérité, en usure abrasive, ont des géométries et des orientations particulières et peuvent posséder plusieurs arêtes et faces de coupe. Ceci engendre un écoulement complexe autour de la particule abrasive pouvant mener à un micro-usinage (rectification) et à un phénomène de déformation plastique (usure abrasive) comme l'illustre la (fig. 1. 8).

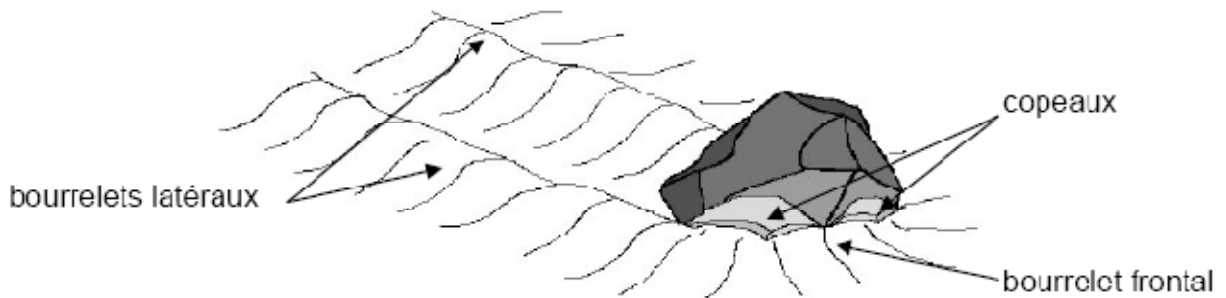


Figure. 1. 8. Grain abrasif en action.

La connaissance des différentes transitions d'écoulement autour d'une particule abrasive, dans des conditions bien établies, permet de mieux maîtriser les mécanismes d'usinage par abrasion et d'usure abrasive. Ceux-ci visent, soit à enlever une certaine quantité de matière en respectant une cote et/ou un état de surface bien définis, soit à limiter les phénomènes d'endommagement engendrés. La complexité géométrique de la particule abrasive rend difficile la compréhension de ces transitions d'écoulement. C'est pourquoi les analyses du contact élémentaire entre une particule et une surface antagoniste ont émergé. Ce type d'approche s'affranchit du problème en affectant à la particule abrasive une géométrie bien définie : cône, sphère, cylindre, pyramide, dièdre... (Figure.1 .9).

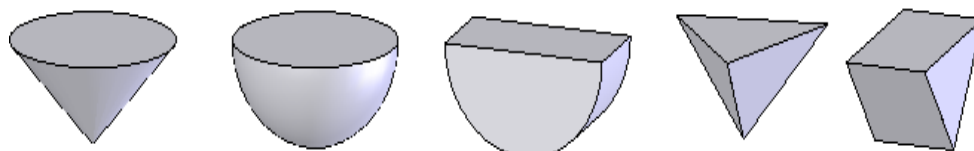


Figure. 1. 9. Géométrie de la particule abrasive.

En réalité, l'abrasion est le résultat de l'action d'une population de particules abrasives de géométries et de dimensions différentes. Une géométrie simple pour modéliser le processus ne trouve donc de sens que dans sa capacité à isoler les paramètres influant sur les modes d'écoulement de la matière autour de la particule. La déformation de la surface sous l'action de la particule abrasive dépend en effet de plusieurs variables :

- la nature des matériaux antagonistes (outil/pièce),
- la forme, la taille et l'orientation de l'outil,
- les forces agissant sur l'outil,
- les trajectoires et vitesses imposées,
- la nature de l'interface outil/pièce.

I. 2. 2. 2. Définitions et principales caractéristiques d'usure par abrasion

L'usure abrasive est due au contact entre une particule et une surface entraînant une perte de matière. L'abrasion peut être à deux corps (les particules abrasives sont enchâssées dans la surface la plus tendre) ou à trois corps (les particules abrasives sont mobiles dans l'interface). L'usure abrasive à deux corps est plus sévère que celle à trois corps. Lors de son passage dans le contact, la particule peut enlever de la matière selon quatre modes d'enlèvement de matière illustrés à la (figure. 1. 10). Elle peut :

- couper, si elle est suffisamment aiguisée,
- repousser la matière en surface (en fonction de la plasticité du matériau et du facteur de Frottement à l'interface),
- provoquer une fracture, si le solide est fragile,
- enlever des grains, si le matériau est insuffisamment homogène (en pratique, ce mode Est principalement observé pour les matériaux céramiques).

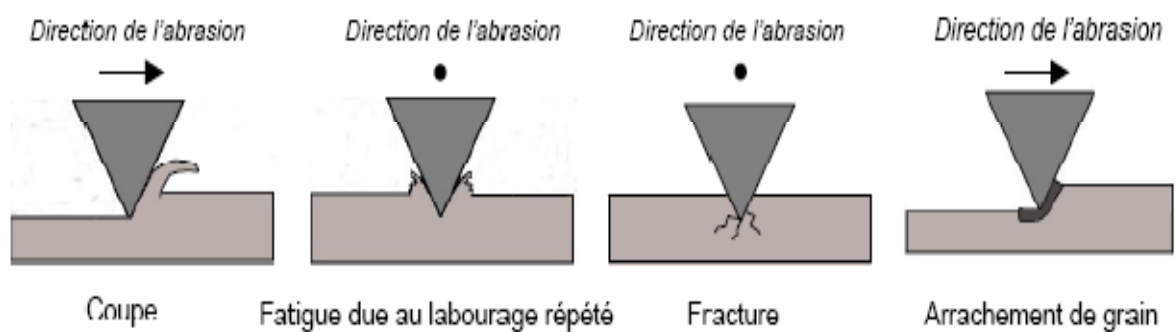


Figure. 1. 10. Mécanismes d'usure abrasive : découpe, fatigue due au labourage répété, fracture et arrachage

Les deux derniers modes d'enlèvement de matière se produisent plus rarement que les deux premiers. Les cicatrices d'usure sont constituées de sillons longilignes parallèles au sens de glissement. La quantification de l'usure abrasive est généralement réalisée à partir du volume de matière enlevé.

Le modèle analytique le plus simple et le plus ancien de l'usure abrasive consiste en l'indentation suivie du rayage d'une surface par un cône (figure.1 .11). Le volume total enlevé dépend alors de la longueur de la rayure, de l'angle d'attaque β du cône, de la charge appliquée et de la dureté du matériau sollicité. Ce calcul s'appuie sur l'hypothèse que tout le volume de matière déplacé par le passage unique du cône est perdu, ce qui est peu représentatif de la réalité. Des modèles plus élaborés d'abrasion à deux corps distinguent le comportement des matériaux ductiles de celui des matériaux fragiles (figure. 1. 12). Le calcul du volume de matière enlevé s'effectue à partir de la profilométrie du sillon abrasif formé. Il tient compte de l'éventuel déplacement (pour les matériaux ductiles à la figure. 1. .12. a) ou enlèvement supplémentaire (dû à la fragilité) de la matière (figure.1 .12. b)

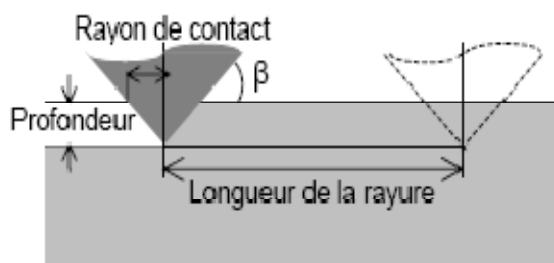


Figure. 1. 11. Modèle de l'usure abrasive par un cône déplacement et d'enlèvement de matière

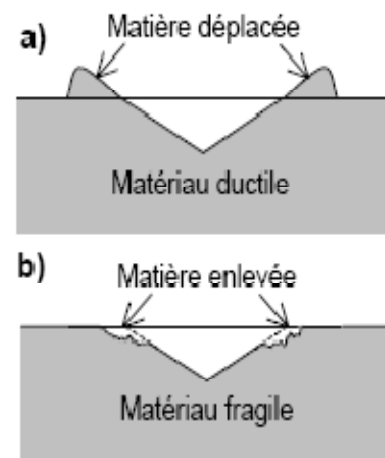


figure. 1. 12. Modèles de
a) matériaux ductiles
b) matériaux fragiles

Le facteur de frottement de labourage est fréquemment calculé à partir de l'angle d'attaque β de l'aspérité et de sa forme. Dans le cas d'une aspérité conique, par exemple :

$$\mu = \frac{2}{\pi} \tan \beta \quad (1.22)$$

Différents modèles permettent de calculer le facteur de frottement en fonction de la morphologie de l'aspérité. Ces modèles ne sont applicables que pour des conditions de contact précises et dépendent du régime de déformation de la matière.

La résistance à l'abrasion dépend de la nature des matériaux sollicités :

Pour les métaux, le volume de matière enlevé est proportionnel à la dureté du matériau. Le paramètre D_p , degré de pénétration, est défini comme le rapport de la profondeur de pénétration de l'aspérité sur le rayon de contact (figure. 1. 11). Il permet de déterminer le degré de sévérité ou niveau moyen de la déformation. En fonction de ce paramètre et du rapport entre la contrainte de cisaillement interfacial τ et la contrainte d'écoulement du matériau k , des cartes définissent les différents modes de déformation des métaux (figure.1 .13) dans un contact abrasif.

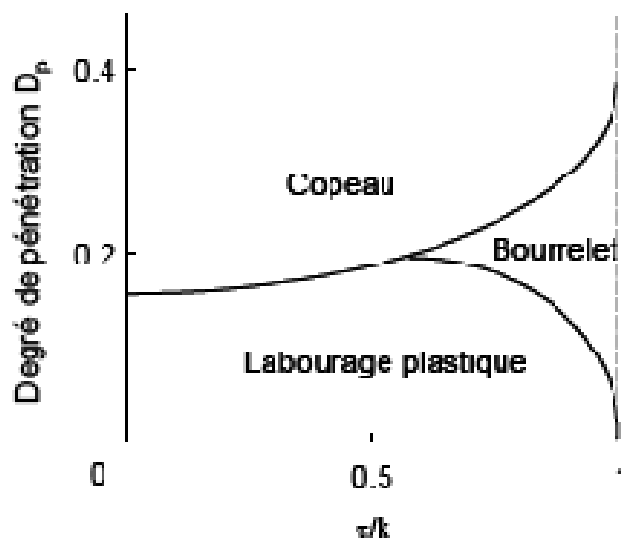


Figure. 1. 13. Modes de déformation des matériaux dans un contact abrasif et influence de la géométrie de l'aspérité des métaux

CHAPITRE II

PROCEDE TECHNOLOGIQUES POUR L'AMELIORATION DE LA QUALITE DE SURFACE ET LA PROPRIETE DES PIECES MECANIQUES

II. 1. INFORMATIONS GENERALES SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DES DETAILS

Pour améliorer la qualité de surface il est intéressant de connaître les conditions de travail, dont les détails sont soumis à des propriétés mécaniques qu'ils possèdent, Pour cela on doit analyser chaque propriété mécanique pour chaque matériau.

- résistance à la fatigue (résistance ou charge cyclique) :

La résistance à la fatigue Caractérise la résistance du matériau sous des charges cycliques.

- résistance à l'usure :

La résistance à l'usure caractérise les propriétés du matériau et sa résistance à l'usure, dans certaines conditions le processus d'usure est le changement graduel de détail.

- la fatigue de contact :

C'est la fatigue de la surface superficielle du matériau, dans des conditions de réception de charges répétées sur la surface de contact.

- la résistance à la corrosion :

Caractérise la résistance du matériau à la corrosion.

II. 2. L'influence des paramètres technologiques sur l'exploitation des pièces mécaniques

Les détails sont caractérisés par leur milieu d'utilisation, les conditions de travaux, et le lieu d'exploitation.

Il existe plusieurs paramètres technologiques dont les détails sont les suivants :

- les paramètres physico-mécaniques.
- Les paramètres géométriques.
- Les paramètres des surfaces superficiels (rugosité, microdureté, les contraintes résiduel).
- La structure de matériau.

Il existe plusieurs défauts technologiques générés par l'opération d'usinage ainsi on peut remédier par la méthode de vibro-abrasion : a titre d'exemple la microfissure, la rayure, l'enfoncement et la bavure...

II. 3. INFLUENCE DE LA QUALITE DE SURFACE SUR LES PROPRIETES MECANIKES ET LES DETAILS

La notion de la qualité de surface est défini par plusieurs paramètres :

- Rugosité de surface.
- Paramètre physico-mécanique de surface.
- La résistance a l'usure : d'après le Pr. KOSTETCECKI il existe plusieurs principaux types d'usures des pièces mécaniques
La fixation, l'oxydation, la chaleur, (fatigue d'usure)

Selon la classification de KRAGULESKI on examine deux types d'interaction de frottement de surface :

- L'interaction mécanique.
- L'interaction moléculaire (prise, et l'attraction).

Selon la classification de KHRUSHEV tous types d'usure sont divisés en 3 groupes :

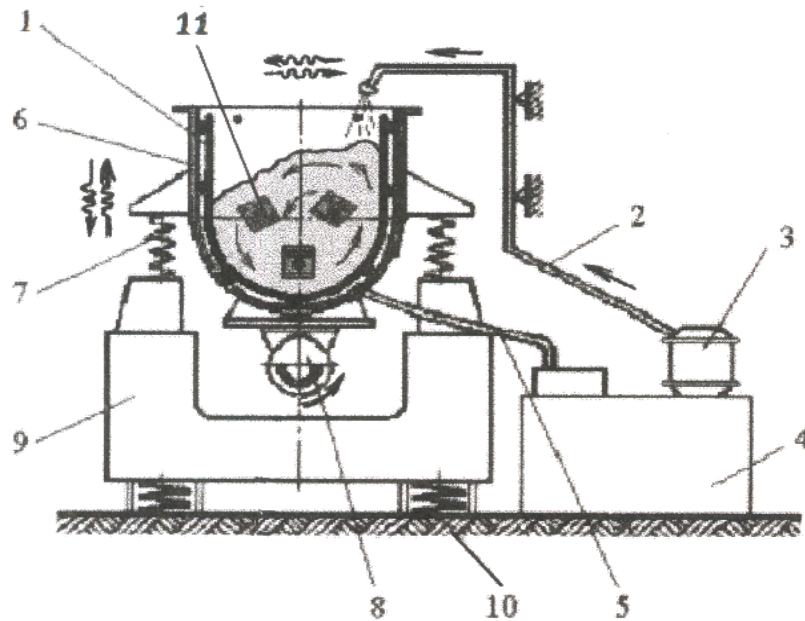
- L'usure mécanique.
- L'usure mécano-moléculaire.
- Corrosion mécanique.

II. 4. LA QUALITE DE SURFACE SELON LA METHODE TMVA

II. 4. 1. L'essentiel de la méthode TMVA et les possibilités technologiques

Le TMVA est un procédé mécano-chimique qui a pour but d'abolir les particules métalliques et ses oxydes présent sur la surface traitée. Ainsi que la déformation plastique de la couche superficielle des éléments de contact.

Dans le processus de traitement des micro impact sont produit dans différents angles entre l'outil et les pièces a traiter



1 : enchâssement. 2 : tube pour le fluide (eau et l'additif chimique). 3 : pompe. 4 : réservoir.
5 : tube pour épanchement. 6 : chambre de travail. 7 : ressort spiral. 8 : moteur.
9 : fondation. 10 : amortisseur. 11 : pièce à traiter.

Figure. 2. 1. Schéma pour les traitements des métaux par vibro abrasion

On générale la méthode de TMVA est caractérisée par les phénomènes suivant :

- L'impact dynamique du milieu actif est sous la forme de plusieurs collisions des particules sur la surface des pièces traitée.
- L'interaction mécanique de milieu actif et de matériau de détail.

➤ Le choc acoustique sous l'explosion des ondes.

