

INFLUENCE DES TRAITEMENTS MECANQUES DE SURFACE SUR LA RUGOSITÉ, LA DURETÉ ET LA RÉSISTANCE A L'USURE D'UN ACIER Rb40

H. Hamadache , L. Laouar & K. Chaoui

Laboratoire LR3 MI, Département de Mécanique ,
Université Badji Mokhtar B.P 12, Annaba, 23000, Algérie.

RESUME

Les pièces chargées travaillant en contact finissent par se dégrader par suite du phénomène d'usure. De ce fait elles exigent un matériau à hautes caractéristiques des couches superficielles et une gamme de fabrication très poussée. Le galetage par galet roulant et le brunissage par pointe en diamant opérant par déformation plastique des couches superficielles peuvent conférer au matériau un nouvel aspect de surface tant sur le plan micro géométrique (rugosité) que sur le plan physique (dureté).

Ce travail a pour objectif de préciser par comparaison, les effets des deux procédés. Par ailleurs les influences des divers éléments du régime de formage sur la rugosité et sur la dureté ont été étudiées. Les résultats obtenus montrent que le nouvel aspect de surface requis est d'un indice technico-économique appréciable vis-à-vis de certains procédés conventionnels de mise en œuvre des matériaux. Les couches superficielles se comportent à la fois comme des surfaces rectifiées ($R_a = 0,22$ à $0,9 \mu\text{m}$) et écrouies ($HRB = 87$ à 90). Ces effets optimaux sont spécifiques à des régimes de travail pour chaque procédé.

La tenue à l'usure a été estimée à partir de la perte de masse. Les résultats ont montré qu'une surface traitée par galetage ou par brunissage se comporte comme une surface rodée et la tenue à l'usure s'est améliorée de 98%.

Mots clés : déformation plastique, dureté, rugosité, usure, galetage, brunissage.

ABSTRACT

Some machine components are subjected to high loads and when they are working in contact, damage usually occurs by a wear phenomenon. Therefore, material of high mechanical properties is requested and developed manufacturing techniques are necessary to obtain the work piece.

Diamond ball burnishing and rotating pebble roller rolling which are two processes operating with plastic deformation of superficial layers, can lead to new geometrical and physical aspect respectively characterized by a criteria of R_a roughness and a criteria of HRB hardness. Otherwise, the optimal effect of each of these two processes is conditioned by a specific shaping diet to each characteristic to obtain.

The aim of this paper is to compare the effect of the two processes. The relative influence of the different shaping elements on R_a and HRB are considered.

Results show that the new state of superficial layers obtained is technically acceptable and presents a good technical-economic index when comparing to conventional production process. The superficial layers generated by ball burnishing and roller rolling can be considering as a hardened surface ($HRB = 87-90$) and grinded surface ($R_a = 0,9 - 0,22 \mu\text{m}$). Thence the wear measurement determined by material weight loss method revealed a wear resistance improvement of 98%. Therefore, the behavior of the obtained surface is similar to polished surface.

Key words: Plastic deformation; Roughness; Hardness; wear; burnishing; roller rolling.

INTRODUCTION

Pour finir une pièce, on a recourt très souvent à une série d'usinage de finition [1,2] moyennant parfois un prix de revient élevé. Par ailleurs, Les couches superficielles étant les plus sollicitées en service sont donc les premières à se dégrader par suite des différentes actions de contact aussi bien avec les pièces conjuguées qu'avec le milieu environnant. En contact, sous l'effet du frottement celles-ci se dégradent par suite d'usure [3]. Actuellement 50%

de l'énergie fournie est perdue par frottement résultant des mouvements relatifs entre les éléments de machines. De nos jours les opérations de parachèvement et de renforcement des matériaux sévèrement sollicités font appel à des procédés modernes impliquant du formage tel que le galetage ou le brunissage [4 à 12]. Ces deux procédés mettent en œuvre une déformation plastique à froid des couches superficielles et agissent aussi bien sur les propriétés géométriques

Les paramètres d'entrée affectant les procédés sont variables d'un auteur à l'autre et se résument généralement aux éléments du régime de travail comme la vitesse, l'avance, l'effort de formage et le nombre de passes [11,13,14,]. Bien souvent on introduit d'autres paramètres tels que : la profondeur de pénétration [11], le temps de l'opération [13] ou même l'état initial des couches superficielles [15]. La forme et la géométrie de l'outil sont parfois pris en compte [11,12, 16, 17,18,19, 20].

Les réponses de sortie sont beaucoup plus axées sur l'aspect de surface [1,12,17], l'état des contraintes résiduelles en surface [13,15,17] et plus particulièrement la résistance des couches superficielles. D'autres résultats peuvent être attendus des deux procédés telles que la capacité portante, la tolérance dimensionnelle [6,14] ou la tolérance de forme [18].

Certains travaux, ont montré qu'il est possible d'atteindre sous certaines conditions des résultats intéressants à l'égard des propriétés mécaniques telles que : la rugosité et la dureté de surface [11,17,20], la résistance à l'usure [3,6], la résistance à la fatigue [4,5,15,16]. Toutefois, les résultats obtenus sont étroitement liés aux conditions de travail parfois limitées par la conception des outils [8], le matériau à traiter [13,18,20,23] et l'état initial de ses couches à partir duquel le traitement est plus efficace [6,11].

