

INFLUENCE DU TRAITEMENT MECANIQUE PAR BRUNISSAGE SUR LA TENUE A L'USURE DE L'ACIER (RB40) PRODUIT A SIDER

L. LAOUAR ; H. HAMADACHE ; S.MEKHILEF

Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur ; Universté BADJI Mokhtar Annaba

RÉSUMÉ

Certaines pièces maîtresses des machines tournantes sont d'une part sollicitées en rotation à des charges engendrant un phénomène de fatigue et d'autre part travaillant en contact, elles finissent par se dégrader par suite du phénomène d'usure.

La conception et la mise en œuvre de ces pièces devront exiger un matériau à hautes caractéristiques mécaniques et une gamme d'usinage très poussée. Ces deux solutions bien qu'elles soient techniquement acceptables, ne garantissent pas un bon indice économique.

Afin de préserver cet indice, nous avons dans ce travail opté pour un matériau ordinaire en l'occurrence l'acier RB-40 auquel nous avons appliqué un traitement de brunissage comme opération de finition. Ce traitement offre des améliorations de l'aspect micro et macro géométriques du matériau qui se déduisent des caractéristiques accrues du matériau. Ce traitement peut donc remplacer l'opération de parachèvement classique qui est la rectification.

ABSTRACT

Some principal rotating machine pieces are requested, on the one hand, in a movement of rotation of loads which let to a phenomenon of tiredness and, on the other hand, when working in contact they end up in a system of degradation following the phenomenon of usury.

The conception and the application of these pieces should require a material of high mechanical features and a very developed level of machining range. Although These two solutions are technically acceptable, they do not guarantee a good economical indication.

In order to preserve this indication, our work will try house an ordinary material which is a steel RB-40 to which we applied a treatment of brunishing as finishing operation. This treatment gives some improvements of the differents micro- and macro-geomtric aspects of the material which can be deduced from improved features. This treatement can be used as a substitution of the classic completion operation which is the rectification.

Mots clés : déformation plastique superficielle, formage, usinage, écrouissage, brunissage, galetage.

INTRODUCTION

Il est d'usage courant qu'une pièce mécanique soit destinée à un rôle fonctionnel dans des conditions sévères. De ce fait, il est exigé un matériau à hautes caractéristiques mécaniques dont le choix reste un souci majeur pour les industriels à cause des contraintes économiques que peut causer ce choix. Néanmoins, on peut parer à ce problème en faisant appel à des méthodes de fabrication et des modes de traitement sur un matériau « classique » pour satisfaire les exigences techniques.

Dans le cadre de cette étude, le choix du matériau porte sur un acier auquel on fait subir un traitement mécanique par déformation plastique superficielle (DPS) assuré par un procédé de brunissage.

Certains travaux [1], [2], [3], [4], [5], [6] et [7] ont montré qu'il est possible d'atteindre des résultats intéressants à l'égard des propriétés mécaniques en général et à l'usure en particulier. Toutefois, l'état

initial de la surface et le régime du brunissage semblent jouer un rôle fondamental pour réussir le traitement [8] et conquérir une bonne tenue à l'usure.

TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Matériau

Le matériau étudié est un acier livré à l'état brut par l'entreprise SIDER (sous la désignation RB40). Les analyses au laboratoire ont permis de dégager la composition chimique : 0.34% de carbone, 1.25% de manganèse, 0.16% de silicium avec des traces de soufre (0.03%) et de phosphore. L'essai de traction a permis d'observer les caractéristiques mécaniques : $\sigma_e = 44.74$ [daN / mm²], $\sigma_r = 61.25$ [daN / mm²], l'allongement $A = 20.6\%$.

L'observation microscopique a révélé une structure ferrito-perlitique.