Les deux premiers phénomènes causent principalement des changements sur la surface et surtout sur la surface des couches minces, la différence de choc acoustique est un phénomène qui est caractérisé par l'influence des ondes sur la structure du matériau, ainsi que le changement au niveau de contrainte résiduelle et aussi au niveau de l'état énergétique. La vibration et la déformation plastique active au processus physico-chimique. Qui se produit sur la surface des pièces traitées.

Le TMVA représente un ensemble complexe des phénomènes mécano physico chimique, la nature de phénomènes est caractérisée par :

- La propriété physique du milieu actif (abrasifs, granulations...).
- Les caractéristiques du matériau de la pièce traitée.
- Les paramètres dynamiques du processus qui reflètent le régime de traitement.
- La composition, les propriétés et la qualité de l'additif chimique.

Dans le processus et selon le schéma de base l'échantillon et le milieu actif sont constamment confrontés à une accélération, il y aura deux types de mouvement : un mouvement de vibration et un deuxième mouvement de rotation lent. Dans ce processus l'échantillon peut prendre plusieurs positions dans le milieu actif, dont le but est de lui assurer un traitement uniforme sur toute la surface, l'échantillon reçoit un grand nombre de micro impact dans des directions différentes.

Sous l'influence des vibrations, le traitement se produit relativement uniformément dans toutes les zones de la chambre de travail.

L'intensité du traitement se produit beaucoup plus dans le fond de la chambre de travail où la pression est la plus élevée. Pour avoir un traitement uniforme au niveau de toute la chambre de travail (au niveau des parois comme au fond de la chambre de travail) on ajoute une pression supplémentaire, le traitement est effectué principalement par une alimentation continue et périodique de fluide dans la chambre de travail. Le fluide assure l'élimination des produits d'usure et les particules du métal... avec les pièces traitées. Le changement du niveau de fluide influe sur l'intensité du traitement.

L'additif chimique rajouté au fluide ayant des propriétés particulières dans le but d'améliorer l'intensité du traitement et de la qualité de surface, le fluide joue aussi un rôle de refroidisseur.

Le choix des abrasifs dépend de l'utilisation et de l'exploitation on utilise divers types de matériaux d'abrasifs. On utilise des outils non métalliques (plastique, porcelaine...), sous des formes et des tailles différentes.

L'intensité du traitement par vibro-abrasion dépend de différents facteurs qui sont :

-le régime du traitement (l'amplitude, la fréquence, la durée du traitement, la taille et la forme des particules).

-les paramètres du traitement (la force de l'impact « micro-impact », les caractéristiques des particules et leur vitesses, l'accélération, la pression et la température dans la chambre de travail).

Les paramètres de processus sont :

- La force de l'impact
- La vitesse et l'accélération des particules
- La pression de contact et les contraintes
- La température

Le procédé de la TMVA est accompagné de phénomènes et de caractéristique qui sont les suivant :

- L'ensemble des micros impact sont des particules reçues dans différentes directions qui ont pour but d'assurer un effet uniforme et complet sur les surfaces, les détails dépendent des caractéristiques des medias et leurs compositions, des conditions de processus de micro-usinage et de la déformation élastoplastique répété.
- des accélérations variables sont provoquées au cours du processus.
- L'action chimique et les substances actives provoquent le processus physico-chimique.

On analyse les paramètres du processus qui peuvent nous fournir des possibilités technologiques :

- Le micro usinage et la déformation plastique superficielle sont des éléments de base parmi de nombreuses méthodes et des procédés mécaniques utiliser pour le traitement des métaux.

II. 4. 2. La rugosité de surface :

Une surface est caractérisée par son profil $z(x)$ ou z est la hauteur des points de surface (figure. 2. 2). L'origine est centrée sur la hauteur moyenne du profil ($z = 0$) et l'amplitude du profil moyen de rugosité R_a est définie comme :

$$R_a = \frac{1}{L_p} \int_0^{l_p} z \, dx \quad (2.1)$$

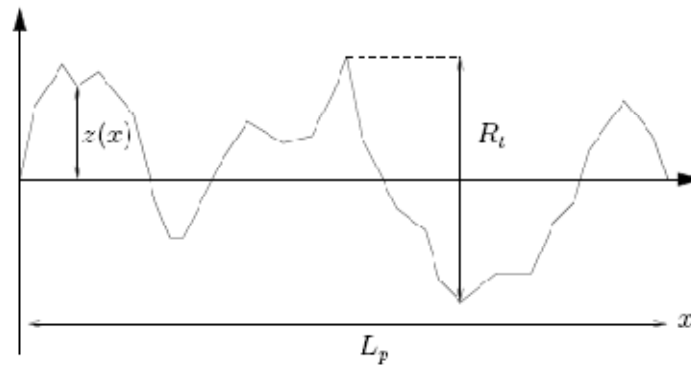


Figure. 2. 2. Exemple de trace du profil métrique

L'écart type de la distribution σ est défini comme :

$$\sigma^2 = \frac{1}{l_p} \int_0^{l_p} Z^2 \, dx \quad (2.2)$$

La distribution $\Phi(z)$ définit la répartition des sommets de hauteur z qui peut-être Gaussienne, exponentielle ou autre. Typiquement, elle est considérée gaussienne $\Phi(z) = g(z)$ avec :

$$g(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (2.3)$$

Φ est appelée distribution cumulative et indique le nombre de sommets dont la Hauteur dépasse z :

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} \, dz \quad (2.4)$$

La hauteur entre les sommets les plus hauts et les vallées les plus profondes s'appelle la hauteur crêtes/crêtes R_t et vaut :

$$R_t \approx 6\sigma \quad (2.5)$$

Un autre paramètre important d'une surface rugueuse est la portance. Elle définit le pouvoir de retenue d'un lubrifiant par capillarité et également son étanchéité. La portance s'exprime comme le rapport entre l'aire totale de contact (obtenu par Tronquage des altitudes de rugosité) et celle du plan de tronquage considéré. La Courbe de portance est la courbe représentante de l'évolution du taux de portance Suivant le niveau de coupe :

$$\phi(c) = \int_c^{z^{max}} \phi(x, y). dz \quad (2.6)$$

Le taux de portance est le rapport entre la longueur portante (ou la surface portante) et la longueur d'observation l_p (ou la surface d'observation). l_p est la longueur d'étude choisie pour extraire les paramètres tribologiques.

Le changement de la hauteur de micro irrégularité de la surface dépend du traitement lui-même, à titre d'exemple le schéma ci-dessous qui représente une surface après usinage :

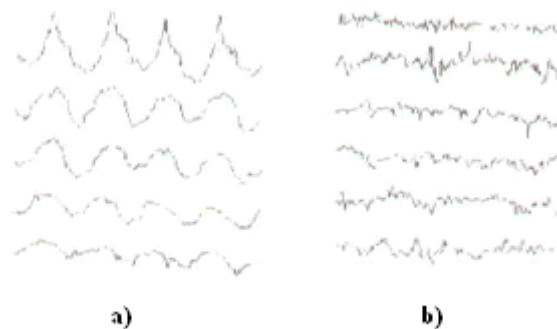


Figure. 2. 3. La variation successive de micro aspérité suivant

a) tournage, b) rectification

La surface est exposée au cours du traitement à la vibro-abrasion, pour un temps compris entre (60...300 min) représente un ensemble de traces (des longues rayures).

Le schéma ci-dessous représente la dépendance de la rugosité (Ra) par rapport à la granulation d'abrasive pour quelques matériaux, à titre d'exemple on a le changement de granulation de 63 à 4 la hauteur de la micro-irrégularité pour les matériaux FGL 12 -

FGL 28 diminue de 3 à 0.1 μm .

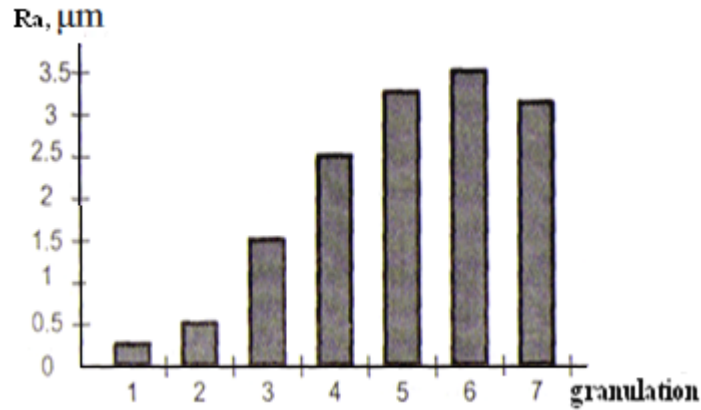


Figure. 2. 4. La dépendance de la rugosité (Ra) par rapport à la granulation abrasive

Si on prend un autre matériau d'acier trempé, la hauteur de micro-irrégularité change de 2.2 à 0.71 μm avec la même granulation.

Ce schéma représente l'influence de la liaison de la granulation abrasive sur la rugosité des surfaces

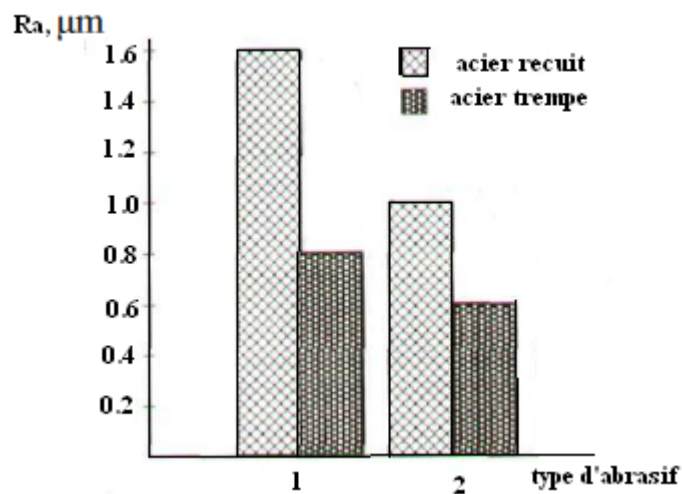


Figure. 2. 5. L'influence de la granulation d'abrasif sur la rugosité de surface d'un matériau en acier

1) granule en céramique, 2) en bakélite

D'après ces résultats on constate que pour le traitement de l'acier trempé avec du bakélite à atteint 0.6 μm et pour l'acier recuit 1 μm. Par contre le traitement avec de la céramique d'un acier trempé 0.8 μm et pour l'acier recuit 1.6 μm. Il ne faut pas oublier de mentionner que la taille et la forme de granulation d'abrasive influe sur l'état de surface .La variation de l'état de

surface pour une granulation est différente d'un matériau à un autre. Ce résultat s'explique par le fait que la bakélite est plus dure que la céramique

Le schéma suivant représente l'influence du rayon d'arrondissement de la granulation d'abrasifs sur l'état de surface.

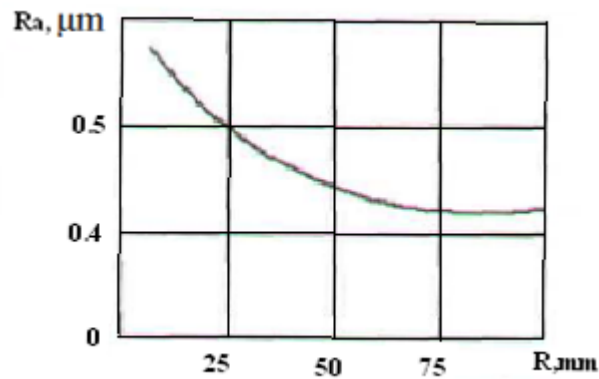


Figure. 2. 6. L'influence de rayon d'arrondissement des granules abrasifs sur la rugosité de surface à traiter.

- **L'influence de l'additif chimique sur la rugosité des surfaces :**

Tableau. 1. représente l'influence de l'additif chimique sur la rugosité.

| Types d'abrasif | Additif chimique | Durée de traitement (heures) | Rugosité (μm) |
|-----------------------------|--|------------------------------|---------------|
| En porcelaine | Solution de soude+ 0,5% de l'acide oléylique | 1 | 0.15 |
| En verre | 1% d'une solution acide stéarique | 1 | 1.25 |
| Bille en acier Φ4 – 8 mm | Solution savon+1% de l'acide oléylique | 1 | 0.2 |

- **L'influence de la rugosité sur la dureté du matériau traité :**

D'après le diagramme ci- après on constate qu'avec l'augmentation de la dureté du matériau à traiter (120...170 HB) la rugosité diminue.

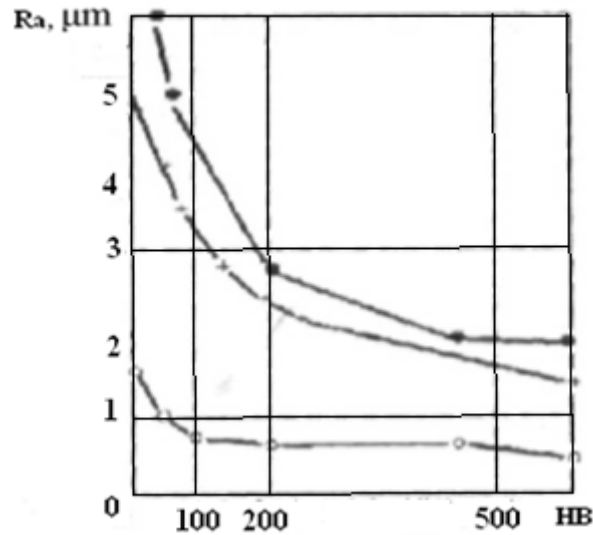


Figure. 2. 7. La dépendance de hauteur de micro-aspérité et la dureté de matériau a traité

Tableau. II. Représente la variation de rugosité selon le matériau et l'amplitude.

| matériau | opération | Rugosité (μm) | amplitude |
|--------------|---------------|----------------------------|-----------|
| FGL 12-28 | rectification | Ra=0.9 | A=1 mm |
| | | Ra=2.7 | A=4 mm |
| acier | // | Ra=0.7 | A=1mm |
| | | Ra=2.4 | A=4mm |
| Acier trempé | // | Ra=0.17 | A=1 mm |
| | | Ra=1.4 | A=4 mm |
| Bronze | // | Ra=1.27 | A=1 mm |
| | | Ra=2.5 | A=4 mm |

L'influence de la durée du traitement par vibro-abrasion sur la rugosité des surfaces et les détails du traitement, a titre d'exemple : un matériau en acier doux

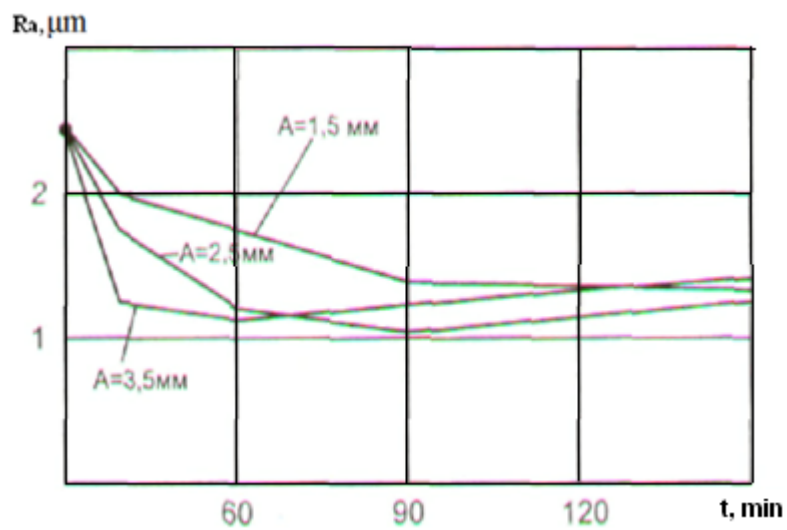


Fig. 2. 9. L'influence de la durée de traitement sur la rugosité superficielle d'un acier avec variation de l'amplitude

Si On prendre le même matériau avec rugosité initiale différent



Fig. 2. 10. L'influence de la durée du traitement sur la rugosité d'échantillons en acier :

1-rugosité initiale 0.53 μm

2- rugosité initiale 0.28 μm

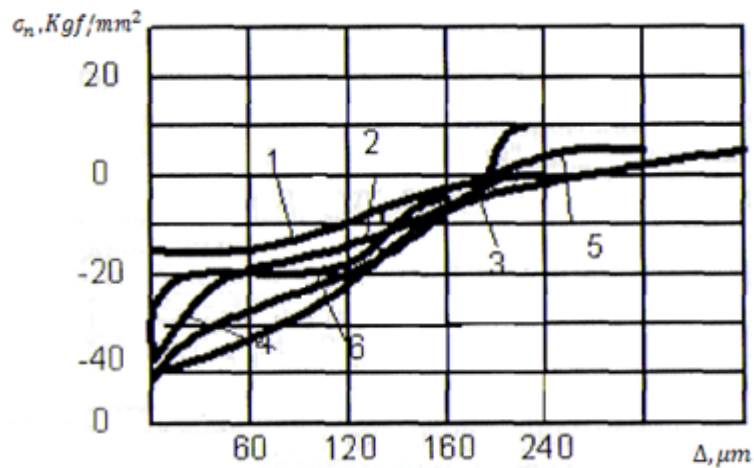
II. 4. 3. La contrainte résiduelle

Pour un premier temps Il est intéressant d'examiner l'influence des différents paramètres, les contraintes résiduelles, microdureté et la structure.