MATERIAU ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Le matériau

Le matériau étudié est un acier de nuance Rb40. Cet acier de qualité standard est livré par l'entreprise ISPAT de Annaba (Algérie) à l'état brut et vieilli naturellement.

Une analyse chimique basée sur l'absorption atomique effectuée au complexe ISPAT a révélé la composition chimique montré sur le tableau 1.

Tableau.1 : Composition chimique de l'acier Rb40

Elément	C	Mn	Si	P	S
[%]	0,34	1,25	0,16	0,03	0,03

Un essai de traction appliqué sur un barreau prélevé du matériau sus désigné a permis d'enregistrer les caractéristiques mécaniques rassemblées sur le tableau 2.

Tableau.2 : Caractéristiques mécaniques de l'acier Rb 40

Fmax [kN]	Re _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A %
73,96	447,4	612,5	20,6

Les éprouvettes sous forme de barreaux cylindriques ($\varnothing 16 \times 200$ mm), ont été préparées par tournage avec un outil en carbure métallique de nuance M20. Les couches superficielles résultant du tournage sont caractérisées par une rugosité $R_a = 1,9$ à $3,64 \mu\text{m}$ et une dureté HRB = 80 à 86.

Après tournage l'éprouvette est scindée en deux parties. La deuxième partie est destinée selon le cas à subir soit le brunissage ou le galetage. Chacune des deux parties est soumise au test d'usure.

Dispositif et mode opératoire

Dispositif de formage

Les deux opérations de brunissage et de galetage peuvent être effectuées au moyen d'un seul dispositif spécialement conçu à cet effet; seule la partie active est à changer selon le cas. Ce dispositif présente l'avantage d'une simplicité de montage sur la tourelle d'un tour universel (fig.1).

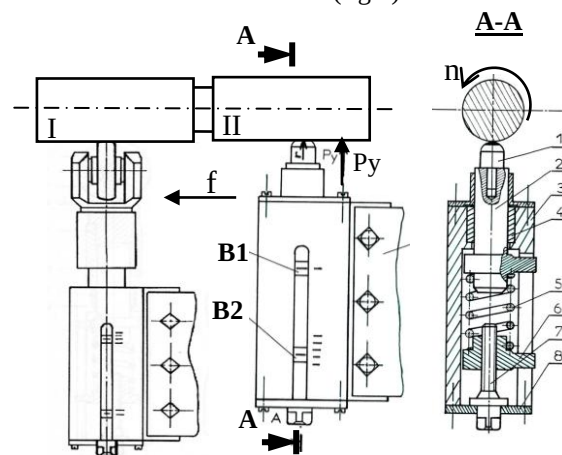


Figure 1. Schéma de principe et dessin d'ensemble de l'outil de formage

- 1) tige
 - 2) mandrin
 - 3) corps
 - 4) manchon guide
 - 5) ressort
 - 6) butée
 - 7) vis de réglage
 - 8) plateau
- B1&B2) Indicateurs de force.

Toutefois, le brunissage avec sa pointe en diamant de rayon $r_p = 1,5 \text{ mm}$ simule une opération de chariotage; le mouvement de formage est obtenu par la rotation de la pièce, celui de l'avance est communiqué à l'outil par l'intermédiaire du chariot longitudinal.

Le galetage avec galet tournant de diamètre 36 mm simule une opération de rectification cylindrique; de ce fait il nécessite en plus un mouvement rotatif du galet. Pour les deux procédés, le mouvement de

pénétration se traduit par l'action de la pointe en diamant ou le galet tournant qui exerce sur la pièce un effort P_y de formage pré-régulé sur le dispositif.

Ces opérations sont effectuées dans des conditions de lubrification sous un régime recommandé en fonction de la dureté initiale [9]. Ce régime est défini par : $V = 10$ à 80 m/min ; $f = 0,05$ à $0,1$ mm/tr ; $P_y = 5$ à 20 kgf et $i = 1$ à 3 passes. Afin d'apprécier l'influence de ces paramètres, les essais ont été conduits sous différents régimes dont la combinaison des paramètres est dictée par la méthode multifactorielle de planification des expériences [10].

Dispositif d'usure

Le but de ces essais est d'estimer la résistance du matériau à l'usure à l'issue du chariotage et après avoir subi l'un ou l'autre procédé de formage. Le phénomène d'usure a lieu par abrasion à trois corps dans la mesure où on injecte dans la zone de contact outil – pièce des grains d'abrasif véhiculés par l'huile de lubrification. L'essai s'effectue sur un tour parallèle au moyen d'un dispositif (fig. 2) équipé d'un roulement qui exerce une légère pression sur la pièce. Une fois le contact établi, le roulement est entraîné en rotation résultant d'une friction avec la pièce dont la fréquence de rotation a été fixée à 500 tr/min.

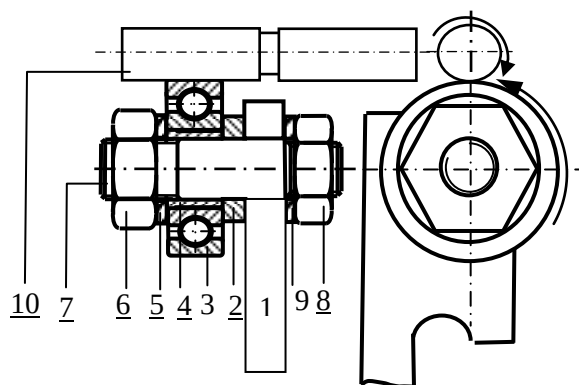


Figure 2: Dispositif d'essai d'usure.

