

Le comportement tribologique du couple acier-acier sans et avec lubrification

Hamoudi Bouhabila^{1,2*}, Ali Bouchoucha², Ratiba Benzerga³, Claire Le Paven³

¹ Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Université Boumerdes, Algérie ;

² Laboratoire Génie mécanique, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie, Université –Constantine-1-, Route Ain-El-Bey, 25000 Constantine, Algérie ;

3 IUT Saint Briec, Université de Rennes 1, 22004 Saint Briec, France

* : hamoudi_bouhabila@yahoo.fr

Résumé - La qualité des surfaces métalliques usinées est principalement déterminée par les erreurs de forme et le degré de finition des pièces usinées induits par les différents facteurs impliqués dans le processus de la coupe. Il est donc nécessaire de définir l'influence de ces différents paramètres afin d'en choisir les plus appropriés qui permettent d'atteindre la qualité des surfaces désirée, et d'optimiser ainsi le coefficient d'usure des surfaces en contact. Dans ce travail, nous étudions l'influence de la rugosité sur le comportement en frottement et en usure du couple acier-acier dans des conditions atmosphériques, des essais tribologiques, à l'aide d'un tribomètre pion-cylindre, ont été réalisés.

Mots Clés : Etat de surface ; Rugosité ; Qualité de surface; Frottement ; Usure.

1. Introduction

Sur le marché de la productique mécanique, quelque soit le mode d'usinage par enlèvement de matière, le but final est d'obtenir un produit dont la qualité d'exécution sera caractérisée par une précision dimensionnelle des formes géométriques et un degré de propreté des surfaces lié directement à la notion de la rugosité [1]. L'état de surface est l'un des aspects les plus pertinents des opérations d'usinage, puisqu'il représente la phase finale du cycle de production. Cet état de surface détermine le degré de finition des surfaces et les propriétés dimensionnelles et géométriques des pièces usinées [2].

L'étude tribologique du couple acier-acier, a été réalisée afin de voir l'influence de la rugosité moyenne Ra du cylindre sur le coefficient de frottement μ et minimiser la valeur d'usure pendant le contact à sec ou lubrifié en utilisant un tribomètre pion-cylindre équipé d'un dispositif d'acquisition.

2. Etude expérimentale

2.1. Machine-outil et éprouvettes

La machine utilisée est un tour parallèle de puissance $P= 4.9$ KW. La pièce (cylindre) de dimensions ($\varnothing =40$ mm, $L=134$ mm) est fixée à l'aide d'un mandrin d'un côté et entre pointe tournante de l'autre côté (montage mixte). 9 pistes ont été réalisées avec différents paramètres de coupe choisis : la vitesse de coupe (V_c) variant de 800 à 1600 m.min⁻¹, une vitesse d'avance d'outil (f) variant de 0.1 à 0.2 mm.tr⁻¹ et un rayon de bec de l'outil (R_c) variant de 0.5 à 1.5 mm. L'opération effectuée est le chariotage en finition de 0.5 mm de passe [3]. La deuxième pièce est un pion de dimensions ($\varnothing =10$ mm, $L=20$ mm). La pièce usinée ainsi que le pion sont montrés en (Fig.1).

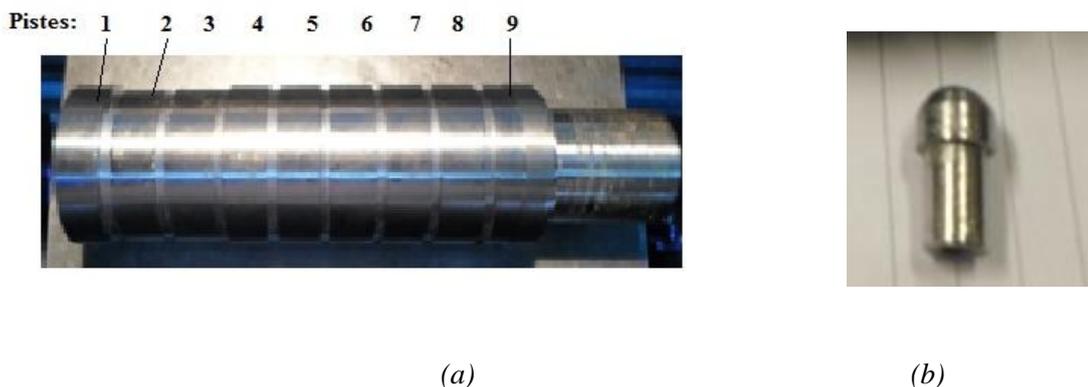


Figure 1 : Pièces usinées : (a) Cylindre de nuance 42CrMo4 et (b) Pion de nuance A60