Pour déterminer la contrainte résiduelle, on utilise la méthode d'excitation superficielle des métaux, la mesure de la déformation et le calcul de la contrainte.

Les essais effectués sur des différents échantillons à surface plane en acier à l'état recuit et trempé, on prenant compte du traitement thermique subit, les échantillons ont été soumis à une rectification sans refroidissement, tous les échantillons avaient après la rectification des contraintes résiduelles tirées sur la couche superficielle.

Les résultats de traitement sur la (figure. 2. 11).



a)

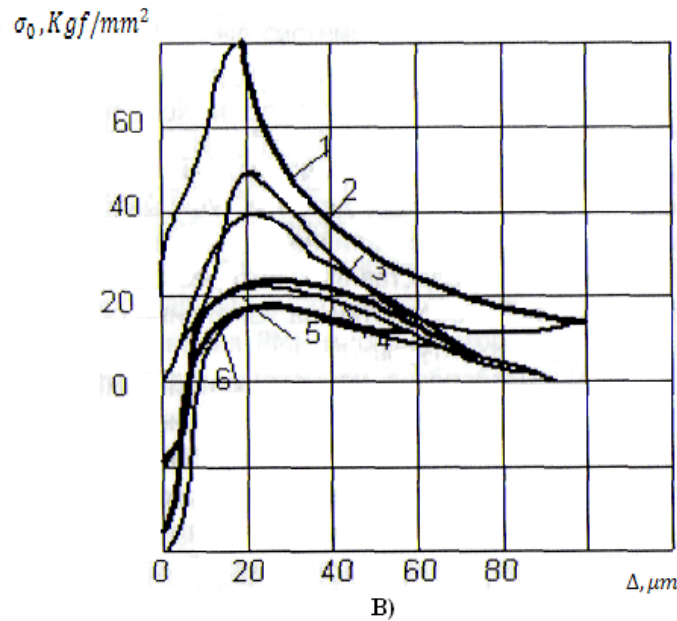


Figure. 2. 11. Distribution des contraintes résiduelles sur la couche superficielle d'échantillons en acier: (a) recuit et (B) trempé ; pour : 1 - 30 ; 2 - 60; 3 - 90 ; 4 - 120 ; 5 - 240 ; 6 - 480 min

Pour les échantillons en acier recuit dans l'intervalle de traitement des couches superficielles, on constate d'après le schéma que les contraintes résiduelles se trouvent l'état de compression et suit l'interaction d'un ensemble de micro-impact, les particules sur la couche traitée superficielle, et la déformation de cette dernière.

Pour les échantillons en acier trempé, on constate que sur la couche superficielle mince (5...20 μm), la répartition des contraintes résiduelles plus ou moins se retrouve à l'état de traction, La compression des contraintes résiduelles d'après le diagramme varie entre 15 et 38 Kgf/mm^2 , Ou la durée du traitement est plus grande et peut aller jusqu'à 480 min,

- **L'influence de la fréquence d'oscillation sur la contrainte résiduelle**

Sur le diagramme on montre la répartition des contraintes résiduelles pendant une durée de traitement, on constate que d'après le TMVA, et pour une durée de traitement de 120 min avec une fréquence qui varie entre 15 et 33 HZ. Avec une amplitude $A=1,25\text{mm}$.

La contrainte résiduelle tractive se transforme en contraintes résiduelles compressives.

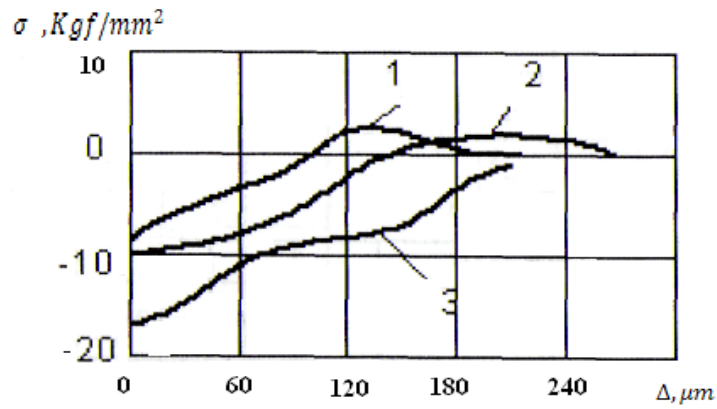


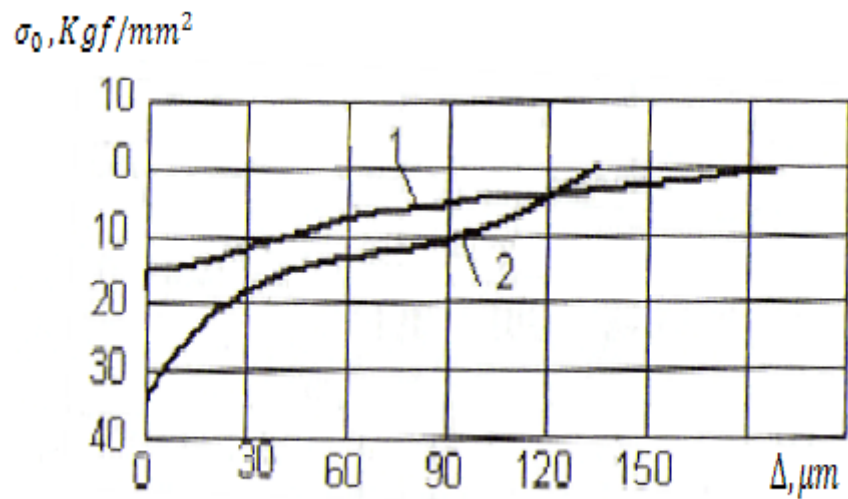
Figure. 2. 12. L'influence de la fréquence des oscillations dans la répartition des contraintes résiduelles sur la profondeur de la couche de surface de la pièce:

1 - 15 ; 2 - 25 ; 3 - 33 Hz

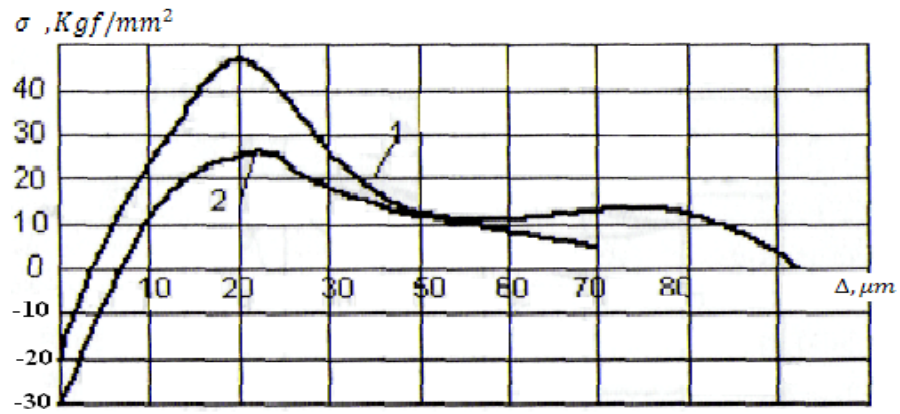
- L'influence de l'amplitude d'oscillation sur la propagation des contraintes résiduelles

Des échantillons en acier doux avec des amplitudes différentes : 1-A=1,5 mm ;

2-A=3 mm



a)

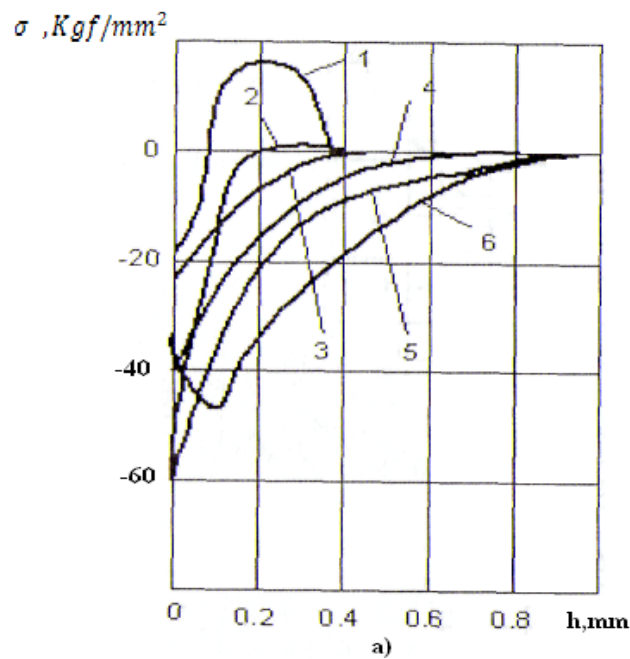


b)

Figure. 2. 13. L'effet de l'amplitude des oscillations sur la répartition des contraintes résiduelles dans les échantillons d'acier: (a) recuit; (b) trempé Sous: 1 - A = 1,5 ; 2 - A = 3 mm.

- **L'influence des médias sur la contrainte résiduelle**

Pour l'acier trempé et recuit avec une fréquence $f=33\text{HZ}$, et amplitude $A=1,5\text{ mm}$ on a :



a)

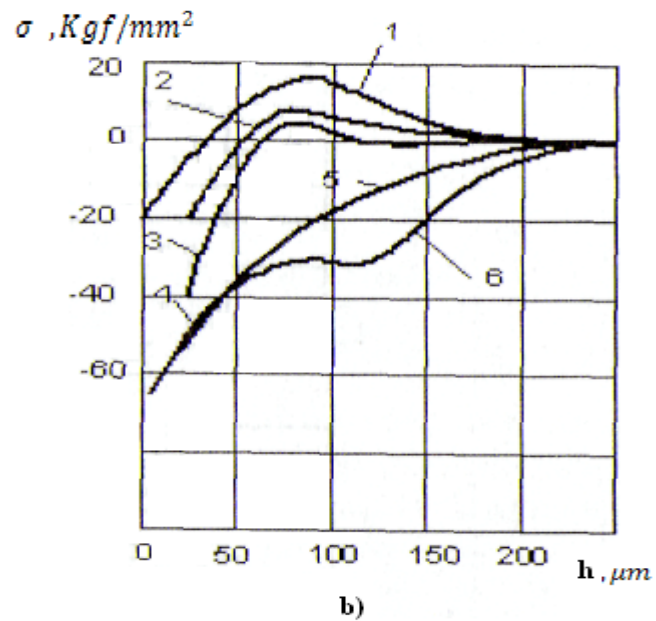
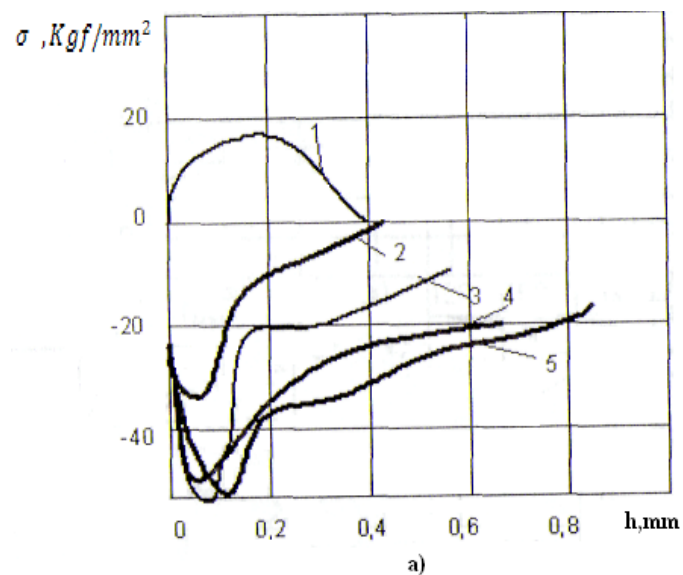
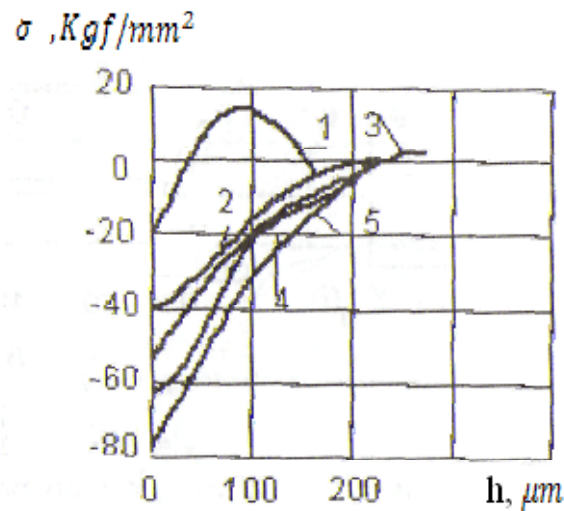


Figure. 2. 14. Distribution des contraintes résiduelles dans divers échantillons d'acier: a) - recuit, b) - trempé, sous $f = 33$ Hz et ($A = 1,5$ mm), 1 - l'original, 2 - milieu abrasif, 3 - les billes en acier $\Phi 9$ mm ; 4 - billes de $\Phi 16$ mm, 5 - rouleau 15×15 mm, 6 - rouleau 20×20 mm.

- L'influence du poids des pièces traitées sur la propagation des contraintes résiduelles





b)

Fig. 2. 15. L'effet du poids des pièces traitées sur la distribution de contraintes résiduelles dans la couche de surface de l'acier: a) - recuit, b) - trempé, 1 - l'original, 2 - 0,05 ; 3 - 0,3 ; 4 - 0,5 ; 5 - 1 kg.

D'après le schéma on constate que la propagation des contraintes résiduelles dépend de traitement des échantillons en acier trempé et recuit de différent poids. Avec (des rouleaux 20×20mm) et avec une fréquence $f=33$ HZ, et $t A= 1,5$ mm, pour une durée de traitement de 60 min, et avec augmentation du poids des échantillons, la valeur de contrainte résiduelle augmente et la profondeur de la couche superficielle augmente. Cela s'explique par l'augmentation du poids des échantillons et la quantité d'énergie formée sur la couche superficielle déformée augmente, en comparaisent avec l'énergie formée pour le déplacement des échantillons.

La formation de la contrainte résiduelle selon le TMVA se produit sous l'influence des conditions du traitement et l'état initial du matériau,

Suite a l'impact sur la pièce à traitée des traces se forment sur la couche superficielle, après un certain temps la couche superficielle acquit de nouvelles caractéristiques, la formation de la couche superficielle est effectuée sur toute la surface simultanément et de manière uniforme.