- 1) corps ; 2) bague ; 3) roulement ; 4) bague ;
5) rondelle de serrage ; 6) écrou M8 ; 7) axe ;
8) écrou M8 ; 9) rondelle ; 10) pièce

Pour chaque essai, on fixe le temps et on effectue la pesée de l'éprouvette à l'aide d'une balance de précision. On enregistre alors la perte de masse Δm qui représente la différence entre la masse m_{i-1} avant et m_i après l'essai. La valeur cumulée de Δm est évaluée par l'expression :

$$\Delta m = m_{i-1} - m_i + \Delta m_{i-1}$$

La valeur de Δm caractérise en effet l'usure résultant du contact outil – abrasif – pièce pour un temps donné. Les éprouvettes destinées aux essais d'usure ont été sélectionnées selon les meilleurs

résultats de rugosité et de dureté résultant de chacun des deux procédés de formage.

RESULTATS

Effets des traitements

L'aspect initial des couches superficielles est le résultat d'une opération de tournage dont le régime de coupe optimal a été dégagé par fitting pour cibler une rugosité initiale de $3,2 \mu\text{m}$. Cet état géométrique est recommandé [7,9,11] pour une meilleure efficacité du traitement. D'ailleurs, les diverses combinaisons des éléments du régime de formage ont permis de révéler une rugosité $R_a = 0,22$ à $0,9 \mu\text{m}$ et une dureté $HRB = 87$ à 90 . Toutefois, le maximum d'effet apporté à chacune des deux caractéristiques (fig. 3) résulte d'un régime de travail spécifique à chaque traitement.

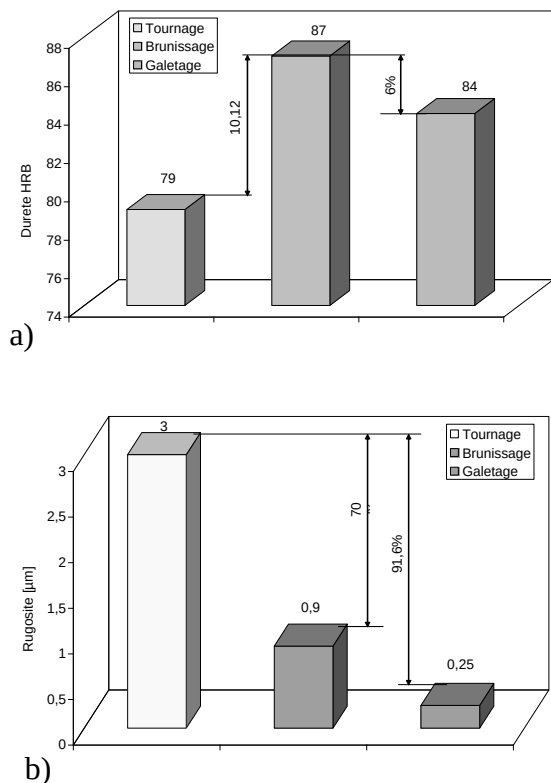


Figure 3 : Effet des traitements mécaniques sur : a) la dureté et b) la rugosité

Lors du brunissage, ces deux régimes diffèrent entre eux par le nombre de passes. En fixant la vitesse de la broche (V) = 45 m/min, l'effort de formage (P_y) = 15 Kgf et l'avance du traitement (f) = $0,075$ mm/tr; le fait qu'on travaille à un nombre (i) = 3 passes, on améliore la dureté de $10,12\%$. En revanche en se limitant à 2 passes, on améliore la rugosité R_a d'environ 70% .

Lors du galetage, le régime le plus avantageux envers Ra et HRB est également défini par les valeurs moyennes de V et f. Toutefois en combinant à ces valeurs un effort de 20 Kgf en deux passes, la rugosité se voit améliorée de 91,66%. En contre partie, lorsque l'effort de formage est réduit à 15Kgf et lorsque le nombre de passes augmente à 3, la dureté gagne jusqu'à 6,32%.

Influence du régime de traitement

La figure 4 illustre l'influence des paramètres de formage sur le taux d'accroissement de la rugosité.