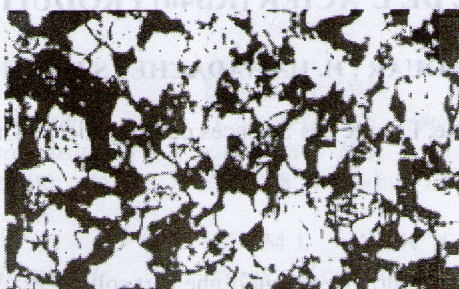


Fig.1 microstructure de l'acier RB40 (grossissement 600X)

Préparation des éprouvettes

Douze éprouvettes (fig.2) sont préparées par tournage avec un outil à chariotier coudé à plaquette rapportée en carbure métallique de nuance M20 (d'après ISO), ayant les caractéristiques géométriques suivantes :

$$\gamma = 12^\circ ; \alpha = 6^\circ ; \beta = 72^\circ ; \phi_1 = \phi_2 = 45^\circ$$

Les régimes de coupe utilisés lors de l'opération de finition sont [9]:

$$N = 500 - 1400 \text{ trs/min} ; f = 0.08 - 0.11 \text{ mm/tr} ; t = 0.075 - 0.25 \text{ mm}$$

Afin d'avoir une idée sur l'état géométrique recommandé ($R_a = 3.2 \mu\text{m}$) [8] pour la réussite du brunissage, les éprouvettes ont été tournées avec un régime de coupe déterminé à partir d'essais réalisés avec des régimes variés dont la combinaison obéit à la méthode de planification des expériences [10].

Suite à l'opération de tournage, il a été obtenu :

- une rugosité $R_a = 1.32 - 3.64 \mu\text{m}$

- une dureté superficielle HRB 80—86

Les résultats sont regroupés dans le tableau N°1; ce qui nous permettra d'analyser au mieux les effets du brunissage.

Brunissage

Dispositif et mode opératoire

Le dispositif a été conçu pour réaliser les opérations de brunissage sur un tour parallèle (fig.3). Il présente l'avantage d'une simplicité de son montage sur la tourelle du tour.

Le brunissage simule une opération de chariotage ; le mouvement de pénétration est obtenu par l'action de la pointe en diamant du brunissoir sous l'effet d'un effort réglable [11]. Le formage est obtenu par la rotation de la pièce et celui de l'avance de l'outil qui est communiqué par l'intermédiaire du chariot longitudinal.