II. 4. 5. MICRODURETE

La micro dureté (H_μ) est une propriété physico-mécanique de la couche superficielle d'un échantillon, est considérée comme le résultat d'une déformation élastoplastique, provoquée par l'effet de choc, qui accompagne l'effet de vibration. Les plus influents sur la micro dureté sont :

Le régime du traitement, la durée du traitement, l'état initial du matériau, les caractéristiques des médias, les additifs chimiques, la température et la profondeur (épaisseur) de la couche superficielle (a) qui est déterminée par l'équation connue :

$$a = \sqrt{\frac{F}{\sigma}} \quad (2.7)$$

D'ou :

f - la force de l'impact ;

σ - la limite élastique du matériau.

Le nombre de coup pour la formation de la couche superficielle :

$$N_n = \frac{1,27 \cdot d_{ct} \cdot K \cdot K_{rf}}{d_e} \quad (2.8)$$

$$d_e = \frac{a}{1,5} = \sqrt{\frac{\frac{F}{2 \cdot \sigma_s}}{1,5}} \quad (2.9)$$

Nous obtiendrons après les changements

$$N_n = \frac{1,9 \cdot d_{ct} \cdot K \cdot K_{rf}}{\sqrt{\frac{F}{2 \cdot \sigma_s}}} \quad (2.10)$$

Le temps nécessaire pour le traitement de toute la surface, est déterminé par le nombre des empreintes.

$$T = \frac{N_n}{N_e} ; \quad N_e = N_c \cdot K_N = n_K \cdot K_N$$

$$T = \frac{1,27 \cdot d_{ch} \cdot K \cdot K_{rf} \cdot K_{pAV}}{\sqrt{\frac{F}{2 \cdot \sigma_s}} \cdot n_K \cdot K_N} \quad (min) \quad (2.11)$$

D'ou :

N_e - nombre efficace de micro coups ;

n_K - la fréquence d'oscillation par minute ;

K_N - coefficient, qui prend en considération le nombre de micro coup ;

N_p - la quantité de micro coup.

Les résultats des essais du procédé de durcissement superficiel et ses paramètres sont représentés ci-dessous ; qui influe sur le changement de la micro dureté de la couche superficielle de différents matériaux (fig. 2. 16).

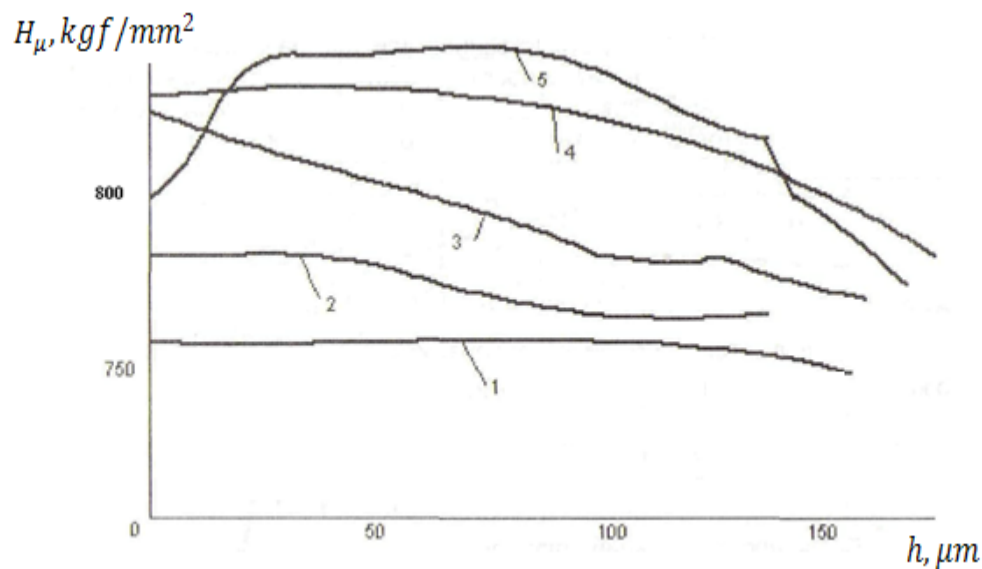


Figure. 2. 16. Variation de H_μ de la couche superficielle d'un matériau doux Pour $f=30$ HZ :

1- matériau a l'état initial ; 2- $t=60$ min ; 3- $t=120$ min ($A=2.5$ mm) ; 4- $t=120$ min ; 5- $t=180$ min ($A=4.5$ mm).

Le traitement a été effectué en utilisant des billes en acier de diamètre $d=8$ mm. On remarque que l'utilisation du régime sévère ($A=4.5$ mm) avec une augmentation de la durée du traitement jusqu'à 180 min , on a eu comme résultat, un mauvais état de surface et une réduction de la micro dureté.

pour traiter un échantillon en acier dans un milieu de bille en acier de diamètre $d=2$ et 8mm , et aussi dans un milieu des billes en alliage dur de diamètre $d = (5 \text{ et } 9) \text{ mm}$, les résultats des essais ont prouvés que le traitement dans le milieu des billes en alliage dur est accompagné de changement plus apparents sur la structure et de micro dureté sous forme de carbures finement dispersés avec l'épaisseur de la couche superficiel $400 \mu\text{m}$ et le degré durcissement 18% (figure. 2. 17).

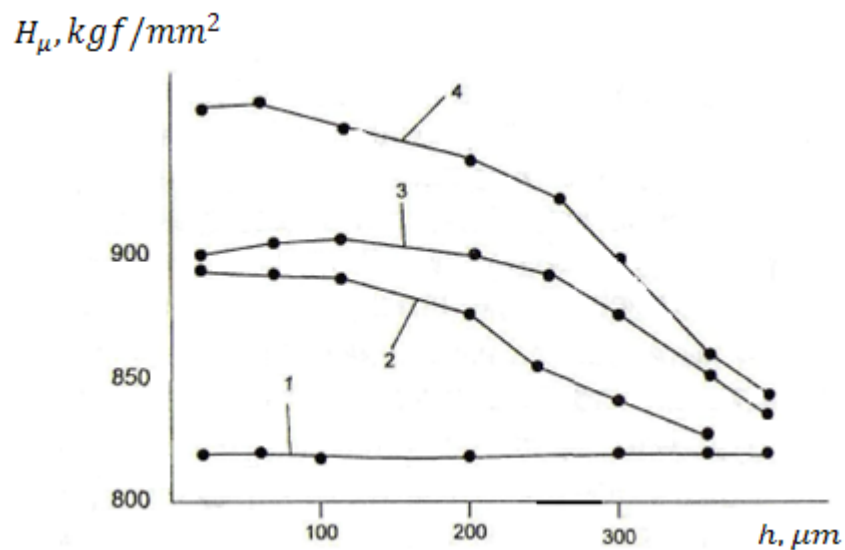


Figure. 2.17. Variation H_μ pour un échantillon en acier Avec un régime de : $A=4.5 \text{ mm}$ et $f=30 \text{ HZ}$; 1- le matériau a l'état initial ; 2- $t=60 \text{ min}$; 3- $t=120\text{min}$ avec le milieu qui contient des billes en acier ; 4- $t=120 \text{ min}$; avec des billes en alliage dur.

Pour le traitement par vibro-abrasion d'un alliage en aluminium dans un milieu qui contient des billes en acier de diamètre $d=8 \text{ mm}$, avec une amplitude $A=2,5 \text{ mm}$ pendant $15\dots45 \text{ min}$, on a constaté une augmentation de la micro dureté sur une profondeur de $150\dots450 \mu\text{m}$. (Figure. 2. 18.)

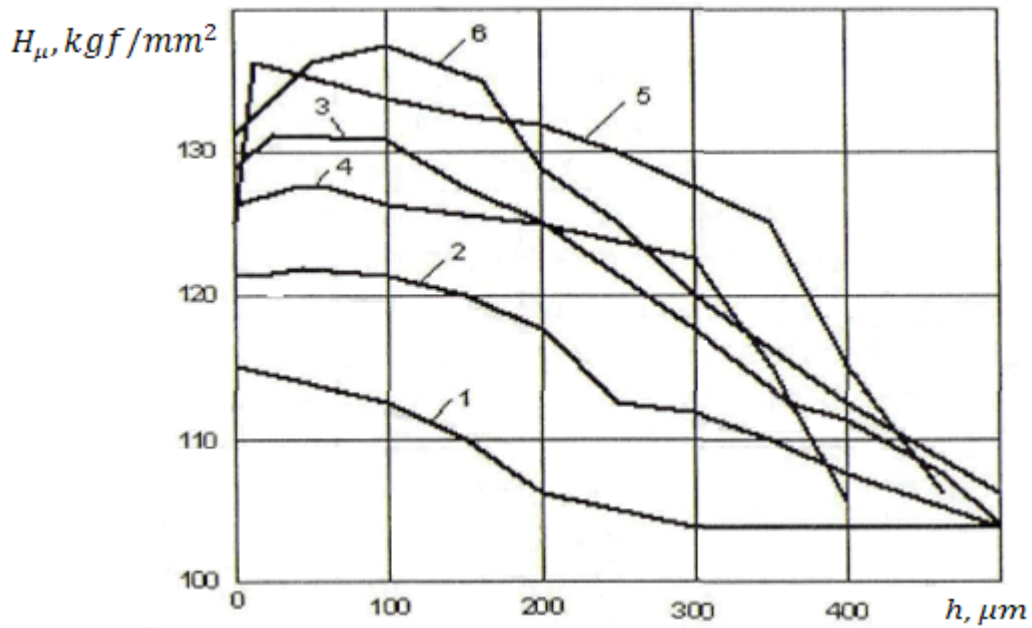


Figure. 2. 18. L'influence du régime de traitement sur la micro dureté de la couche superficielle d'un échantillon en alliage d'aluminium.

1- A=2,5 mm, t= 15 min, d = 8 mm ;

2- A=2,5 mm, t= 30 min, d=8 mm ;

3- A=2,5 mm, t=45 min, d=8 mm ;

4- A=4,5mm, t=30 min, d=8 mm ;

5- A=4,5 mm, t=45 min, d=8 mm ;

6 - A=4,5mm, t=45 min, d=14 mm ;

L'augmentation de la durée du traitement par vibro-abrasion et l'augmentation de l'amplitude d'oscillations, sont accompagnées d'une augmentation de l'épaisseur de la couche superficielle.

L'essai expérimental montre que la profondeur de la couche superficielle se développe avec une augmentation de l'amplitude et de la fréquence des vibrations, de la masse des pièces

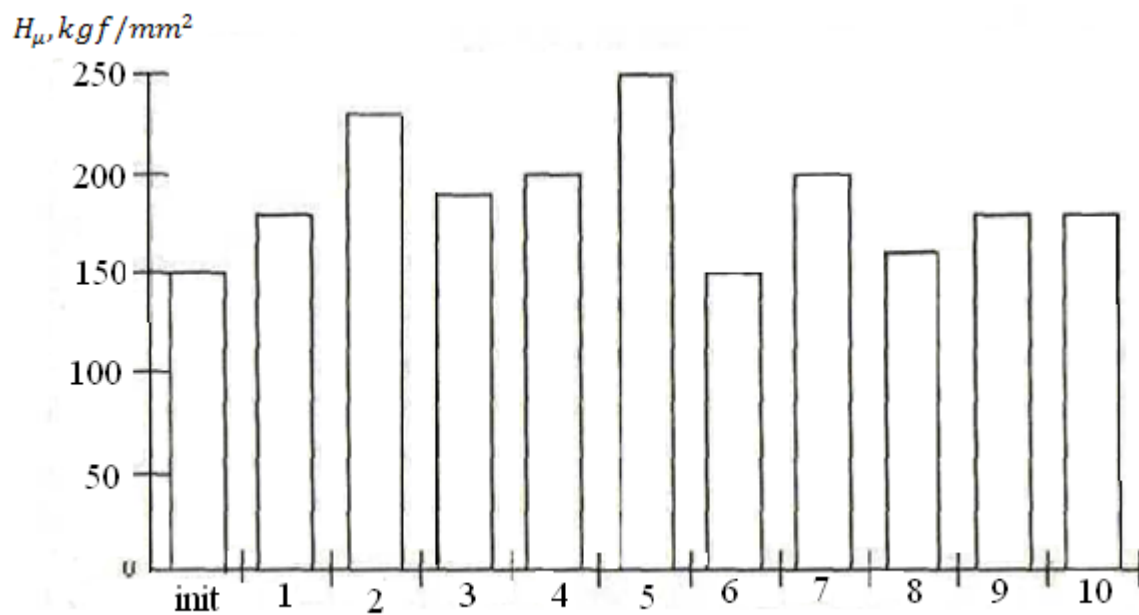
(échantillons), du poids, de la dureté des particules du milieu actif, et aussi de la durée du traitement.

L'influence du milieu actif sur le changement de la microdureté de la couche superficielle des échantillons en milieu des billes et rouleaux en acier trempé de différentes tailles, et aussi avec d'autres médias :

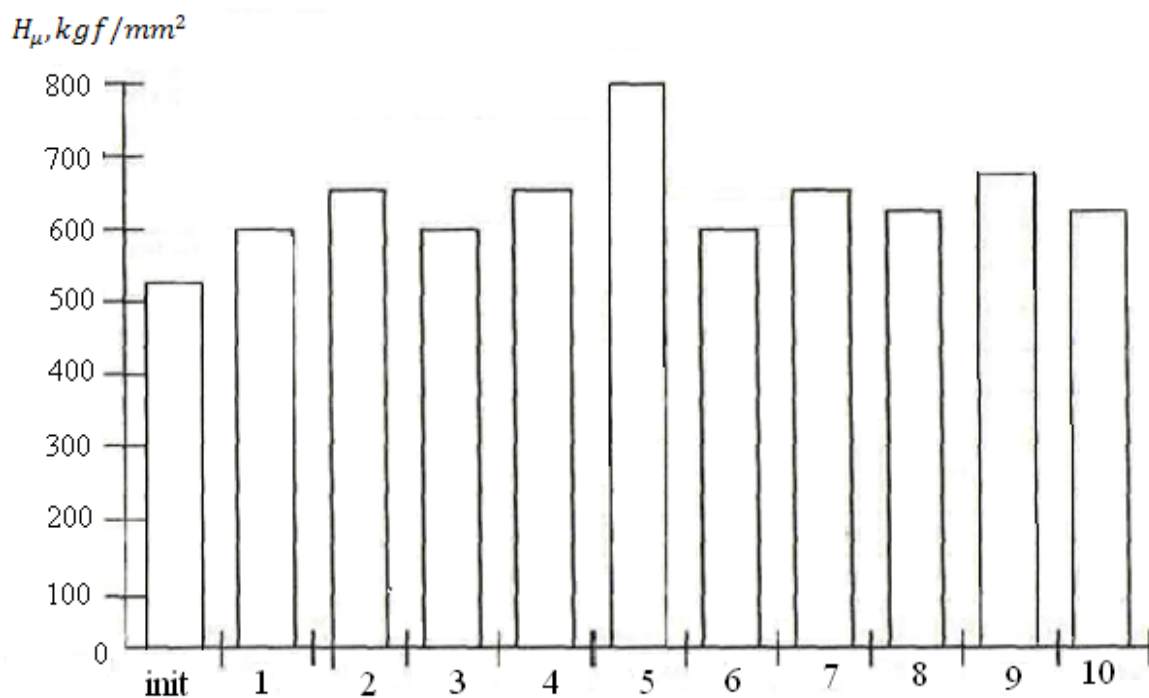
Tableau. III. Représente L'influence du milieu actif sur le changement de la microdureté de la couche superficielle

| N° milieu de traitement | Caractéristique et dimension de milieu de traitement | |
|-------------------------|--|-------------------|
| 1 | billes en acier trempé | d=3-4mm |
| 2 | billes en acier trempé | d=9mm |
| 3 | billes en acier trempé | d=16mm |
| 4 | Rouleaux en acier trempé | d=15mm ; L=15mm |
| 5 | Rouleaux en acier trempé | d=20mm ; L=20mm |
| 6 | acier coupé | d=20mm ; L=2,5 mm |
| 7 | fil métallique en acier | d=2mm ; L=5 mm |
| 8 | billes de porcelaine | d=20mm |
| 9 | Granule abrasif | 20-30mm |
| 10 | Granule abrasif | 20-30mm |

Le régime et la durée du traitement : $A = 1,5 \text{ mm}$; $f = 33 \text{ HZ}$; $t = 120 \text{ min}$ les échantillons traités ont eu la forme rectangulaire, ils ont été fabriqués sur la base d'un acier trempé et recuit, ils ont été attachés sur une broche spéciale, qui a été alimentée dans la chambre de travail pour le traitement. La micro dureté a été mesurée sur la profondeur de $10 \text{ }\mu\text{m}$ pour les échantillons trempés et une profondeur de $20 \text{ }\mu\text{m}$ pour ceux recuits (fig. 2. 19).



a)



b)

Fig. 2. 19. Influence du milieu actif sur le changement de la microdureté:

a) recuit ; b) trempé.