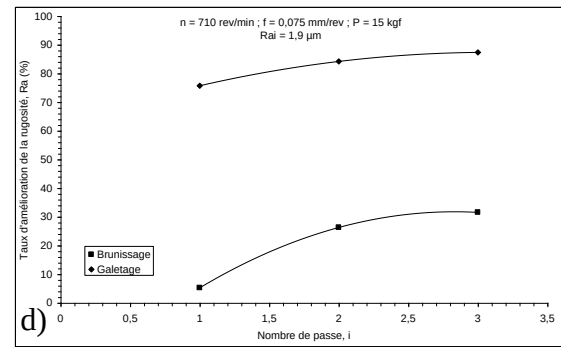
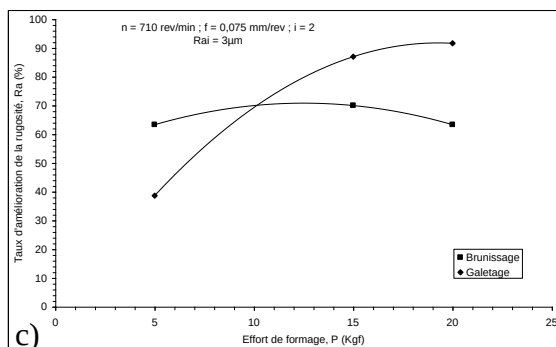
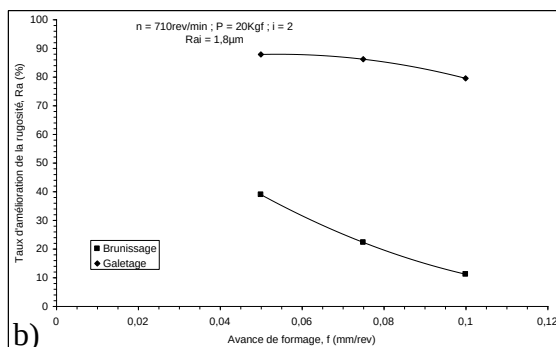
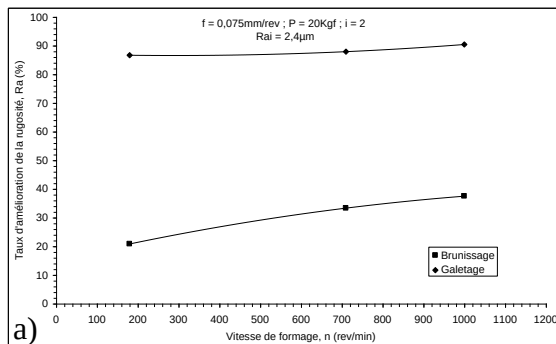
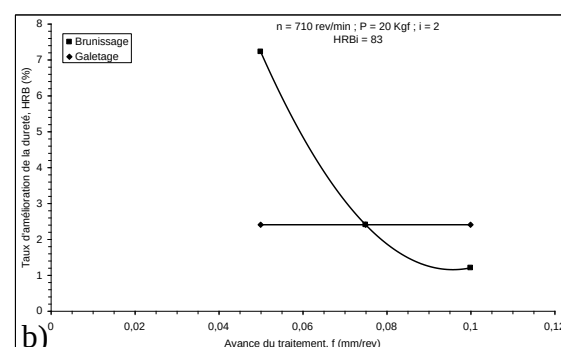
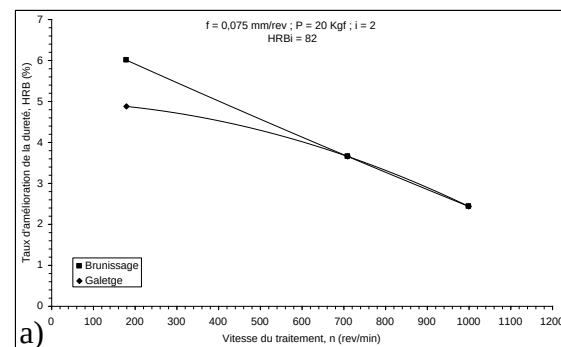


Figure 4. Influence des paramètres des traitements sur la rugosité, a) rotation de la broche, b) avance du traitement, c) Effort de traitement, d) Nombre de passes.

Les deux procédés sont peu sensibles à la variation de la fréquence de rotation ou à la vitesse d'avance (fig. 4a,b) quoiqu'une augmentation de l'avance allège l'efficacité du brunissage. Une augmentation de l'effort de formage et du nombre de passes lors du galetage (fig. 4c,d) améliore davantage l'aspect géométrique de la surface. Ce qui n'est pas le cas pour le brunissage. Il ne serait donc pas désirable de trop augmenter ces deux paramètres du régime de formage afin de ne pas minimiser les effets du brunissage.

La figure 5 montre que les courbes illustrant l'influence des éléments du régime de formage sur la dureté présentent les mêmes allures pour les deux traitements.



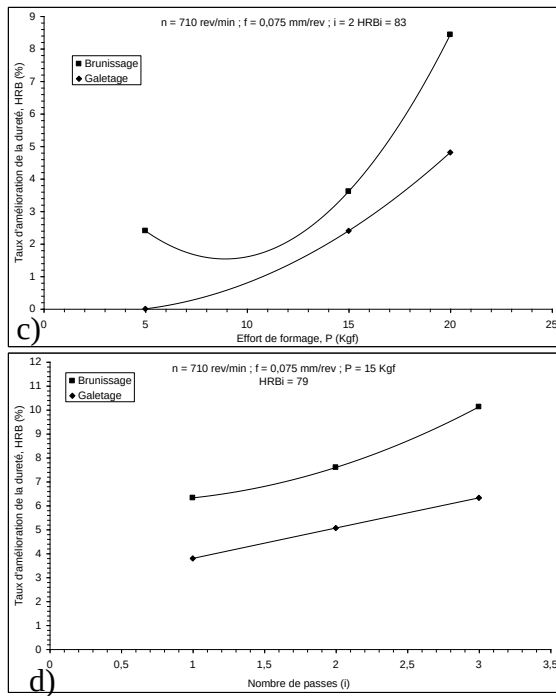


Figure 5. Influence des paramètres des traitements sur la dureté, a) rotation de la broche, b) avance du traitement, c) Effort de traitement, d) Nombre de passes.