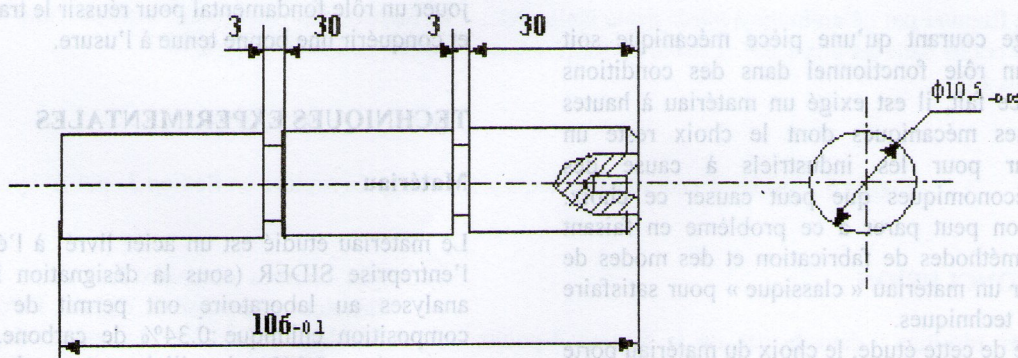


Fig.2 éprouvette préparée par tournage

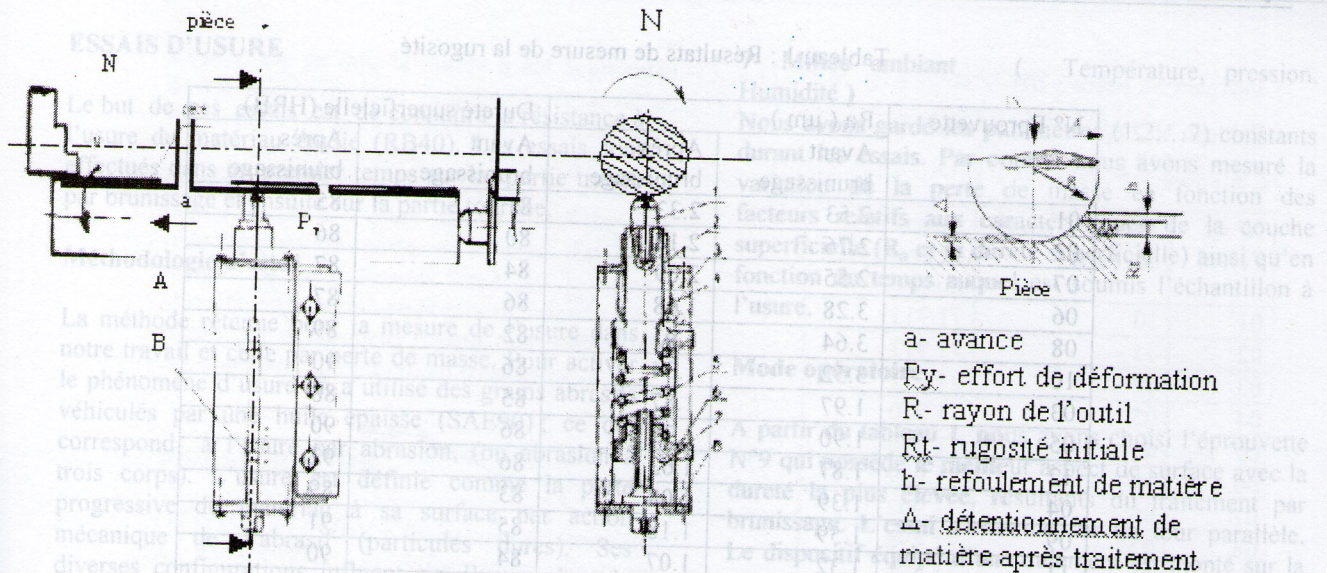


Fig.3 Formage par brunissage

A,B indicateurs d'effort

1-tige ; 2- mandrin ; 3-corps ; 4- manchon guide
 5- ressort ; 6- butée ; 7- vis de réglage ; 8- plateau
 L'effort « P_y » étalonné sur le dispositif est réglé à l'aide du vernier de la même façon qu'on règle la profondeur de passe.

Le travail s'accompagne d'un dégagement de chaleur résultant du frottement entre l'outil et la pièce, c'est pourquoi un arrosage de la zone de coupe est recommandé. A cet effet, nous avons utilisé une huile (SAE90) mélangée avec de l'eau.

Régime de brunissage

Le régime de brunissage dépend principalement de la dureté du matériau ; dans notre cas le matériau admet une dureté moyenne de 84 HRB, il est recommandé par [1] d'utiliser le régime suivant :

- effort de brunissage : $P_y = 5 - 20$ (kgf)
- avance : $a = 0.05 - 0.1$ (mm/tr)
- vitesse de formage : $V_c = 10 - 80$ (m/min)
- Le rayon de la partie active de l'outil (brunissoir) est $R = 1.5$ mm.

Pour mettre en évidence toute la gamme du régime recommandé, nous avons opéré par la combinaison des différents paramètres en tenant compte de la méthode de planification des expériences [10] qui prend en considération les valeurs extrêmes et moyennes de chaque paramètre.

Toutefois ces valeurs ont été corrigées selon la gamme des nombres de tours et d'avances fournies par la machine outil (tour) :

- Vitesses de coupe et vitesse de rotation de la pièce

$V_c = 10\text{m/min} \Rightarrow N = 355$ tr/min

$V_c = 45\text{m/min} \Rightarrow N = 1120$ tr/min

$V_c = 80\text{m/min} \Rightarrow N = 1800$ tr/min

- Avance : $a = 0.054$ mm/tr ; $a = 0.074$ mm/tr et $a = 0.11$ mm/tr

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les valeurs de mesures de rugosités et de dureté superficielle, relevées sur les éprouvettes tournées et traitées par brunissage sont présentées sur le tableau 1.