Les résultats obtenus permettent de faire les conclusions suivantes : le changement de la microdureté en fonction des média de différente nature et de différent type.

1. l'augmentation de dimension des particules du milieu actif, la microdureté se développe. Dans ce cas, Une augmentation de dimension des particules, influe sur l'augmentation de la zone de contact.

Ce phénomène remarquable s'explique avec l'augmentation de la zone de contact sur la surface traitée au milieu des billes de dimension $d = 16 \text{ mm}$,

2. Une augmentation de la dureté des particules du milieu actif fait augmenter la micro-dureté (H_μ) de la couche superficielle de l'échantillon. Par exemple, l'influence de la particule 5 sur l'acier recuit et 5 sur acier trempé, la différence dans leur dureté varie entre (145 et 550 HB). Cela aboutit à une différence d'apparence (H_μ) sur la surface traitée.

La microdureté est relativement élevée avec le traitement des échantillons au milieu des granules abrasives. Ceci est expliqué par la dureté élevée des textures abrasives et leurs petites tailles, qui produisent des conditions pour déposer des micros-coups sur les sections de la surface traité.

- **L'influence du poids des échantillons traités sur la micro dureté**

Tableau. IV. Représente L'influence du poids des échantillons traités sur la micro dureté

| Etat d'échantillon | Micro dureté initial (kgf/mm^2) | Micro dureté après traitement H_μ (kgf / mm^2) | | | |
|--------------------|---|--|-----|------|------|
| | | Poids des échantillons (g) | | | |
| | | 50 | 500 | 1500 | 2000 |
| Acier trempé | 537 | 537 | 700 | 760 | 790 |
| Acier recuit | 153 | 153 | 183 | 190 | 215 |

Avec l'augmentation du poids des échantillons la micro dureté augmentent, quand le poids des échantillons est proportionnel au poids des particules, la micro dureté étant minimale.

L'augmentation de (H_μ) avec l'augmentation du poids des échantillons s'explique par la relation entre la résistance a l'action des micros coups des particules et la déformation plastique de la couche superficielle.

II. 4. 6. La structure de la couche superficielle

La structure de la couche superficielle des échantillons traités avec des billes en acier trempé de diamètre $d=13\text{mm}$, suivant le régime de fréquence $f=33\text{ HZ}$, l'amplitude $A=2\text{mm}$, la durée du traitement varie de 0 à 480 min.

À l'état initial la structure de la couche superficielle est constituée de sorbite, perlite avec cémentite à la frontière des grains.

La dimension des grains au cœur est plus grande par rapport à la surface.

Sur la surface la perlite est plus dense, la formation de sorbite, les résultats des essais après le traitement par vibration pour une durée de 60 min, la structure au cœur du matériau n'a pas changée par contre sur la surface il y a eu un changement, il y a une augmentation de la parcelle de la structure de sorbite, la microdureté a été augmenté de 18 à 20%.

Après un traitement de 240 et 480 min sur la structure le cœur de l'échantillon n'a pas changé, par contre sur le changement apparaît sur la couche de sorbite.

Le réseau de cémentite est presque déchiré, la micro dureté de la couche superficielle a été augmentée de 25 à 30%. Les échantillons traités sont en acier faiblement allié et en acier au carbone, cette structure a été observée à une profondeur de 5 à 10 μm .

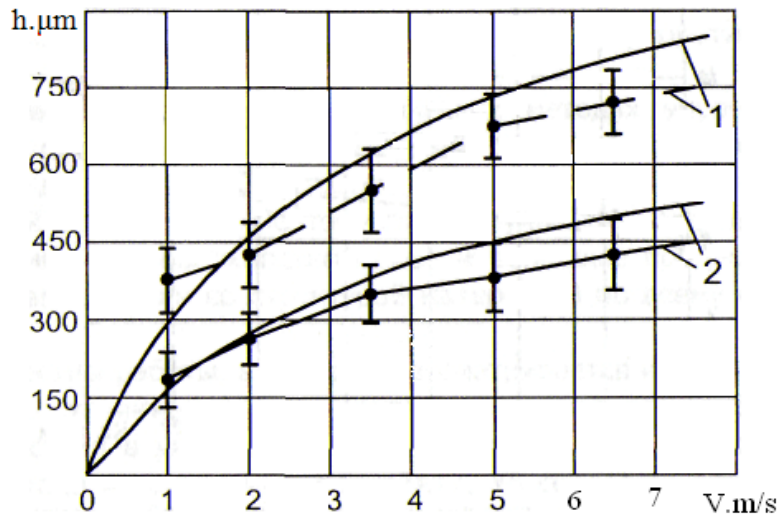


Figure. 2. 20. La dépendance du d'écroissage par rapport à la vitesse de particule d'échantillons en : 1- acier (medias - billes en acier de ϕ 3,5) ; 2- alliage d'aluminium (medias - billes en aluminium ϕ 5) ;

_____ Les valeurs calculées ; - - - - - les résultats des essais.

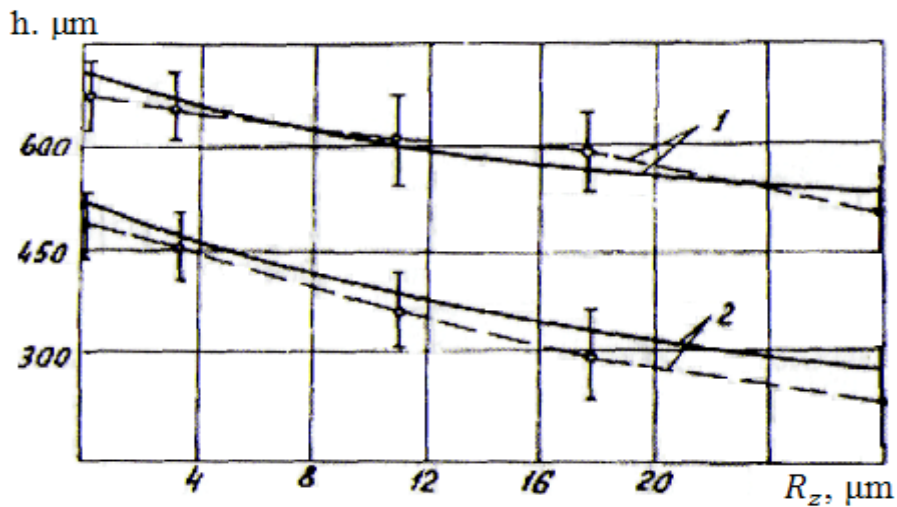


Figure. 2. 21. La dépendance de la profondeur de l'écroissage par rapport à la rugosité initiale des échantillons : 1- acier (medias - billes en acier ϕ 3,5) ; 2- alliage d'aluminium (medias- billes en aluminium ϕ 5)

_____ Les valeurs calculées ; - - - - - les résultats des essais.

Sur les figures. 22. et 23. La distribution des contraintes résiduelles sur la couche superficielle traitée

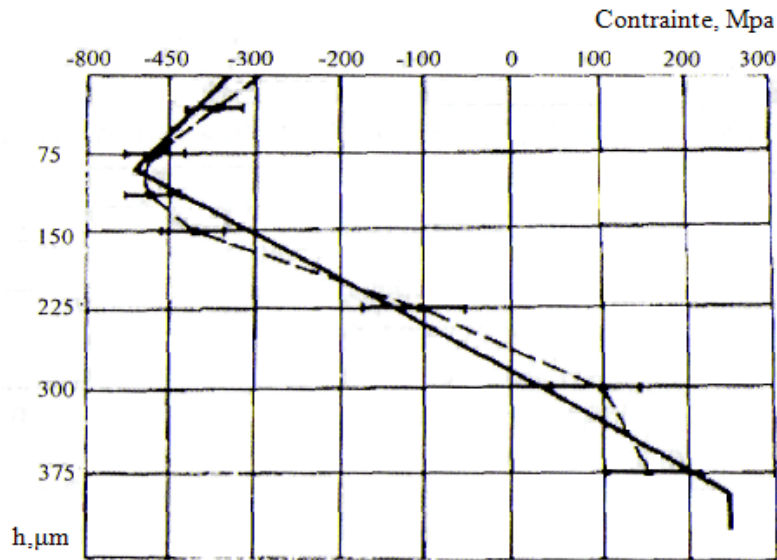


Figure. 2. 22. La comparaison entre les valeurs théoriques et expérimentales La distribution des contraintes résiduelles sur la couche extérieure d'échantillons provenant de l'alliage d'aluminium ($R_z = 10\mu\text{m}$, $V=4\text{ m/s}$, $t=8\text{ min}$, medias - billes en aluminium de $\phi 8$) ;

—— Valeurs calculées ; - - - - - les résultats des essais.

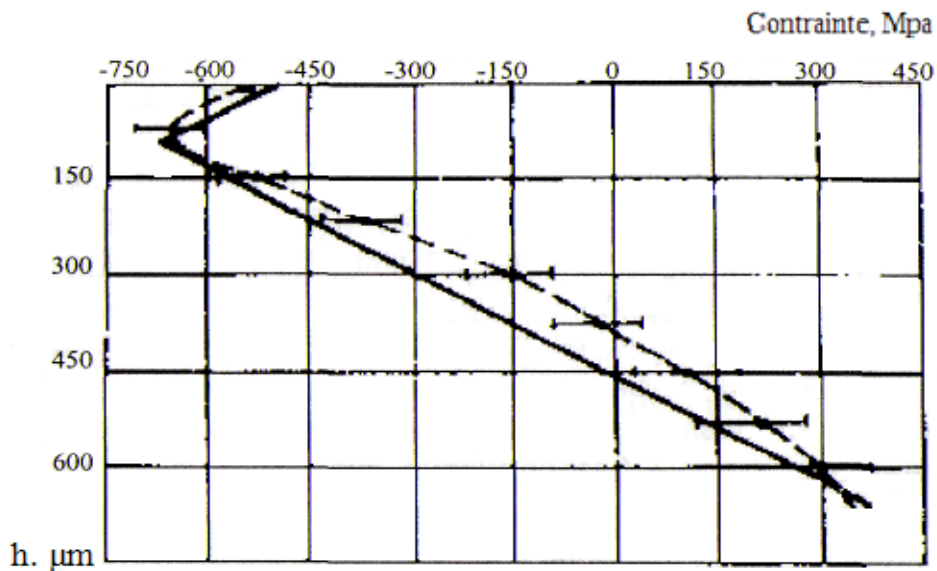


Figure. 2. 23. La comparaison entre les valeurs théoriques et expérimentales de la distribution

Des contraintes résiduelles sur la couche superficielle des échantillons en acier : ($R_z = 10\mu\text{m}$, $V=4\text{ m/s}$, $t=7,5\text{min}$, medias - billes en acier $\phi 3.5\text{ mm}$) ;

—— Valeurs calculées ; - - - - - les résultats des essais.

CHAPITRE III

PARAMETRES DU PROCEDE

III. 1. ANALYSE DES PARAMETRES DU PROCEDE

Les principales voies de l'intensification du processus de traitement par vibro-abrasion : Pour augmenter l'efficacité du traitement dans le but d'améliorer la qualité de surface des pièces, il existe de diverses méthodes d'intensifier le processus. L'intensité du traitement par vibro-abrasion dépend du régime du traitement (l'amplitude, la fréquence, la durée du traitement, la taille et la forme des particules), et des paramètres du traitement (force de l'impact « micro-impact », les caractéristiques des particules et leurs vitesses, l'accélération, la pression, la contrainte et la température dans la chambre de travail.

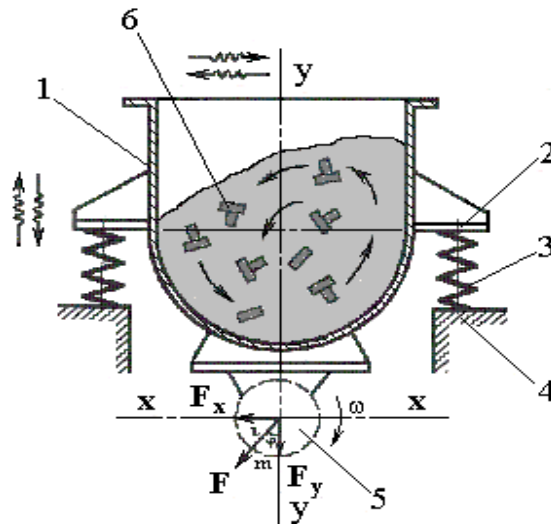
L'intensité du traitement peut être ajustée en modifiant le niveau de liquide dans la chambre du travail.

Les valeurs numériques de ces paramètres sont :

1. la vitesse des particules varie entre 0,5 - 1 m/ s.
2. l'accélération 20 - 150 m/s² .
3. La force micro-impact entre 1,5 - 3 kgf.

Suite à ces paramètres une pression de contact est survenue qui varie entre 700 - 1500 kgf /mm², la température moyenne dans la chambre de travail en général ne doit pas excéder 30 - 40 ° C.

Le Schéma principale du vibreur est représenté sur la figure. 3. 1.



1- chambre de travail ; 2- plateau ; 3-ressort ; 4- semelle ; 5-vibreur ; 6-pièces.

Figure. 3. 1. Schéma de principe d'une machine de tribofinition.

Dans le processus de travail, la chambre de travail effectue un mouvement de rotation lente et un mouvement vibratoire simultanément.

Les particules dans chaque période d'oscillation se déplacent avec la chambre de travail avec la même vitesse ou proche. Ensuite, il va y avoir un détachement de particules des parois de la chambre de travail à cause de différence de vitesses et d'accélération, par la suite les particules auront un mouvement libre et complexe.

III. 2. ANALYSER LES CARACTÉRISTIQUES QUANTITATIVES DE CES PARAMETRES

Nous pouvons remarquer que l'amplitude des oscillations dans la plupart des cas varie entre 0,5 – 5 mm. Et rarement, atteint 7 – 8 mm. Avec une basse fréquence qui varie, entre 15 - 50 HZ

III. 2. 1. vitesse d'impact des particules et des pièces traitées

Cette vitesse varie comme déjà citée précédemment entre 0,5 – 1 m/s. la vitesse peut être déterminé par la formule empirique connue :

$$V_p = V_{ch} \times K_v \quad (3.1)$$

D'Où

$$K_v = a^L \approx 0.9877^L,$$

$$V_{ch} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (3.2)$$

$$V_x = A_x \cdot \omega \sin \omega t \quad (3.3)$$

$$V_y = A_y \cdot \omega \cos \omega t \quad (3.4)$$

D'après la trajectoire du mouvement par la circonférence :

$$V_{ch} = A \cdot \omega ; \quad \omega \approx 2\pi f = 2\pi N / 60 \approx N/10 ;$$

$$V_{ch} \approx A N/10 \quad (3.5)$$

D'Où :

V_{ch} : Vitesse du déplacement de la chambre du travail.

K_v : Coefficient de perte de vitesse.

A : Amplitude.

ω : Vitesse angulaire d'oscillation.

t : Temps en secondes.