Il ressort de l'analyse de ces courbes que le taux d'accroissement de la dureté diminue avec l'augmentation de la fréquence de rotation (Fig.5a) ou même la vitesse d'avance (fig.5b). Par contre, l'augmentation de l'effort de formage (fig.5c) et du nombre de passes (fig.5d) contribuent à améliorer la dureté. Cette amélioration étant plus marquée à l'issue du brunissage.

Résistance à l'usure

Les essais ont été réalisés pendant une durée spécifique de 60 min. La perte de masse enregistrée après tournage a été estimée relativement à $(\Delta m/m_0) = (1,94 \text{ à } 3,32)\%$. Après le galetage, la perte de masse représente : $(\Delta m/m_0) = 0,21\%$ alors qu'à l'issue du brunissage cette quantité a été réduite jusqu'à $0,05\%$ (fig.6).

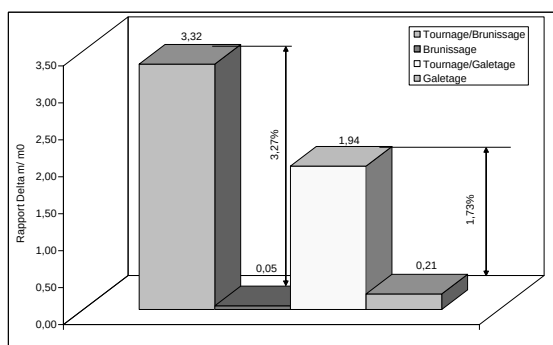


Figure 6. Effet des traitements sur la tenue à l'usure

Dans ce cas les deux procédés améliorent la tenue à l'usure. L'amélioration étant mieux ressentie par le brunissage (98%) que par le galetage (89%). L'évolution de l'usure en fonction du temps est illustrée par la figure 7.

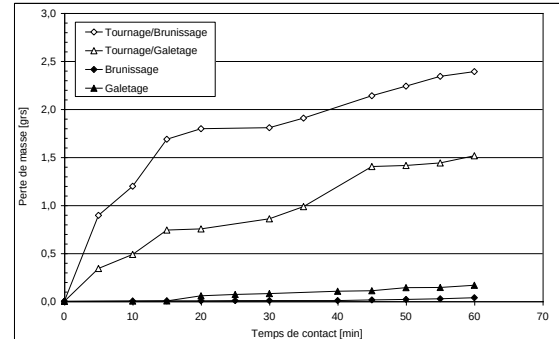


Figure 7. Evolution de la perte de masse au cours du temps

L'allure des courbes révèle les lois classiques d'usures [1] où on peut mettre en évidence les trois stades classiques d'usure.

Le premier stade caractéristique du rodage des aspérités de rugosité se manifeste jusqu'aux 20 premières minutes de l'essai. Ce stade étant plus accéléré lors du galetage. Le second stade représente l'usure systématique normale dont l'évolution au cours du temps est plus ou moins régie par une loi linéaire. Le troisième stade se distingue au-delà de 60 min d'essai, la perte de masse s'accélère de façon vertigineuse, on estime donc que l'usure serait entrée dans son domaine catastrophique. Le matériau se dégrade de façon très sévère au contact de l'outil.

DISCUSSION

Les deux procédés de formage introduisant une déformation plastique des couches superficielles concernent les aspects physique et géométrique de celles-ci. Il en résulte de cette plastification que les crêtes des aspérités d'usinage s'aplatissant pour mieux remplir les creux des sillons. Présentant ces aspérités nivelées par le passage des outils conduisent à une surface plus ou moins polie avec une rugosité comparable à celle fournie par les usinages de finition classiques [6].

D'une part l'importance du rayon du galet devant celui du brunissage et d'autre part de l'aire de contact outil-pièce permettent au galet de mieux aplatir les aspérités et améliorer davantage l'état de surface jusqu'à 91%. Cette amélioration est peu ressentie lors du brunissage dans le sens où l'amélioration de la rugosité était de 70%. En effet

la pointe en diamant de l'outil attaque la pièce de la même manière qu'un outil coupant. La génération ponctuelle de l'outil est peu efficace par rapport au galetage. Par ailleurs, il ressort de l'analyse des résultats que l'obtention d'une meilleure rugosité après formage dépend d'une part de l'état initial de la surface résultant d'un usinage à l'outil coupant et d'autre part d'un régime spécifique au traitement lui-même. En effet le meilleur résultat fournissant la plus petite rugosité avant et après traitement a été enregistré à partir d'une rugosité initiale de l'ordre de 3 μm (fig.3a). C'est en concordance avec celles préconisées dans d'autres travaux [7,11,19].