2.2. Matériaux

Deux aciers, de différentes nuances, ont été choisis pour cette étude. Le 42Cr Mo4 est un acier traité près à l'emploi utilisé pour les pièces de transmission chargées, arbres, vérins, pignons et les couronnes, et le A60 est un acier étiré mi-dur, souvent utilisé pour les bagues, les pignons à chaînes et les axes [4].

2.2.1. Caractéristiques mécanique

Les propriétés mécaniques des différents aciers utilisés sont présentées dans Tab. 1.

Tab. 1 Les caractéristiques mécaniques

Norme	Limite Elastique \geq [N/mm ²]	Résistance à la traction [N/mm ²]	Allonge ment %	Striction à la Rupture %	Résilience [J]	Dureté [HV] 10Kg de charge
Désignation A60	350	620-700	17	45	20	260
Désignation 42CrMo4	370	700-850	10	-	30	340

2.3. Appareil de mesure de la rugosité

Pour cette étude, un profilomètre (Alti Surf 500) équipé d'un logiciel de traitement d'image en 3D et du profil de la rugosité en 2D a été utilisé (Fig.2). Une mesure de la rugosité arithmétique moyenne Ra (issues à partir de l'opération de chariotage en finition de chaque piste en fonction des différents paramètres de coupe utilisés (Fig.3) a été ainsi réalisée.



Figure 2 : Profilomètre type Alti Surf 500

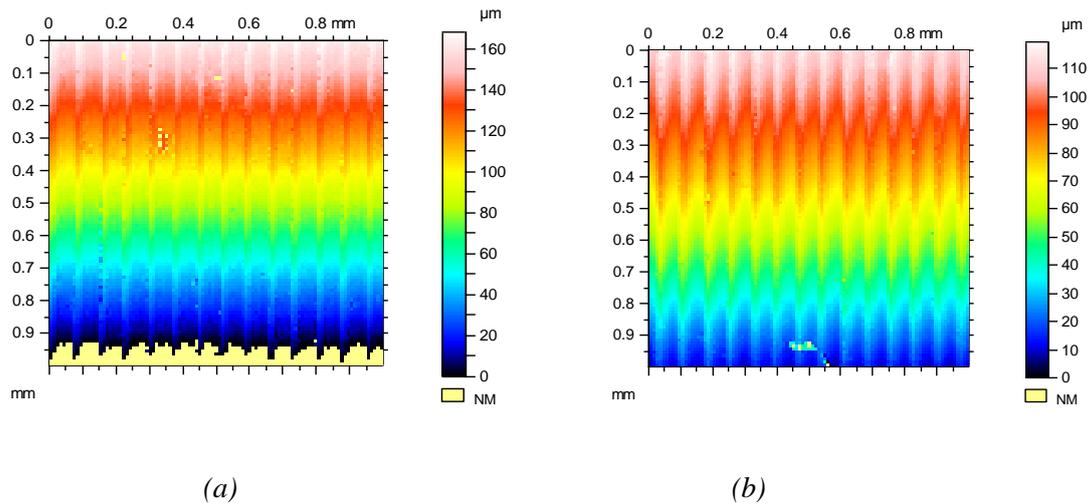
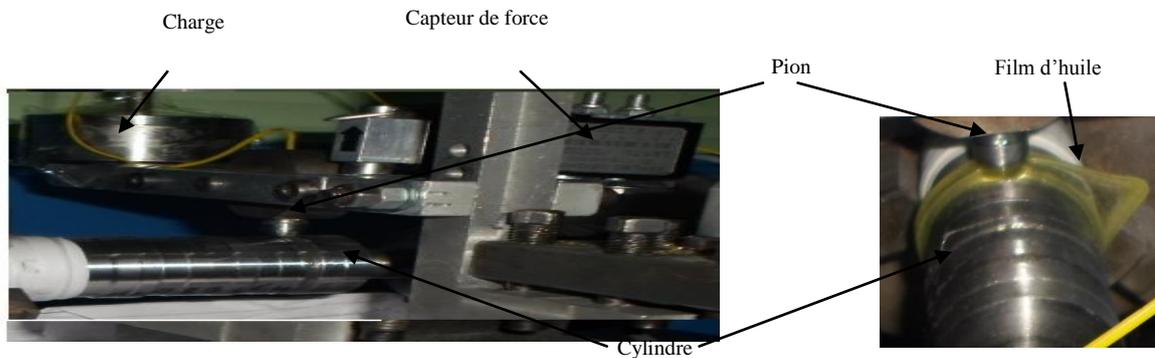