A_x et A_y : Les valeurs de l'amplitude d'oscillation selon les coordonnées x et y.

a : Coefficient empirique.

L : La distance de la paroi de la chambre de travail jusqu'au point de la particule.

III. 2. 2. L'accélération de l'impact des objets

L'accélération de l'impact des objets d'après le traitement des métaux par vibro-abrasion varie entre 15 - 150 m/s² .et elle peut être calculée par la formule suivante:

$$a_x = A_x \omega^2 \cos \omega t \quad (3.6)$$

$$a_y = -A_y \omega^2 \sin \omega t \quad (3.7)$$

$$a = A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.8)$$

$$a_{max} = A \omega^2 \quad (3.9)$$

III. 2. 3. La force de l'impact des particules et des pièces à traiter

La force de l'impact des particules et des pièces à traiter d'après la méthode du traitement des métaux par vibro-abrasion, dépend du régime d'oscillation et des caractéristiques des particules et elle varie entre 0.5 – 5 Kgf.

➤ Pour le traitement des pièces fixées

$$F_{pf} = 6 \sqrt{\frac{m v^2 \sigma_s R_b k_m k_g}{k_2} \left(1 - \frac{3}{8} k^2\right)} \quad (3.10)$$

➤ Pour le traitement des pièces libres

$$F_l = 6 \sqrt{\frac{m v^2 \sigma_s R_b k_m k_g}{k_2}} \cdot B \quad (3.11)$$

D'Où

m : masse des particules.

V : vitesse de l'impact.

R_b : rayon de la bille.

σ_s : La limite d'élasticité des matériaux des pièces à traiter.

K₂ : coefficient caractérisant l'impact répétitif des particules dans un seul endroit .

K_m : Coefficient caractérisant la simultanéité d'action des particules.

K_g : Coefficient caractérisant les propriétés d'amortissement du milieu actif au
Moment de l'impact.

K : coefficient de régénération (récupération).

B : coefficient qui détermine la quantité d'énergie de l'impact et du déplacement
des pièces chargée librement

Pour déterminer l'énergie de l'impact, on utilise la formule suivante :

$$E_i = \frac{HB d^2}{6 D_b} \quad (3.12)$$

D'Où :

HB : dureté du matériau des pièces à traité.

d : diamètre de l'empreinte.

D_b : Diamètre de la bille.

III. 2. 4. La pression de contact dans la zone de l'impact

La pression de contact dans la zone de l'impact est caractérisée par l'équation suivante :

$$P_{g \max} = \sigma_{\max} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi a b} \quad (3.13)$$

D'Où :

F : force de l'impact.

a, b : dimension de demi-axe de la surface de contact.

a et b peuvent être déterminé par la formule suivante :

$$a = v_1 \left[\frac{3}{8} \times \frac{F}{\sum \rho} (v_1 + v_2) \right]^{1/3} \quad (3.14)$$

$$b = v_2 \left[\frac{3}{8} \times \frac{F}{\sum \rho} (v_1 + v_2) \right]^{1/3} \quad (3.15)$$

D'Où :

v_1, v_2 : Coefficients d'élasticité qui caractérisent des propriétés d'élasticité du matériau des objets de l'impact.

$\sum \rho$: Somme des valeurs des rayons de retour de la courbure principale des Surfaces de contact.

Suivant le traitement par vibro-abrasion, le plus caractérisant est l'impact de la surface sphérique avec la surface plane quand, $a=b$.

Les dimensions du demi-axe des surfaces de l'impact sont

$$a = 0,677 (F \cdot d_b)^{1/3} \quad (3.16)$$

d_b Le diamètre de la bille (particule du milieu).

Les lois fondamentales régissant le processus caractérisent par l'influence des régimes du traitement, caractéristiques du milieu actif et de l'intensité du processus, et de la qualité de la surface usinée. L'énergie d'impact des particules et des objets a l'effet le plus essentiel sur l'intensité et la productivité du processus. Elle est déterminée par les régimes des oscillations - amplitude et fréquence - et la masse des particules du milieu. L'influence analogue s'avère être une augmentation de la pression dans la chambre de travail. Avec une augmentation de la pression, l'intensité du procédé se développe.

Pour élimination des calamines et les produits de la corrosion selon l'équation :

$$Q = N_g \cdot q_z \cdot S_g \cdot t \cdot k_{mg} \cdot K_M \quad (3.17)$$

D'Où

N_g : le nombre réel de micro-impact.

q_z : La quantité de l'impureté polluante, éloigné au moment du choc.

S_g : la surface superficielle de la pièce.

t : la durée du traitement en (min).

$k_{mg} . k_m$: Les coefficients, qui tiennent compte de l'influence de l'additif chimique sur l'enlèvement des encrassements solide (impureté polluante), et le type d'extraction de la matière (La calamine, la corrosion).

III. 3. LES FACTEURS INTRODITS DANS LE TRAITEMENT DES PIÈCES PAR VIBRO-ABRASION

Les régimes des oscillations de l'installation (l'amplitude et la fréquence de vibration), niveau de remplissage et la taille des granules, le volume de la chambre de travail.

Le rendement pour améliorer la qualité de surface est déterminé par la vitesse du rebondissement de la chambre de travail (figure. 3. 2). Les valeurs optimales de la vitesse, L'amplitude des oscillations verticales de la chambre de travail varient entre $(100 - 150) \cdot 10^{-3}$ m/s.

La taille des granules d'abrasifs influe sur l'intensité du processus de vibro-abrasion a chaque fois ou la taille granulaire est grande la qualité de surface est meilleur, mais l'inconvénient qui demenue c'est que l'usure de la matière d'abrasif augment, pour cela on choisit les dimensions optimales des granules d'abrasif. (20.....25) mm.

Le choix de la taille d'abrasif pour amélioration la qualité de surface des pièces avec les trous et pour des cannelures est supposer que la taille granulaire 1.5... 2 fois moins que la taille des trous.

Le volume optimum de remplissant de la chambre de travail compose de 0.75 de ses capacités (figure. 3. 4). Le traitement vibro-abrasion dépend du rapport volumétrique. Avec une augmentation du volume de remplissage on vue le temps du traitement diminuer.

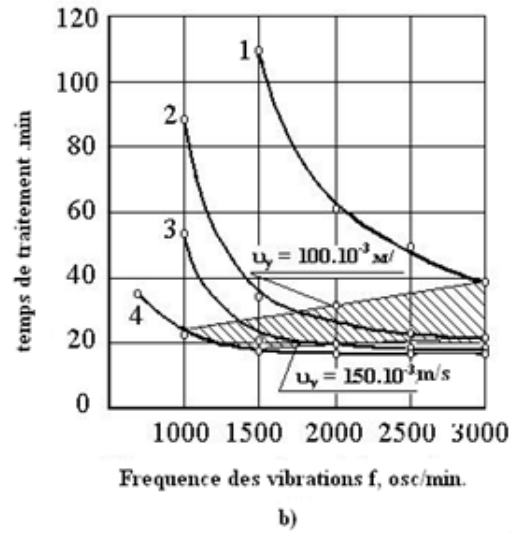
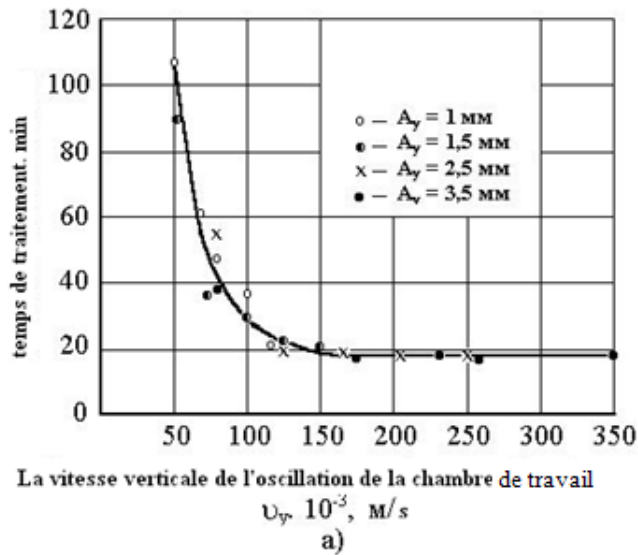


Figure. 3. 2. Rendement du traitement vibro-abrasion selon les paramètres du traitement

- a) la vitesse des déplacements verticaux de la chambre de travail
- b) la fréquence des vibrations et de l'amplitude

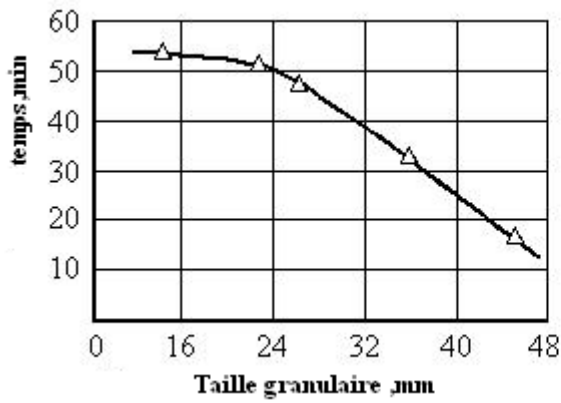


Figure. 3. 3. Effet de la taille granulaire Sur la durée du traitement.

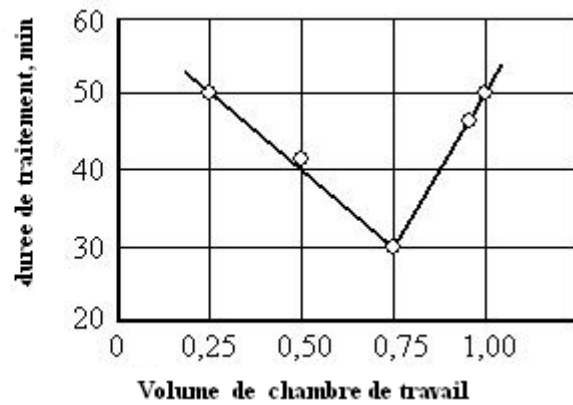


Figure. 3. 4. La dépendance de la durée du Traitement et le volume de la Chambre

CHAPITRE IV

EQUIPEMENTS DE TRIBOFINITION

IV. 1. LES MACHINES DE TRIBOFINITION

La (figure. 4. 1) est représentée le schéma du traitement par vibro impact : Les pièces à traiter et médias avec un additif chimique sont mis dans la chambre de travail qui est posée sur des éléments élastiques, la chambre sous l'action deux mouvements : mouvement rotative lente et un mouvement vibratoire.

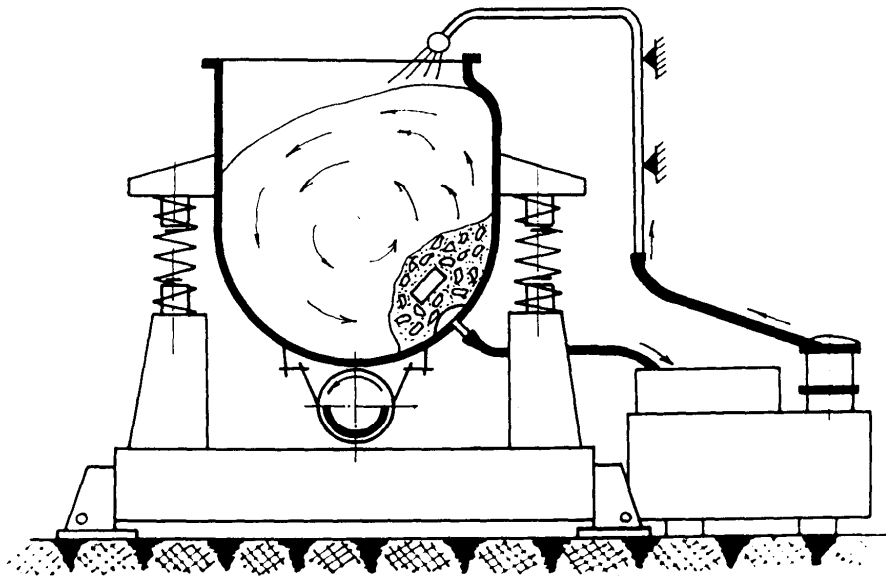


Figure. 4. 1. Schéma du traitement par vibro impact.

D'après le traitement par vibro-abrasion, la pièce occupe différentes positions dans la chambre de travail, qui assure le traitement uniforme de toutes les surfaces, qui entrent en contact avec le milieu actif.

La pièce reçoit un grand nombre de micro-coup sur les différents sens, qui contribue à l'élimination d'endommagement de la couche superficielle.

Sous l'effet des vibrations le traitement se produit dans toutes les zones de la chambre de travail. Le traitement sur le fond, où la charge de milieu actif est au-dessus de l'effet de recouvrir des couches, est en quelque sorte plus efficace. Sous l'effet d'amplitude des oscillations les déplacements des particules du milieu actif au niveau des murs de la chambre de travail et proportionnellement au l'intensité du traitement qui diminue.

La majorité des fonctionnements du traitement par vibro impact est fait avec l'alimentation continue ou intermittente de l'additif chimique. Le schéma du procédé du traitement avec le traitement continu (ou périodiques) est représenté sur (figure. 4. 1) L'additif chimique assure l'extraction des produits d'usure basés sur la surface des pièces et des particules du milieu actif, arrosage des pièces et le milieu, contribue a la séparation et distribution d'uniforme dans le milieu actif. Il est possible de régler l'intensité du traitement en changeant le niveau liquide dans la chambre de travail. La composition de l'additif chimique permet également pour régler l'intensité du procédé et la qualité de la surface usinée. L'additif chimique contribue également à refroidir les pièces.

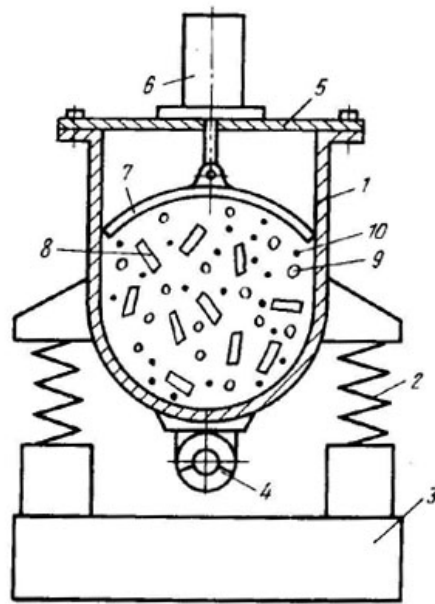
L'intensité du traitement par vibro impact dépend des paramètres tels que le régime et La durée du traitement (Δ , f, t), les caractéristiques et les tailles des particules du milieu actif, le volume de la chambre de travail et le degré de son remplissage, les propriétés mécaniques du matériau, la nature du mouvement de la chambre de travail, leur vitesse et accélération, force des micro-impacts, pressions de contact, températures, qui apparaissent sur la zone de l'action des micro-coup.

La vitesse des particules du milieu actif qui peut atteindre 0.3 - 1 m/s ; accélération de 20-150 m/s²; la force des micro-coup 1.5 - 5.0 kgf et plus ; apparaissant dans ce cas-ci pression de contact selon taille de la zone de contact, peut atteindre de 15-30 à 700-1500 kgf/mm², augmentations instantanées de la température dans la zone de l'impact du 500-700 °c, la température moyenne dans la chambre de travail ne dépasse pas le 30-40 °c.

Le traitement d'une couche superficiel par le procédé du traitement par vibro impact se produit sous l'effet des micro-coups à plusieurs reprises de répétition des particules du milieu actif, qui causent la formation des traces du traitement, aussi un changement des paramètres géométriques et physico-mécaniques d'une couche superficielle.