En vu d'obtenir une rugosité optimale, les régimes spécifiques aux deux traitements se distinguent entre eux seulement par le choix de l'effort de formage P_y . Le meilleur effet est acquis pour une force de 15Kgf lors du galetage (fig.4c). La faible étendue de contact outil-pièce lors du brunissage semble favoriser la pénétration de l'outil dans la pièce au fur et à mesure qu'on augmente l'effort P_y . Par conséquent la pièce se consolide davantage par suite d'un taux élevé d'écrouissage induit par la déformation plastique des couches superficielles. Le durcissement de la surface provoque sa détérioration par écaillage au contact de l'outil et altère son aspect qui préserve quand même l'avantage d'être meilleur par rapport à l'état initial. Lors du galetage, la largeur du galet favorise une grande aire de contact ce qui aura pour effet d'une part un allègement de la pression de contact et d'autre part un écoulement régulier des crêtes dans les creux des aspérités. De ces effets résulte un meilleur état de surface. Tant que l'effort de formage est faible ($P_y < 10\text{Kgf}$), l'action du brunissage demeure la plus avantageuse à l'égard de la rugosité; C'est pourquoi la figure 4c présente une interaction entre les deux procédés.

Une augmentation de la fréquence de rotation dans la gamme des vitesses choisie contribue à augmenter le taux d'amélioration de la rugosité (fig.4a). C'est que la température dans la zone de formage augmente avec la vitesse avant de se stabiliser à un certain moment. Les couches superficielles tendent à prendre un aspect de plus en plus visqueux ce qui réduit le frottement entre l'outil et la pièce et par conséquent la rugosité s'améliore davantage. Le meilleur résultat est obtenu pour le brunissage à cause de la meilleure rigidité en service de l'outil. Toutefois l'augmentation de la fréquence de rotation n'est pas souhaitable au-delà de certaines valeurs à cause d'une part de l'instabilité de l'outil, de la faible déformation plastique et de l'insuffisance du temps de lubrification [17] et d'autre part du phénomène de broutement qui est à l'origine de l'altération de surface [20].

Une augmentation de l'avance (fig. 4b) augmente le pas des sillons de l'outil ce qui tend à altérer la rugosité [1]. Le taux d'accroissement est plus affecté par la baisse lors du brunissage. Le galetage offre dans ce cas le meilleur résultat grâce à la forme de l'outil (donc du contact outil-pièce) qui travaille par génération linéaire et au mouvement de rotation supplémentaire de sa partie active lesquels contribuent à un meilleur nivellement des aspérités. L'augmentation du nombre de passe contribue à augmenter le taux d'accroissement de la rugosité (fig. 4d). Il semble que l'effet du nombre de passes est le même que celui de l'effort de formage. Toutefois il n'est pas désirable de trop augmenter le nombre de passes de crainte de sursaturer le matériau en écrouissage au risque de détériorer la surface une fois qu'on aurait dépassé l'aptitude à la déformation plastique du matériau [12].

L'amélioration de la dureté est le résultat d'un écrouissage des couches superficielles par suite de leur plastification. Le brunissage par sa pointe en diamant écrouit mieux le matériau par rapport au galetage quoique les duretés optimales résultant des deux procédés soient dans le même ordre de grandeur (fig.3b). Leurs valeurs se déduisent d'un même régime spécifique aux deux procédés.

Lors du brunissage le régime spécifique à la dureté optimale se diffère de celui relatif à la rugosité seulement par le nombre de passes qui change de 2 à 3.

Lors du galetage selon que l'on mise sur la rugosité ou sur la dureté optimale, on doit prendre en considération les deux éléments décisifs P_y et i . L'influence de ces deux éléments sur la dureté est régie par les mêmes phénomènes. L'augmentation de l'effort de formage tout comme l'augmentation du nombre de passes conduisent davantage à la plastification du matériau d'où sa consolidation par écrouissage. Par sa pointe en diamant, l'outil de brunissage affecte beaucoup plus en profondeur les couches superficielles et fournit donc le meilleur résultat. Par ailleurs, comme il est recommandé [12], on doit limiter ces valeurs pour ne pas sursaturer en écrouissage le matériau de crainte de développer des microfissurations du matériau.

L'augmentation de la vitesse de rotation et de l'avance de travail réduit les effets bénéfiques des deux traitements à l'égard de la dureté (fig.5a,b). Il semble qu'à vitesse élevée, le taux de déformation du matériau est insuffisant pour le consolider suffisamment. Il en est de même pour l'avance qui est liée à la vitesse de rotation par la chaîne cinématique de la machine-outil.

Avec l'augmentation de la vitesse, le brunissage se comporte de façon analogue au galetage. Alors qu'en augmentant l'avance, on remarque une

pla pointe en diamant de l'outil attaque la pièce de la même manière qu'un outil coupant. La génération ponctuelle de l'outil est peu efficace par rapport au galetage. Par ailleurs, il ressort de l'analyse des résultats que l'obtention d'une meilleure rugosité après formage dépend d'une part de l'état initial de la surface résultant d'un usinage à l'outil coupant et d'autre part d'un régime spécifique au traitement lui-même. En effet le meilleur résultat fournissant la plus petite rugosité avant et après traitement a été enregistré à partir d'une rugosité initiale de l'ordre de $3 \mu\text{m}$ (fig.3a). C'est en concordance avec celles préconisées dans d'autres travaux [7,11,19].