Figure 3 : Exemple de rugosité, R_a obtenus pour le 42CrMo4, après usinage
 (a) $V_c = 800 \text{ m.min}^{-1}$, $R_a = 1.10 \text{ } \mu\text{m}$ et (b) $V_c = 1600 \text{ m.min}^{-1}$, $R_a = 1.63 \text{ } \mu\text{m}$

3. Comportement tribologique

3.1. Contact à sec et lubrifié

L'étude tribologique du couple acier-acier, de nuances et de duretés différentes (42CrMo4 et A60) a été réalisée en utilisant un tribomètre pion-cylindre équipé d'un dispositif d'acquisition figure 4 [5]. Les essais se sont déroulés dans une ambiance atmosphérique. Les essais secs ont donné des valeurs du coefficient de frottement ($\mu \leq 0.9$), c'est la raison pour laquelle, on a utilisé de l'huile commerciale 20W40 pour lubrifier le contact dynamique [6], dans ces conditions μ diminue ($\mu = 0.4$) figure 4 (b).

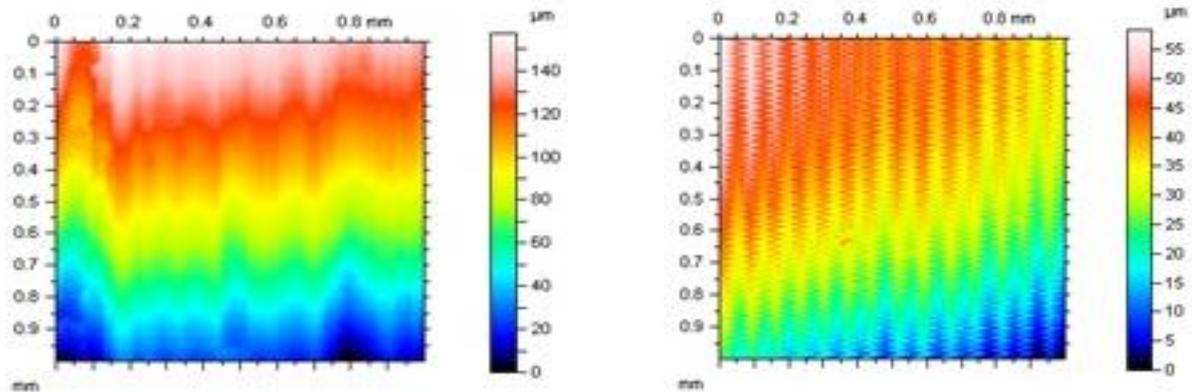


(a) Contact à sec (b) Contact lubrifié

Figure 4 : Contact pion-cylindre

3.2. Mesure de la rugosité

On constate, d'après les résultats obtenus de la rugosité R_a par le profilomètre après essai tribologique, que la valeur de cette dernière diminue (de $1.10 \text{ } \mu\text{m}$ à $0.92 \text{ } \mu\text{m}$ contact à sec et de $1.63 \text{ } \mu\text{m}$ à $1.5 \text{ } \mu\text{m}$ contact lubrifié) ce qui explique la disparition des pics de la rugosité et l'augmentation du coefficient d'usure de la pièce tournante (cylindre), pendant le contact à sec (Fig.5 (a) et (b)).