Les différents types des machines de tribofinition pour la réalisation du traitement par vibro impact :

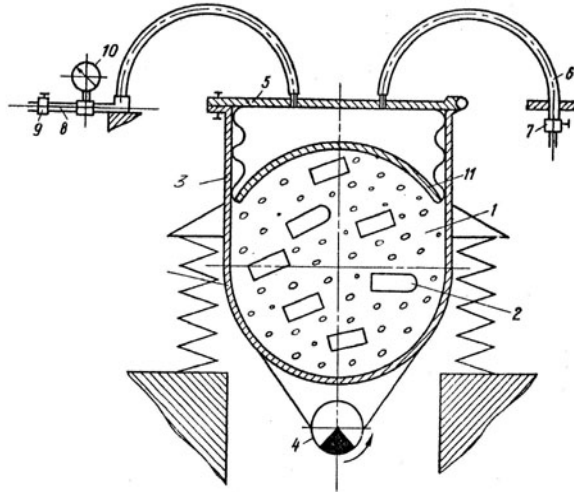
Le procédé du traitement en milieu condensé par des particules variées (figure. 4. 2) Le traitement est accompli dans la chambre de travail 1, où sont les pièces 8 mis et les particules abrasives 9 (par exemple, billes en acier). La chambre de travail posé sur les éléments élastiques (ressorts) 2. Le milieu actif est accompli par l'écran protecteur 7 à l'aide du mécanisme 6, établi sur la couverture 5.



1- chambre de travail ; 2- ressort ; 3- base ; 4- vibreur ; 5- couverture ; 6- mécanisme ;
7- écran protecteur ; 8- pièce traité ; 9 et 10- milieu actif.

Figure. 4. 2. Procédé de vibro abrasion sur milieu condensé et des particules varié

Sur la figure. 4. 3. Représenté le schéma de la chambre de travail avec le contrôle de la compression du milieu actif a l'aide de l'air comprimé.



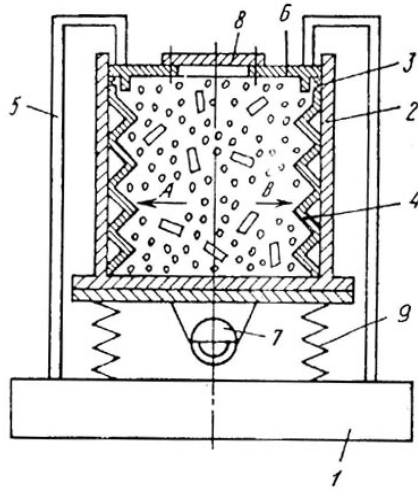
1 - milieu actif ; 2- pièce traité ; 3- chambre de travail ; 4- vibreur ;

5- couverture ; 6- conduit ; 7,9- robinet; 10- manomètre ; 11- l'écran protecteur.

Figure. 4. 3. Chambre de travail avec de la pression réglable du milieu actif.

Pour multiple contact, le traitement par vibro impact où la propagation de l'impulsion de choc dans un milieu des billes en acier est initiée par le dispositif vibrant, sont établis. Les variétés des schémas de tels dispositifs sont examinées ci-dessous.

Sur la (figure. 4. 4). Qui représentée le schéma du dispositif pour le traitement des pièces par vibro impact, mis librement dans la chambre de travail, Le dispositif se compose de la base 1, la chambre de travail 2, dans laquelle sont les plaques localisées 4, serrées par les ressorts 3 basés sur le côté de la chambre de travail de la couverture 6. Chambre de travail suspendre sur le ressort 9, les oscillations transmises par vibreur 7. La surface interne des murs latéraux de la chambre de travail à ressort basé sur le côté de la couverture et qui ont la capacité du retour progressif, elle assure une augmentation de l'énergie dynamique de l'effet des particules du milieu actif sur la surface de la pièce traité, qui permet l'augmentation de l'intensité du traitement.



1- base ; 2- chambre de travail ; 3- ressort ; 4- coin ; 5- bras support ; 6- couverture de la chambre ; 7- vibreur ; 8- couverture pour la fixation des pièces ; 9- ressort.

Figure. 4. 4. Schéma de la machine de tribofinition (vibrateur linéaire)

IV. 2. RECOMMANDATION POUR LE CHOIX DES MEDIAS

Pour le choix de la constitue des médias il est nécessaire de prendre en compte l'opération, à réaliser :

- Matériau en abrasif pour des opérations vibro-abrasif.
- Matériau non abrasif pour des opérations de finition.
- Les matériaux métallique (bille, rouleau,...) pour le durcissement superficiel, par exemple pour la réalisation des opérations grossiers (ébauche). (l'enlèvement des grosses bavures).

C'est quand on a besoin plus d'enlèvement de la matière on utilise des abrasives grossières hautes duretés avec grosse granulation .et aussi pour les opérations de nettoyage des pièces brute moulé,

Pour les opérations de finition on utilise beaucoup plus les abrasifs à granulation fine.

Pour les métaux et les alliages non ferreux on utilise des billes en verre, le choix de la granulation d'abrasif dépend de la rugosité initial de l'échantillon et de rugosité quand veut obtenir en finalité.

Pour le durcissement superficiel, habituellement on prend les billes en acier traité de différent diamètre avec un rajout d'additif chimique.

Pour le choix de la taille des particules il est nécessaire de prendre en compte les dimensions de la pièce à traiter (forme, rainure, trou,...). La taille des particules d'abrasif ne doit pas être supérieure à la dimension des trous si le cas d'une pièce avec des trous.

Pour le traitement des pièces dans le but de ne pas déformer la pièce il est nécessaire d'utiliser la granulation à petite dimension et à petit poids.

Dans le tableau suivant on cite quelques exemples de particules utilisées dans le milieu actif pour les différentes opérations

Tableau. I. Quelque exemple des particules utilisé dans le milieu actif pour les différentes opérations.

| N° | La composition du matériau | Domaine d'utilisation |
|-----------|---|--|
| 1 | Granule d'abrasif | L'ébavurage, l'arrondissement des angles vifs, rectifications des surfaces |
| 2 | bakélite | Nettoyage des déchets, l'ébavurage, l'arrondissement des angles vifs |
| 3 | Granule abrasif se forme cylindrique (rouleaux) | Décalaminage, l'arrondissement des angles vifs et rectifications |
| 4 | Les billes en porcelaine (ϕ 6 et 10 mm) | L'ébavurage léger, l'arrondissement des angles vifs, polissage. |
| 5 | Les billes en verre (ϕ 2- 14 mm) | Polissage des matériaux ferriaux et non ferriaux, rectifications des pièces en alliage à base de cuivre. |
| 6 | Granule abrasif en polymère | Le polissage, opération de finissage de surface |
| 7 | Les billes en acier traité | Polissage, durcissement superficiel, opération des stabilisations |
| 8 | Granule en résine | Nettoyage des pièces de la saleté |

IV. 3. L'ADDITIF CHIMIQUE

IV. 3. 1. caractéristique et désignation

Dans le processus de la technologie de vibration il est nécessaire pour avoir un traitement complet de rajoute des additifs chimique.

Le fluide dans le processus du traitement par vibro-abrasion accomplit l'état suivant :

- L'intensification du processus sur la surface à traiter et ce la suite à l'interaction chimique.
- Refroidissement des échantillons.
- Assurer la stabilité des outils coupants du milieu actif pour les protéger contre la saleté et la pollution.
- Prévention de l'endurance des pièces à surface plane.
- La protection de la surface superficielle de la corrosion.

Il existe trois types de fluides :

1. activateur chimique dans un milieu acide : il est destiné pour le nettoyage des pièces en acier, la destruction et l'enlèvement de la bavure et l'intensification du processus de traitement.
2. activateur chimique dans un milieu alcalin (basique) : il est destiné pour l'enlèvement de la bavure, et aussi pour le polissage.
3. activateur chimique dans un milieu neutre : il est destiné pour le nettoyage et le lavage et l'enlèvement des produits d'usure.

Les lubrifiants les plus utilisé est l'activateur chimique en milieu acide et basique, dans le but d'élargir et de renforcer leur action on rajoutant les éléments suivants :

La soude, le détergent, ...

Pour le nettoyage on utilise anhydride chromique.

Le volume de remplissage de fluide utilisé varie entre 3 a 5% par rapport a la chambre de travail, pour la durée de traitement ne doit pas dépasser deux heures, dans le cas contraire le pourcentage de la saleté augmente et la concentration d'activation diminue.

Pour le traitement de longue durée on utilise des solutions chimique a concentration moindre, ce qui préservé leur propriété physico-chimique.

Le débit de fluide varie de 2 - 10 ($\frac{l}{min}$), tous dépend de l'opération à réaliser, dépend du volume de la chambre de travail, et aussi de la rigidité des pièces à traiter.

IV. 3. 2. Classification et propriétés des fluides

Le fluide en divisé en trois groupe en dépendance de la valeur d'hydrogène :

Nuetre (PH=7), acide (PH< 7), basic (PH>7). Le plus grand débit est utilisé pour un vibreur avec une grande capacité de la chambre de travail.

Dans le tableau ci-après on introduit la Composition de l'additif chimique recommandé pour déférentes opérations

Tableau. II. Composition de l'additif chimique recommandé pour différentes opérations

| N° | COMPOSITIONS D'ADDITIFS CHIMIQUES | SYMBOLES CHIMIQUE | CONCENTRATION (g/l) | L'UTILISATION |
|----|-----------------------------------|--|---------------------|--|
| 1 | Hydrate d'oxyde de sodium | $[Na_2O]$ | 15 | Nettoyage des surfaces épaisses de la calamine, |
| 2 | Hydroxyde de sodium | $[NaOH]$ | 20 | “ |
| 3 | Carbonate de soude | $[Na_2CO_3]$ | 20 | “ |
| 4 | Nitrate de sodium | $[NaNO_3]$ | 20 - 30 | Nettoyage, décalaminage |
| 5 | Soude à l'ammoniac | $[NH_4OH]$ | 20 - 30 | “ |
| 6 | Silicate de sodium | $[Na_2O. 2SiO_2]$ | 20 - 30 | Protéger les détails de la corrosion, conservation de courte durée |
| 7 | Phosphate de sodium | $[Na_3PO_4]$ | 20 - 30 | “ |
| 8 | Perchlorure de fer | $[FeCl_3]$ | 2 - 10 | Assure une couleur éclatante pour l'état de surface |
| 9 | polyacrylamides | $\left[\begin{array}{c} -CH_2 - CH - \\ \\ CONH_2 \\ n \end{array} \right]$ | 10 | Assure la brillance du métal |

IV. 4. Approche économique de la technologie de vibration

Optimisation des paramètres technologiques :

- La quantité de matière éliminée par TMVA :

$$Q = N_R \cdot q_p \cdot t_t \cdot S_t \cdot K_d \cdot K_f \quad (4.1)$$

D'où :

N_R : Nombre de coups réel.

N_C : Nombre de coups calculé.

Tel que :

$$N_R = N_C \cdot K \quad (4.2)$$

D'où :

K : Coefficient du rétablissement

Tel que :

$$K = \frac{C}{HB^m} \quad (4.3)$$

C et m : valeurs constantes.

q_p : Quantité de matière éliminée par rayure.

t_t : Temps de traitement.

S_t : Surface traitée.

k_d : Coefficient de déplacement de pièce.

k_f : Coefficient de fluide.

- Temps de lissage d'une surface

$$T_l = \frac{(R_z \text{ ini} - R_z \text{ final}) \cdot 0,5 \gamma}{N_g \cdot q_p \cdot t_t \cdot k_v \cdot k_\Delta \cdot k_{RZ} \cdot k_f} \quad (4.4)$$

D'où :

γ : Densité de matière à traiter.

N : nombre de coups.

k_{RZ}, k_{Δ} : Coefficient qui prend en considération de rugosité et L'arrondissement de l'aspérité.

- temps de traitement pour un ensemble des pièces

$$T = T_0 + T_a + T_m + T_{tr} \quad (4.5)$$

D'où :

T_0 : Temps principale.

T_a : Temps Auxiliaire.

T_M : Temps de maintien.

T_{tr} : Temps de transition.

- Le volume d'une seule pièce V_p

$$V_p = \frac{M \cdot K_f}{1000 \cdot R_D} \quad (4.6)$$

D'où :

M : le poids de la pièce.

k_f : Coefficient de chargement d'équipement.

R_D : Densité de la pièce (Kg/dm^3).

- Le volume que les pièces et les média occupent a l'intérieur de la chambre de travail

$$V_s = \frac{A \cdot F_z}{1 + k_v} \quad (\text{dm}^3) \quad (4.7)$$

D'où :

F_z : Degré de remplissage de la chambre de travail.

k_v : La relation entre le volume de la pièce et l'abrasif.

A : le volume de la chambre de travail.

- Le volume d'un ensemble de pièce

$$V_D = V_S \cdot K_V \quad (dm^3) \quad (4.8)$$

- la consommation d'abrasif par minute

$$C_A = \frac{V_S \cdot J_A}{60 \cdot 100 \cdot (1+K_V)} \quad (4.9)$$

D'où :

J_A : L'usure d'abrasif.

- Le volume optimal pour le remplissage d'abrasif

$$V_{op} = A \cdot F_z \cdot K_v \quad (dm^3) \quad (4.10)$$

- Poids de l'abrasif

$$V_{ab} = V_{op} \cdot R_a \quad (4.11)$$

D'ou :

R_a : La densité d'abrasif (Kg / dm^3)

CHAPITRE V

ANALYSES EXPERIMENTALES

V. 1. LES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE LA MACHINE DE TRIBOFINITION ET LE MILIEU ACTIF UTILISE POUR LE TRAITEMENT

- **Pour la machine**

Machine : RC 300

Amplitude : 3mm

Fréquence : 50HZ

Capacité de la cuve : 100 dm^3

Puissance : 1,5 KW

- **Pour l'abrasif**

Abrasif : ships

Type : chips en pyramides

Taille : 5 mm

Composition d'abrasif : céramique

Quantité d'abrasif utilisé pour le traitement : 20 kg

Durée de traitement : 1H

- **Pour l'additif chimique**

Additif chimique : mélange de tensio-actif

Structure : tensio-actif

Quantité : 20L

Tableau. I. Echantillon en acier


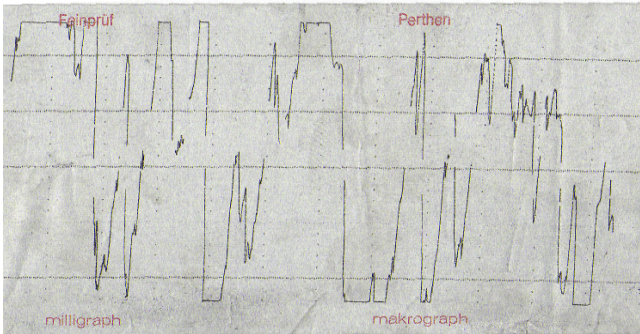
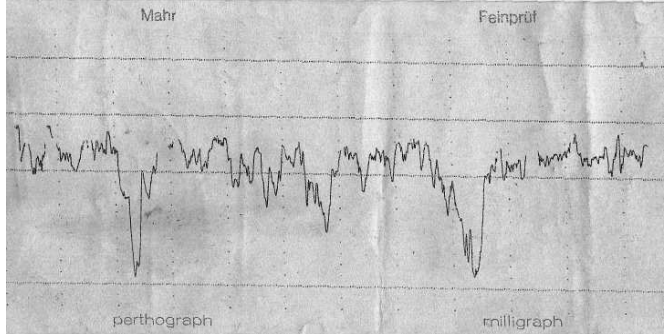