L'effet du traitement par brunissage vis à vis de la rugosité et de la dureté superficielle est illustré sur les histogrammes des figures 4 et 5 :

Tableau 1 : Résultats de mesure de la rugosité

N° Eprouvette	Ra (μm)		Dureté superficielle (HRB)	
	Avant brunissage	Après brunissage	Avant brunissage	Après brunissage
01	2.53	2.33	81	85
02	2.76	2.18	80	86
07	2.55	2.09	84	87
06	3.28	1.68	86	87
08	3.64	1.93	82	89
10	3.52	1.34	86	90
03	1.97	1.87	85	88
05	1.90	1.35	86	90
12	1.87	1.63	86	92
04	1.39	1.08	83	89
09	1.59	1.18	85	91
11	1.32	1.07	84	90
Valeurs Moy.	2.36	1.64	84	88.7

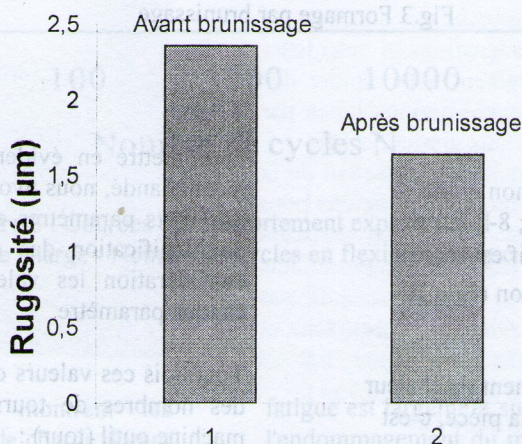


**Fig.4 Variation de la rugosité
après traitement par
brunissage.**

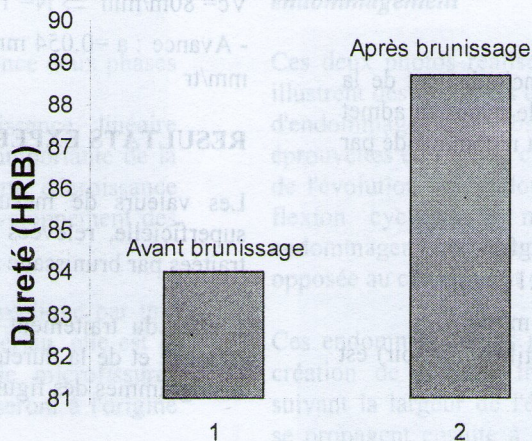


**Fig.5 Variation de la dureté
après traitement par
brunissage**

ESSAIS D'USURE

Le but de ces essais est de connaître la résistance à l'usure du matériau étudié (RB40). Les essais sont effectués dans un premier temps sur la partie traitée par brunissage et ensuite sur la partie tournée.

Méthodologie d'essai

La méthode retenue pour la mesure de l'usure dans notre travail et celle par perte de masse. Pour activer le phénomène d'usure on a utilisé des grains abrasifs véhiculés par une huile épaisse (SAE90); ce qui correspond à l'usure par abrasion, (ou abrasion à trois corps). L'usure est définie comme la perte progressive du matériau à sa surface par action mécanique de l'abrasif (particules dures). Ses diverses configurations influent sur l'usure dans la mesure où l'abrasif peut glisser ou rouler sur la surface selon le cas et en fonction d'autres paramètres, notamment la forme des grains, la pression exercée, etc... Les effets des aspérités ou des grains abrasifs se font de deux manières :

- par déformation plastique
- par coupe

D'une façon générale, le volume d'usure par abrasion est lié à la charge appliquée et à la distance parcourue.

Schéma d'essai

L'essai d'usure a lieu selon le schéma de la figure 6.

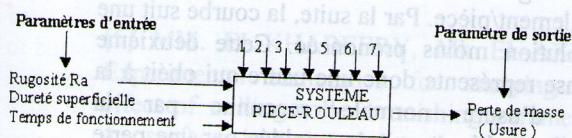


Fig. 6 : Schéma de l'essai d'usure

- 1- Lubrification (débit Q_x ; vitesse V ; caractéristiques de lubrifiant ; viscosité μ ,...)
- 2- Grains abrasifs (dimension ; dureté ;)
- 3- Régime de travail (pression de contact pièce/roulement ; vitesse de rotation N ,...)
- 4- Puissance dissipée
- 5- Rigidité du système (MODOP)
- 6- Caractéristiques géométriques des matériaux en contact

7- Milieu ambiant (Température, pression, Humidité)

Nous avons gardé les paramètres (1,2,...,7) constants durant les essais. Par contre, nous avons mesuré la variation de la perte de masse en fonction des facteurs relatifs aux caractéristiques de la couche superficielle (R_a et la dureté superficielle) ainsi qu'en fonction du temps auquel est soumis l'échantillon à l'usure.