(a)

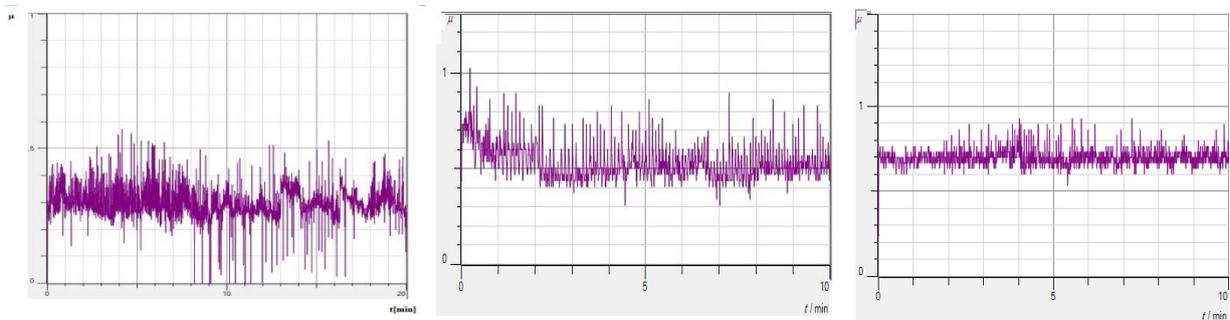
(b)

Figure 5 : Exemple de la rugosité obtenu pour 42CrMo4, après essai tribologique avec et sans lubrifiant, $V_c = 750 \text{ m.min}^{-1}$,

(a) à sec, $R_a = 0.92 \text{ µm}$ et (b) avec lubrifiant, $R_a = 1.5 \text{ µm}$

3.3.Résultats et discussion

On remarque, d'après les figures (6,7) et (Fig.8 (a) et (b)), que le coefficient de frottement μ en fonction du temps, pour une charge et une vitesse données, demeure pratiquement constant pour toute la durée de l'essai et sa valeur varie selon la rugosité de : $\mu_{\text{lubrifié}} = 0.4$ à 0.65 et $\mu_{\text{sec}} = 0.35$ à 0.85 . Donc la rugosité du cylindre a une influence sur le coefficient de frottement; En effet, lorsque la rugosité augmente μ augmente aussi (Fig.9, (a) et (b)).



(a) $R_{a1}=1.5 \text{ µm}$, $\mu=0.4$

(b) $R_{a2}=2.4 \text{ µm}$, $\mu=0.5$

(c) $R_{a3}=3.94 \text{ µm}$, $\mu=0.65$

Figure 6: (a), (b) et (c) Variation du coefficient de frottement en fonction du temps, pour $P= 12N$ et $V= 740 \text{ tr/min}$ en faisant varier la rugosité moyenne R_a -contact lubrifié-

A travers les résultats obtenus, les coefficients de frottement enregistrés du couple acier-acier à sec, en fonction du temps, pour une charge normale appliquée et à une vitesse linéaire fixes, montrent l'existence de trois phases distinctes :

Première phase : il s'agit d'une phase transitoire (de rodage) qui dure environ 5 minutes et au cours de laquelle le coefficient de frottement varie entre (0.2 à 0.6) suivant la piste de la rugosité choisie.

La deuxième phase, est une phase perturbée où les aspérités des antagonistes s'enchevêtrent augmentant ainsi l'adhésion ($\mu = 0.9$ à 1.5). Les pics du cylindre, plus durs que la contre face pénètrent dans le métal du pion arrachant de la matière, et labourent cette surface (Fig.8.a). La

déformation plastique entraîne une élévation de la température à l'interface (valeurs mesurées de la température moyenne à l'interface en utilisant un thermocouple placé à 2 mm du contact : 45 °C à 85°C) affectant ainsi les propriétés mécaniques des surfaces particulièrement, la plus tendre, diminuant alors le frottement et augmentant l'usure du pion.