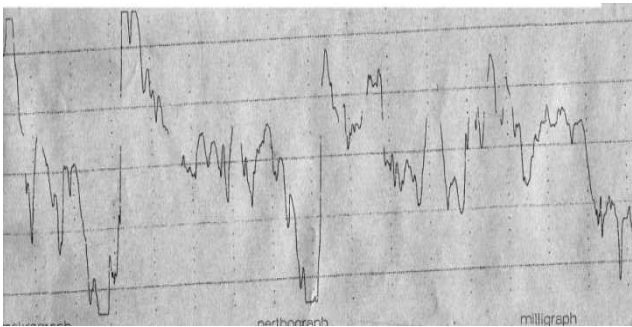
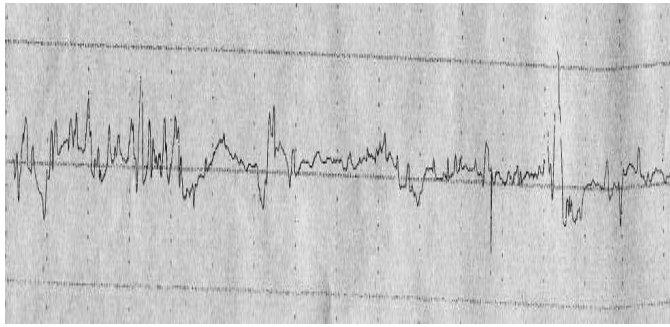
| PHOTO | POIDS (g) | DURETE (HB) | PROFILE DE RUGOSITE (μm) | |
|---|-----------|------------------------|---|--|
| | | | Φ_{INT} | FACE HYXAGONALE |
|  Avant | 386,92 | 30/10/3000 99,2 |  $R_a = 5.79$ |  $R_a = 1,48$ |
|  après | 385,8 | 121 |  $R_a = 4,20$ |  $R_a = 0.58$ |

Tableau. II. Echantillon en Aluminium


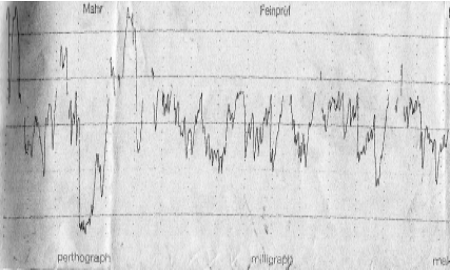
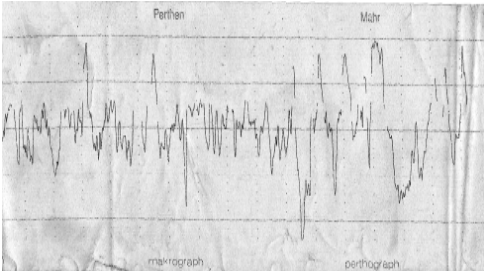
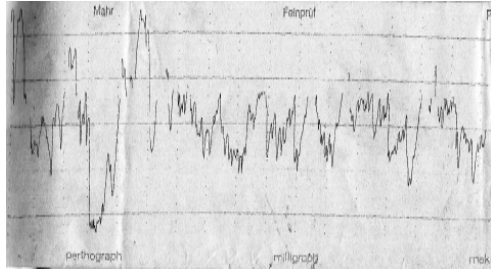

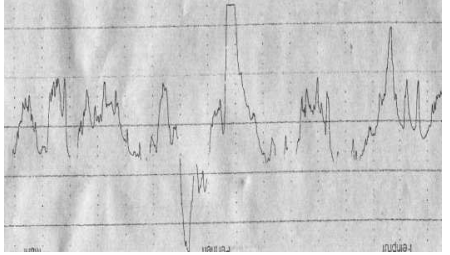
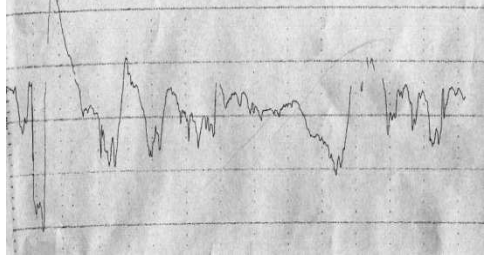

| PHOTO | POIDS (g) | DURETE (HB) | PROFILE DE RUGOSITE (μm) | | |
|---|-----------|------------------------|--|---|--|
| | | | ALESAGE | FACE | Φ_{EXT} |
|  Avant | 172,87 | 30/10/1000 64.9 |  Ra=3,21 |  Ra=2,74 |  Ra = 5,91 |
|  après | 165,30 | 41.9 |  Ra=2,97 |  Ra=2,33 |  Ra=3,70 |

Tableau. III. Echantillon en aluminium


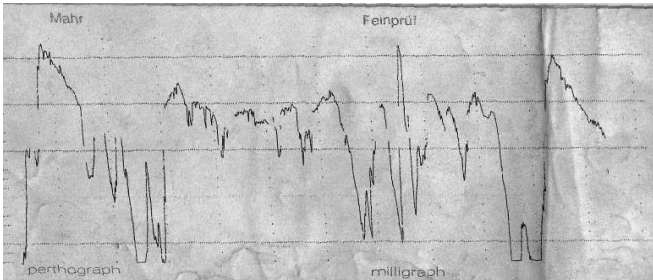
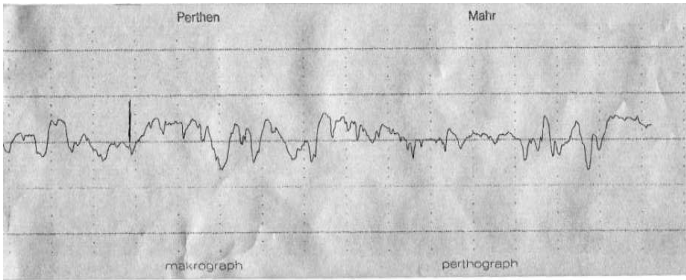

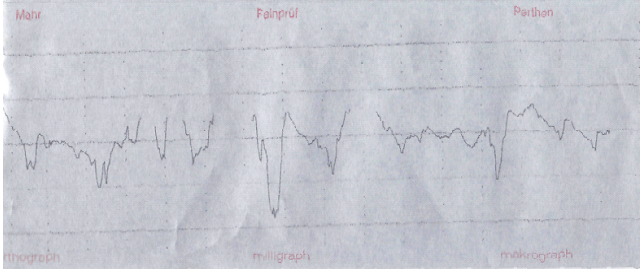
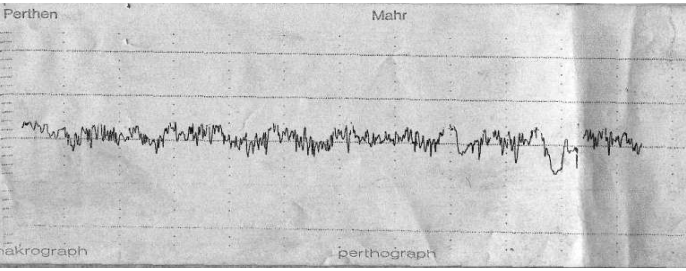
| PHOTO | POIDS (g) | DURETE (HB) | PROFILE DE RUGOSITE (µm) | |
|---|-----------|------------------------|--|--|
| | | | Φ_{EXT} | FACE |
|  <p>Avant</p> | 110,34 | 30/10/1000 64.9 |  <p>$Ra = 3,12$</p> |  <p>$Ra=1,02$</p> |
|  <p>après</p> | 109,58 | 41.9 |  <p>$Ra=1,85$</p> |  <p>$Ra=0,66$</p> |

Tableau. IV. Echantillon en bronze


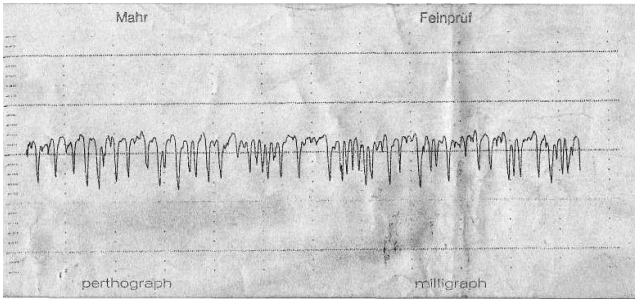
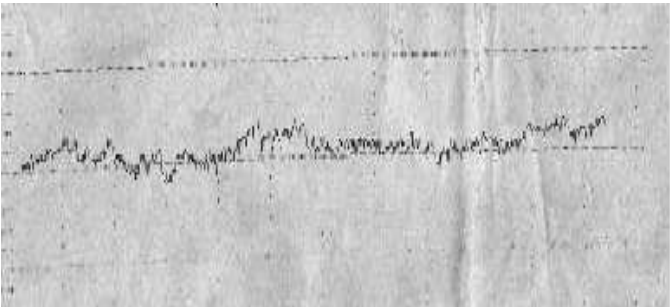

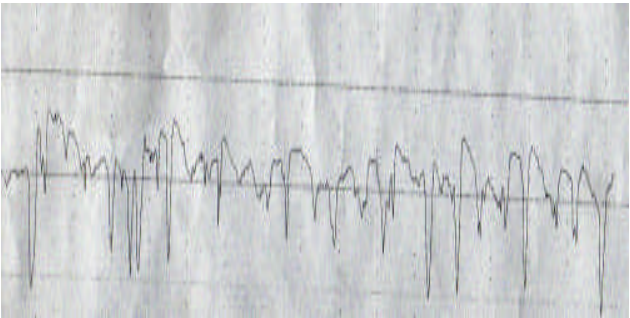
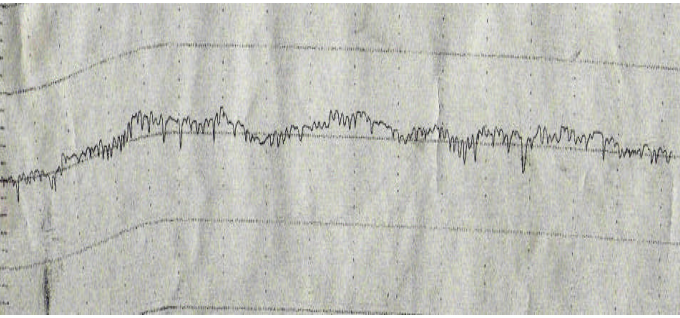

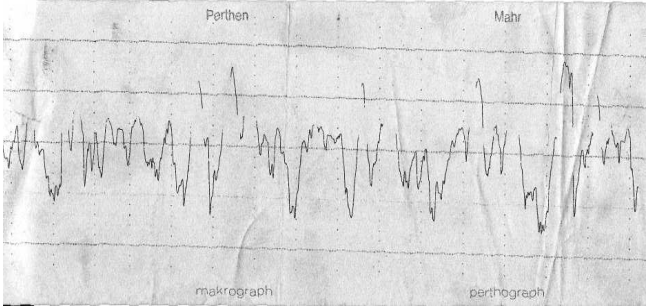
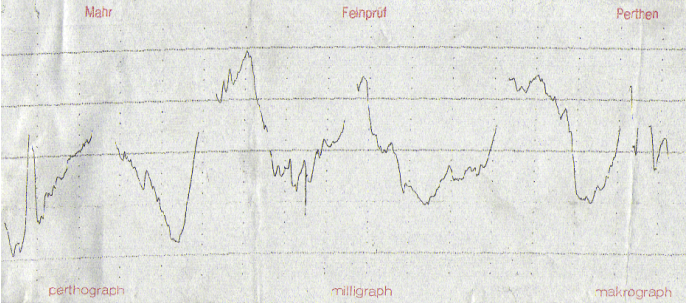

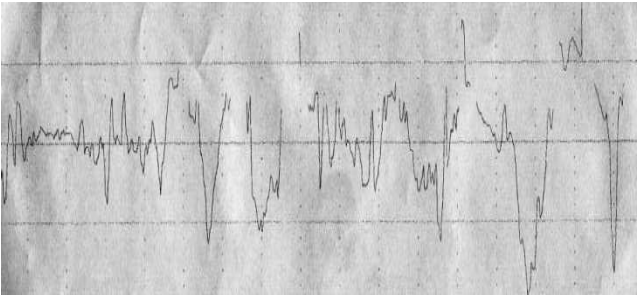

| PHOTO | POIDS (g) | DURETE (HB) | PROFILE DE RUGOSITE (μm) | |
|---|-----------|------------------------|---|--|
| | | | Φ_{ext} | Face |
|  <p>Avant</p> | 305,88 | 30/10/1000 62,4 |  <p>$Ra = 1,89$</p> |  <p>$Ra = 0,56$</p> |
|  <p>après</p> | 301,97 | 63,6 |  <p>$Ra = 1,07$</p> |  <p>$Ra = 0,37$</p> |

Tableau. V. Echantillon en Fonte

| PHOTO | POIDS (g) | DURETE (HB) | PROFILE DE RUGOSITE (µm) | |
|---|-----------|-----------------------|--|---|
| | | | ALESAGE | FACE |
|  Avant | 365,50 | 30/10/3000 285 |  Ra=2,68 |  Ra =3,60 |
|  après | 365,22 | 329 |  Ra=2,31 |  Ra=2,41 |

V. 2. COMMENTAIRE SUR LES RESULTATS DES ESSAIS EXPERIMENTAUX

D'après les résultats obtenus après une heure de traitement :

- le poids des échantillons a diminués
- la qualité de surface s'est améliorée
- la micro dureté superficielle est augmentée

Je constate que Pour l'échantillon en acier Le poids à diminuée de 1.12 g et cela s'explique par l'enlèvement de la rouille superficielle et de la bavure (ébavurage).

La dureté à augmenté légèrement de 21,8 HB, ce la s'explique par le type d'abrasif utilisé.si on voulait avoir une dureté meilleure, on a qu'a prendre les billes et les rouleaux en acier traité .

La rugosité à diminuée pour le ϕ_{int} de 5,79 à 4,20 μm et pour la face hexagonale de 1.48 à 0,58 μm , je constate que sur la face hexagonale à diminuée beaucoup plus, cela s'explique que l'abrasif n'a pas pu pénétrer dans le trou. (le diametre du trou doit être supérieur au dimension de l'abrasif de 2,5 fois)

A l'exception de l'échantillon en aluminium où la dureté à diminuée de 64,9 à 41,9 HB cela s'explique : suite à la non-conformité du régime de travail, et les paramètres du milieu actif.

En conclusion le régime et les paramètres choisis pour les essais expérimentaux convient beaucoup plus pour les métaux ferreux que pour les métaux non ferreux.

CONCLUSION GENERALE

Il est intéressant de noter l'universalité et la nature multidisciplinaire de l'utilisation de la technologie de vibration à ces fins dans le but d'améliorer la qualité de surface et les caractéristiques technologiques tel que :

- ✓ Résistance à l'usure.
- ✓ Résistance à la fatigue
- ✓ Micro et macro dureté.
- ✓ Rugosité
- ✓ Les résistances à la corrosion.

Afin d'avoir :

- ✓ Une meilleure qualité de surface
- ✓ Un aspect brillant.
- ✓ Une dureté de la couche superficielle importante
- ✓ Une meilleure structure métallographique

Cette nouvelle méthode nous apporté une évaluation technologique (technique économique) en comparaison aux anciennes méthodes classiques.

A titre d'exemple on peut atteindre une qualité de surface impressionnante : $R_a=0.04 \mu\text{m}$

J'espère que cette nouvelle technologie évaluée dans notre pays, malgré les difficultés que j'ai rencontré pour consulter les ouvrages dans ce sens et réaliser les essais expérimentaux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] site technique d'ingénieur (www. Techniques-ingenieur.fr)
- [2] **A.P. BABICHEV, M.D.MOTRENKO**, exploitation de la technologie de vibration
Pour L'amélioration de la qualité de surface et les caractéristiques, Russie 2006.
- [3] **A.P. BABICHEV, I.A. BABICHEV**, principe de la technologie de vibration,
Russie1999.
- [4] **HANS JORG MATHIEU, ERICH BERGMANN, RENE GRAS**, Analyse et la
Technologie des surfaces, édition 4, presses polytechniques et universitaires romandes
- [5] **JEAN, MARIE GEORGES**, frottement, usure et lubrification,
- [6] **ВАНН МАО**, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ
ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЗА
СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИ
АВТОРЕМОНТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ, г. Ростов-на-Дону 2003.
- [7] documentation de la fabrication d'équipement de tribofinition, Rösler 2009.
- [8] ПОВЫШЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКОНТАКТНЫХ
ВИБРОУДАРНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, **МОТРЕНКО ПЁТР ДАНИЛОВИЧ**, Ростов-
на-Дону – 2004 г.