En vu d'obtenir une rugosité optimale, les régimes spécifiques aux deux traitements se distinguent entre eux seulement par le choix de l'effort de formage P_y . Le meilleur effet est acquis pour une force de 15Kgf lors du galetage (fig.4c). La faible étendue de contact outil-pièce lors du brunissage semble favoriser la pénétration de l'outil dans la pièce au fur et à mesure qu'on augmente l'effort P_y . Par conséquent la pièce se consolide davantage par suite d'un taux élevé d'écrouissage induit par la déformation plastique des couches superficielles. Le durcissement de la surface provoque sa détérioration par écaillage au contact de l'outil et altère son aspect qui préserve quand même l'avantage d'être meilleur par rapport à l'état initial. Lors du galetage, la largeur du galet favorise une grande aire de contact ce qui aura pour effet d'une part un allègement de la pression de contact et d'autre part un écoulement régulier des crêtes dans les creux des aspérités. De ces effets résulte un meilleur état de surface. Tant que l'effort de formage est faible ($P_y < 10\text{Kgf}$), l'action du brunissage demeure la plus avantageuse à l'égard de la rugosité; C'est pourquoi la figure 4c présente une interaction entre les deux procédés.

Une augmentation de la fréquence de rotation dans la gamme des vitesses choisie contribue à augmenter le taux d'amélioration de la rugosité (fig.4a). C'est que la température dans la zone de formage augmente avec la vitesse avant de se stabiliser à un certain moment. Les couches superficielles tendent à prendre un aspect de plus en plus visqueux ce qui réduit le frottement entre l'outil et la pièce et par conséquent la rugosité s'améliore davantage. Le meilleur résultat est obtenu pour le brunissage à cause de la meilleure rigidité en service de l'outil. Toutefois l'augmentation de la fréquence de rotation n'est pas souhaitable au-delà de certaines valeurs à cause d'une part de l'instabilité de l'outil, de la faible déformation plastique et de l'insuffisance du temps de lubrification [17] et d'autre part du phénomène de broutement qui est à l'origine de l'altération de surface [20].

Une augmentation de l'avance (fig. 4b) augmente le pas des sillons de l'outil ce qui tend à altérer la rugosité [1]. Le taux d'accroissement est plus affecté par la baisse lors du brunissage. Le galetage offre dans ce cas le meilleur résultat grâce à la forme de l'outil (donc du contact outil-pièce) qui travaille par génération linéaire et au mouvement de rotation supplémentaire de sa partie active lesquels contribuent à un meilleur nivellement des aspérités. L'augmentation du nombre de passe contribue à augmenter le taux d'accroissement de la rugosité (fig. 4d). Il semble que l'effet du nombre de passes est le même que celui de l'effort de formage. Toutefois il n'est pas désirable de trop augmenter le nombre de passes de crainte de sursaturer le matériau en écrouissage au risque de détériorer la surface une fois qu'on aurait dépassé l'aptitude à la déformation plastique du matériau [12].

L'amélioration de la dureté est le résultat d'un écrouissage des couches superficielles par suite de leur plastification. Le brunissage par sa pointe en diamant écrouit mieux le matériau par rapport au galetage quoique les duretés optimales résultant des deux procédés soient dans le même ordre de grandeur (fig.3b). Leurs valeurs se déduisent d'un même régime spécifique aux deux procédés.

Lors du brunissage le régime spécifique à la dureté optimale se diffère de celui relatif à la rugosité seulement par le nombre de passes qui change de 2 à 3.

Lors du galetage selon que l'on mise sur la rugosité ou sur la dureté optimale, on doit prendre en considération les deux éléments décisifs P_y et i . L'influence de ces deux éléments sur la dureté est régie par les mêmes phénomènes. L'augmentation de l'effort de formage tout comme l'augmentation du nombre de passes conduisent davantage à la plastification du matériau d'où sa consolidation par écrouissage. Par sa pointe en diamant, l'outil de brunissage affecte beaucoup plus en profondeur les couches superficielles et fournit donc le meilleur résultat. Par ailleurs, comme il est recommandé [12], on doit limiter ces valeurs pour ne pas sursaturer en écrouissage le matériau de crainte de développer des micro fissurations du matériau.

L'augmentation de la vitesse de rotation et de l'avance de travail réduit les effets bénéfiques des deux traitements à l'égard de la dureté (fig.5a,b). Il semble qu'à vitesse élevée, le taux de déformation du matériau est insuffisant pour le consolider suffisamment. Il en est de même pour l'avance qui est liée à la vitesse de rotation par la chaîne cinématique de la machine-outil.

Avec l'augmentation de la vitesse, le brunissage se comporte de façon analogue au galetage. Alors qu'en augmentant l'avance, on remarque une

interaction entre les procédés. Pour les faibles avances, le galetage est plus sensible à la dureté alors qu'il l'est moins pour des valeurs importantes. L'amélioration de la tenue à l'usure par les deux traitements semble être une conséquence directe du meilleur poli de surface et la dureté des couches superficielles déduits des deux procédés [3,6,16]. La courbe de perte de masse résultant du brunissage est située au-dessous de celle fournie par le galetage ceci explique que le procédé de brunissage offre le meilleur résultat à l'égard de la résistance à l'usure qui a enregistré une amélioration jusqu'à 98% dans ce cas là.

Les couches superficielles traitées par brunissage étant les plus dures que celles galetees font qu'elles résistent mieux à l'usure. Le meilleur poli de surface résultant du galetage est interprété par le stade de rodage sur la courbe d'usure qui pratiquement se confond avec celui relatif au brunissage.

Dans le stade d'usure normale, les deux courbes évoluent de la même façon. La courbe relative au brunissage évolue avec une pente moins raide ce qui confirme la meilleure efficacité de ce procédé. Au-delà de ce stade, la couche écrouie se dégrade au contact de l'outil et l'usure entre dans son domaine catastrophique.