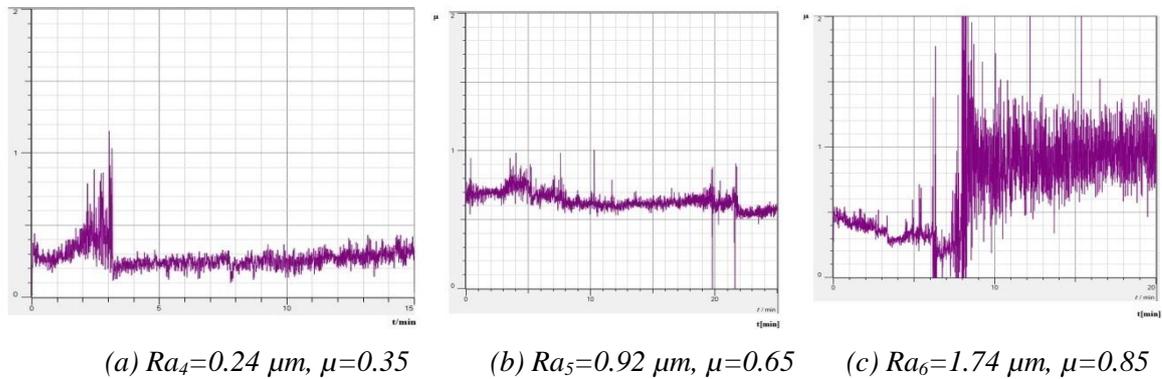


Figure 7: (a), (b) et (c) Variation du coefficient de frottement en fonction du temps, pour $P= 12N$ et $V= 740 \text{ tr/min}$ en faisant varier la rugosité moyenne Ra -contact à sec-

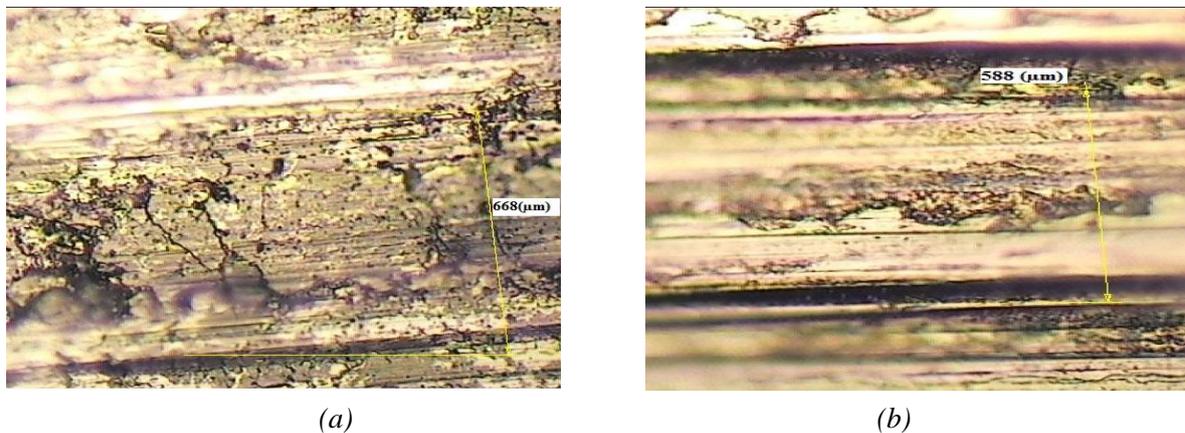


Figure 8 : Représentation de la structure des pistes des pions après essai à l'aide d'un microscope-optique $x40$: (a) contact à sec $Ra_4 = 1.74 \mu m, \mu_{sec}= 0.85$ et (b) contact lubrifié $Ra_5 = 1.5 \mu m, \mu_{lubrifié} = 0.4$