Mode opératoire

A partir du tableau 1, nous avons choisi l'éprouvette N°9 qui possède le meilleur aspect de surface avec la dureté la plus élevée, résultants du traitement par brunissage. L'essai s'effectue sur un tour parallèle. Le dispositif équipé d'un roulement est monté sur la tourelle porte-outil d'une manière analogue à un outil de tour voir (fig.7). La pièce est alors prise dans un montage mixte, la fréquence de rotation retenue a été fixée à $N=500$ trs/min. le contact pièce/roulement est établi avec une légère pression au moyen du chariot transversal. Une fois le contact réalisé, le roulement est animé d'un mouvement de rotation résultant de sa friction avec la pièce. On injecte dans la zone de contact des grains d'abrasifs véhiculés par une huile de lubrification de type SAE90.

On fixe le temps d'essai et on effectue la pesée de l'éprouvette à l'aide d'une balance analytique de précision. De cette manière on obtient la perte de masse qui représente la différence entre la masse avant et après l'essai « i » : « $\Delta m = m_0 - m_i$ » correspondant au temps $t_i = t_0 + \Delta t_i$. L'essai a été réalisé sur une durée de 60 minutes (temps de référence).

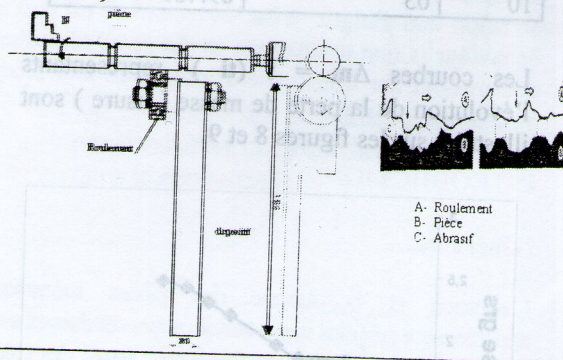


Fig.7 : Dispositif d'essai

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les valeurs de l'évolution de la perte de masse mesurées sur la partie traitée par brunissage et la partie tournée de l'éprouvette sont regroupées sur les tableaux 2 et 3 :

Tableau N°2 éprouvette brunie
m₀ = 71.918 grs

N° de l'essai	Temps d'essai Δti (min)	Masse de l'éprouvette mi (grs)
01	10	71.915
02	05	71.913
03	05	71.912
04	05	71.910
05	05	71.910
06	10	71.909
07	05	71.903
08	05	71.898
09	05	71.891
10	05	71.880

Tableau N°3 éprouvette tournée
m₀ = 71.880 grs

N° de l'essai	Temps d'essai Δti (min)	Masse de l'épr. mi (grs)
01	05	70.985
02	05	70.682
03	05	70.193
04	05	70.083
05	10	70.073
06	05	69.973
07	10	69.740
08	05	69.640
09	05	69.538
10	05	69.489

Les courbes Δm = f (ti) représentant l'évolution de la perte de masse (usure) sont illustrées sur les figures 8 et 9.

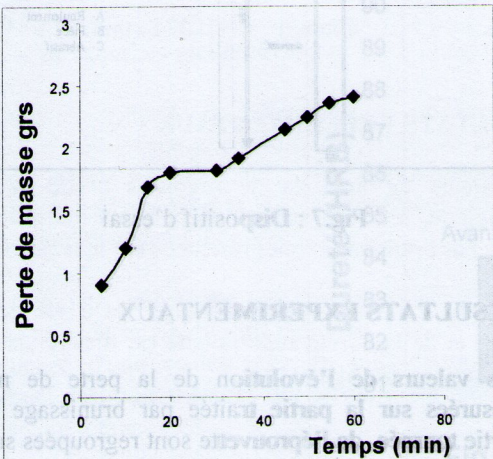


Fig.8 Evolution de l'usure de l'éprouvette tournée

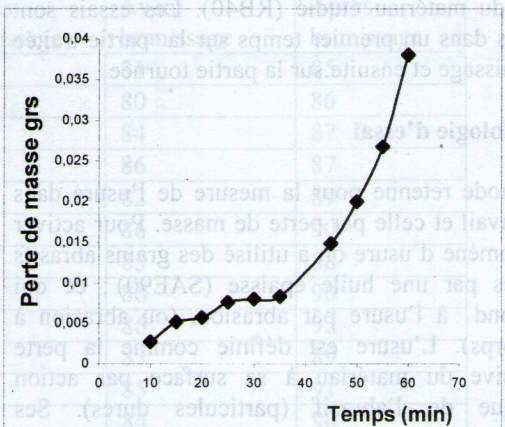


Fig.9 Evolution de l'usure de l'éprouvette traitée par brunissage.