CONCLUSION

Le galetage et le brunissage sont deux procédés de formage à froid par déformation plastique des couches superficielles. Ils offrent un glaçage par refoulement du matériau. Ce refoulement engendre un fluage à la surface du matériau où une onde métallique se forme devant l'outil et régénère une surface nouvelle derrière lui. Les deux procédés sont favorables à l'état de surface et la dureté.

Le meilleur résultat de la rugosité est fourni par le galetage, ce résultat est d'autant plus meilleur que la rugosité initiale est proche de 3 μm . Le meilleur résultat de la dureté résulte du brunissage. Par ailleurs l'efficacité optimale de chaque procédé résulte d'un régime spécifique dont les éléments décisifs sont l'effort de formage et le nombre de passes.

Pour une meilleure rugosité il est recommandé de limiter le nombre de passes à 2 par contre pour cibler une meilleure dureté, on peut pousser cet élément à 3 passes auquel il faut associer à un effort de 15 Kgf. L'effet de l'effort de formage sur la rugosité entraîne une interaction entre les deux procédés.

L'augmentation de la vitesse de rotation et de l'avance ne sont pas désirables ni pour la rugosité ni

pour la dureté; quoique ces deux éléments gouvernent la productivité et donc l'économie de l'opération.

Les couches superficielles traitées par galetage et par brunissage se comportent comme des surfaces rodées et présentent une bonne tenue à l'usure. Le brunissage en est le plus favorable à celle-ci.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] R. Weil, Techniques d'usinage, Editions Dunod, Paris 1971.
- [2] J. Baillon, Des matériaux, 3ème édition; Presses Internationales polytechniques, Montréal, 2000.
- [3] A.M. Hassan, A.D. Suleiman, Improvement in the wear resistance of brass components by ball burnishing process, J.Mater. Process. Technol. 96 (1-3), pp. 73-80, 1999.
- [4] H. Hamadache, K. Chaoui, Mechanical properties Improvements of Rb40 steel through ball burnishing process, Séminaire international de genie mécanique, pp.425-430, Oran, Avril 2002.
- [5] H.P. Lieurade, La pratique des essais de fatigue, Pyc éditions, Paris, 1982.
- [6] A.C.E. Mendar, La technique du galetage, Métaux et déformation, N°47, Avril 1978.
- [7] J. Lemercier, Emploi rationnel du galetage Métaux et déformation, N° 41, pp. 5-18, 1976.
- [8] <http://www.cogsdill.com>, Outils et machines à galeter, dill-Nuneaton ltd, Tenlons road, Nuneaton, England 2004
- [9] D.D. Papchev, Procédé de brunissage et son influence sur les propriétés mécaniques, Moscou, 1978.
- [10] E.S. Bojonov, I. Voutchkov, Méthodes statistiques pour la modélisation, Technica, Sofia, 1978.
- [11] N.H. Loh & Coll., Surface hardening by ball burnishing, Proc. Engng., Vol. 23, N°6, 1990.
- [12] A. Mahmood Hassan, The effect of ball and roller burnishing on the surface roughness of some non-ferrous metals, Journal of materials processing technology, pp 385-391, 1977.
- [13] M. Fattouh, M.M.EL Khabeery, Residual stress distribution in burnishing solution treated and aged 7075 Al alloy, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 29 N°1, pp. 153-160, 1989.

- [14] V.M. Braslavski, A.A. Baraz, Deformation strengthening of machinery parts, Vestnik Machinostroeniya Vol.63, Issue7, pp. 61-65, 1983.
- [15] P.I. Kudryavstsev; Surface work-hardening delays fatigue development, Russian Engineering journal, Vol. LII N°1, pp. 61-65, 1983.
- [16] S. Braham, Modélisation du galetage des vilebrequins. Evolution des contraintes résiduelles sous chargement cyclique, Thèse de doctorat, Palaiseau, Oct.1991.
- [17] M.M. Khabeery, M.H. EL-Axir, Experimental techniques for studying the effects of milling roller burnishing parameter on surface integrity, Mach. Tools & Manufact. Vol.41 pp1705-1719, 2001.
- [18] M.H. EL-Axir , M.M.EL Khabeery, Influence of orthogonal burnishing parameters on surface characteristics for various material, J.of materials processing technology, N° 132, pp 82-89, 2003
- [19] M.H. EL-Axir, An investigation into roller burnishing, Int. J. Mach. Tools Manufact. N°40, pp. 1603-1617, 2003.
- [20] A.M. Hassan, An investigation into the characteristics of burnished cast Al-Cu alloy, Int. J. Mach. Tools Manufact. N°37, N° 6 pp. 813-821, 1997.
- [21] F. Klocke, J.Lierman, Roller burnishing of hard turned surfaces, Int. J. Mach. Tools Manufact. N°38, pp. 419-423, 1998.
- [22] K.H. Wang & All., The 3D caractérisation of the surface topography of the ballizing process, Int. J. Mach. Tools Manufact. N°38, pp. 419-423, 1998.
- [23] L. Wagner, Mechanical surface treatments on Ti, Al and Mg alloys, Mat. Sce. Ingng. Vol.A263, pp.210-216.1999.