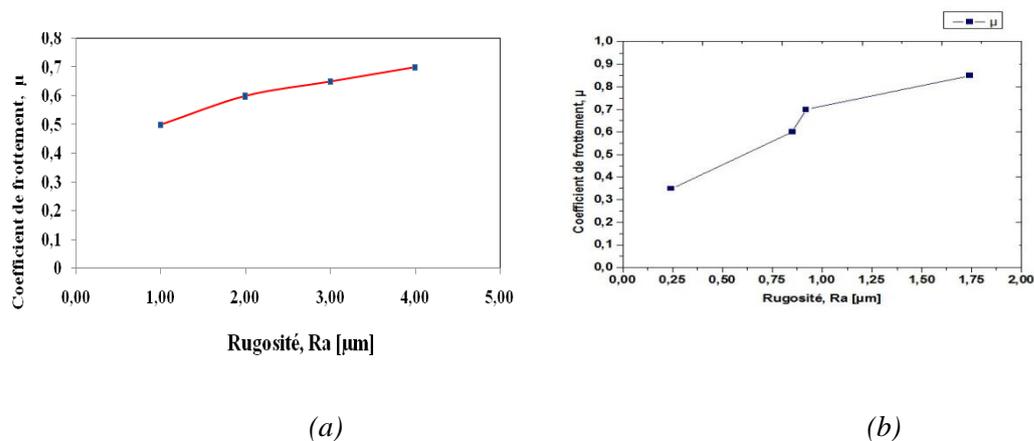


Figure 9 : Variation du coefficient de frottement μ en fonction de la Rugosité Ra :
(a) contact lubrifié et (b) contact à sec

La troisième phase, caractérise le régime stationnaire où l'état d'équilibre est établi par la stabilité des conditions de fonctionnement à l'interface. Dans cette zone le coefficient de frottement est de l'ordre de 0.7 à 0.8, suivant la piste choisie, alors que la température diminue jusqu'à 37°C (Fig.7).

De plus, vu les conditions sévères de fonctionnement, et les contraintes cycliques exercées sur la surface, des fissures le long de la surface de contact du pion ont été créées. Ces fissures augmentent l'usure par fatigue qui génère des débris actifs de tailles moyennes à l'interface. Ces débris s'accumulent et s'enfoncent dans le pion en arrachant le métal (Fig.8.a).

Le lubrifiant facilite le glissement entre les surfaces en contact et diminue les contraintes, par conséquent, les fissures disparaissent et μ diminue (Fig.8.b).

4. Conclusion

Il ressort de notre étude ce qui suit :

Une diminution de la valeur de la rugosité moyenne Ra, issue de l'usinage après l'essai tribologique (contact acier-acier à sec ou lubrifié) suite à la disparition des pics et usure de la matière en contact du cylindre.

Une variation du coefficient de frottement qui dépend de la valeur de l'état de surface de la piste du cylindre en contact à sec ou lubrifié pendant la durée de l'essai,

Une augmentation du coefficient d'usure de pion constaté après pesage de ce dernier suite au perte de matière et dégagement de débris pendant la durée de l'essai tribologique.

Présence des fissures le long des surfaces en contact du pion pendant l'essai à sec ce qui facilite l'enlèvement de matière des parties usées et présence des parties oxydées dues à l'augmentation de la valeur de la température.

Afin de faciliter le glissement des surfaces en contact nous avons utilisé du lubrifiant à huile qui a permis de stabiliser la température et diminuer l'effet des vibrations pendant l'essai.

Références

- 38.J. Cecha et al, Surface roughness reduction using spray-coated hydro-gen silsesquioxane. *Applied Surface Science*, vol 280 (2013) 424–430.
- 39.A. Boryczko et al, Effect of waviness and roughness components on transverse profiles of turned surfaces. *Measurement*, 46 (2013) 688–696.
- 40.R. Suresh, Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool. *Measurement*, 45 (2012) 1872–1884.
- 41.M. Sortino, Dry turning of sintered molybdenum. *Journal of Materials Processing Technology*, 213 (2013) 1179–1190.
- 42.Y. Mouadji, Effets du courant électrique sur le mécanisme de croissance de la couche d'oxyde à l'interface des contacts électrodynamiques cuivre-graphite et graphite-graphite, thèse de doctorat, Université Constantine 1, (2013).
- 43.T. Leppert, Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51 (2011) 120–126.