DISCUSSIONS

Suite aux séries d'essais expérimentaux ainsi réalisées on constate que :

- Pour la partie tournée : durant un contact de 20 minutes, la courbe de perte de masse présente une pente beaucoup plus raide, ce qui traduit le rodage. Dans cette phase les aspérités de rugosité s'écoulent dans le contact roulement/pièce. Par la suite, la courbe suit une évolution moins prononcée. Cette deuxième phase représente donc une usure qui obéit à la loi d'usure normale reconnue par la bibliographie et qui s'est soldée par une perte de masse assez importante.
- Pour la partie traitée par brunissage : on retrouve une courbe de même allure et on constate que la perte de masse est très faible, ce qui traduit une faible usure ; c'est donc que l'aspect de surface résultant du brunissage est appréciable. La courbe traduit une usure correspondant à la phase de rodage, mais avec une perte de masse de 0.038 grs très infime devant celle de l'éprouvette tournée. Par conséquent, la perte de masse relative à un temps spécifique fixé à 60 minutes a été réduite de 98%, d'où l'efficacité du brunissage vis à vis du matériau en question.

CONCLUSION

Le brunissage est un traitement mécanique à froid qui intéresse les constructeurs du matériau. Grâce à la déformation plastique qu'il met en œuvre, le procédé favorise un meilleur aspect physique et géométrique de la

surface. De ce fait, la dureté a été augmentée de 8.6 % et la rugosité s'est améliorée de 62%. De ce nouvel aspect se déduit une amélioration des caractéristiques géométriques et mécaniques du matériau en question avec une bonne tenue à l'usure caractérisée par une réduction de la perte de masse. En effet, malgré le test à l'usure forcé par les grains abrasifs, le matériau se comporte comme pièce rodée, par conséquent il peut être utilisé dans des conditions de travail en frottement.

BIBLIOGRAPHIE

[1] D.D. PALCHEV ; Traitement de finition et de durcissement par déformations plastiques superficielles ; Moscou 1978.

[2] N.H. LOH ; SCTAM ; M.S. MIDAZAWA ; Surface Hardening by ball Burnishing. Précision Eng. vol. 23 N° 6 ,Décembre 1990.

[3] F. CLOCHE, J. LIERMAN ; ROLLER BRUNISHING of Hard surfaces ,Int.J. Mach Tools Manufact, Vol.38 pp 419-423, 1998.

[4] A.C.E. MENDAR ; La technique du galetage ; métaux ; déformation, N° 47 ; Avril 1978.

[5] MM. EL-KHABEERY, Mh EL-AXIR ; Experimental techniques for studying the effect of milling roller-brunishing parameters on surface integrity , Int. J. Mach Tools Manufacture ,Vol. 41, pp. 1705-1719, 2001

[6] P.I. KUDRYAVTSEV ; Russian Engineering Journal, vol. II, N° 1 ; pp. 51-54 ; 1979.

[7]Y.G. CHNEIDER ; Technologie de traitement de finition par pression ; Edition polytechnique Saint-petersbourg, 1998.

[8] A. CHEVALIER, J. BOHAN ; Guide du technicien en fabrications mécaniques ; Hachette, Paris 1979.

[9] ROLAND WEIL ; Techniques d'usinage ; Edition Dunod Paris 1971.

[10] J. GOUPY ; Plan d'expériences pour surfaces de réponse ; Edition Dunod Paris 1999.

[11] H. HAMADACHE ; thèse de magister ; Université de Annaba avril 1987.

[12] J. VERGNAS ; Usinage, technologie et pratique ; Dunod, Paris 1989.