

COMPORTEMENT TRIBOLOGIQUE DU COUPLE ACIER-ACIER : 42CRMO4-20MNCR5

H. BOUHABILA^{1,2}, A. BOUCHOUCHA², R. BENZERGA³, C. LE PAVEN³

¹Laboratoire de mécanique, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie, Université Les Frères Mentouri, Constantine, Algérie, hamoudi_bouhabila@yahoo.fr

²Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Université Boumerdes, Algérie

³Département Science et Génie des Matériaux, IUT de Saint Briec, Université de Rennes 1, 22004 Saint Briec CEDEX, France

RÉSUMÉ

Le degré de finition des pièces usinées caractérise la qualité des surfaces qui est principalement déterminée par les erreurs de forme et induite par les différents facteurs impliqués dans le processus de la coupe. Il est donc nécessaire de définir l'influence de ces paramètres (paramètres de coupe) afin d'en choisir les plus appropriés qui permettent d'optimiser le coefficient d'usure des surfaces en contact. Dans ce travail, on étudie l'influence de la rugosité sur le comportement en frottement et en usure du couple acier-acier à sec ou lubrifié, dans des conditions atmosphériques. Pour ce faire, des essais tribologiques ont été réalisés à l'aide d'un tribomètre pion-cylindre, suivi d'une analyse morphologique de ce contact en MEB et en EDX.

Mots Clés: *Rugosité, Qualité de surface, Contact des surfaces, Frottement, Usure, Tribologie.*

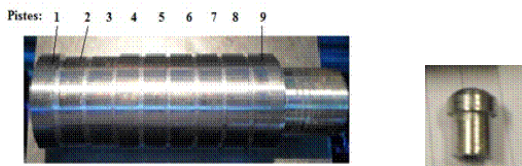
1. INTRODUCTION

Dans la production industrielle, 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 finition des surfaces lié directement à la notion de la rugosité [1]. L'état de surface est l'un des caractéristiques les plus pertinentes des opérations d'usinage, puisqu'il représente la phase de contrôle finale du cycle de production. L'étude tribologique du couple acier-acier à sec ou lubrifié [2], a été réalisée en fonction de la rugosité (R_a , R_t , R_z) du cylindre en rotation monté sur le mandrin d'un tour. Le coefficient de frottement (sec ou lubrifié) μ et l'usure W (perte de masse du pion) sont déterminés grâce à un dispositif d'acquisition.

2. ETUDE EXPÉRIMENTALE

2.1. Eprouvettes

Le disque de forme cylindrique de diamètre ($\phi = 40$ mm) et de longueur ($L = 134$ mm) est fixée à l'aide d'un montage mixte sur un tour parallèle de puissance $P = 4.9$ KW. 9 pistes ont été usinées avec différents paramètres de coupe choisis : la vitesse de coupe (V_c) variant de 800 à 1600 $m \cdot min^{-1}$, une vitesse d'avance d'outil (f) variant de 0.1 à 0.2 $mm \cdot tr^{-1}$ et un rayon de bec de l'outil (R_c) variant de 0.5 à 1.5 mm. L'opération effectuée est le chariotage de 0.5 mm de passe. La deuxième pièce est un pion (9 pions ont été usinées suivant le nombre de pistes testées) de dimensions ($\phi = 10$ mm, $L = 20$ mm). La pièce usinée ainsi que le pion sont montrés figure 1.



(a) (b)
 FIGURE 1. (a) Cylindre de nuance 42CrMo4 et (b) Pion de nuance 20MnCr5

2.2. Matériaux

Deux aciers, de nuances différentes, ont été choisis pour cette étude. Le 42CrMo4 (pour le disque) est un acier traité près à l'emploi utilisé pour les pièces de transmission chargées, arbres, vérins, pignons et les couronnes, et le 20MnCr5 (pour le pion) est un acier de traitement plus ou moins dur et résistant, souvent utilisé pour les bagues, les pignons à chaînes et les axes [3].

Les propriétés mécaniques et la composition chimique des différents aciers utilisés sont présentées dans Tab. 1 et Tab. 2.

Désignation					
Elément d'addition	C	Mn	Si	Cr	Mo
Valeur	%	%	%	%	%
Expérimental 20MnCr5	0.12	1.07	0.24	1.0	0.014
Valeur					
Expérimental 42CrMo4	0.41	0.86	0.22	1.11	0.22

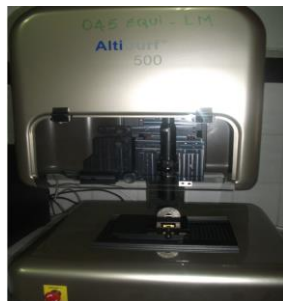
TABLEAU 1. Composition chimiques

Norme	Limite Elastique \geq [N/mm ²]	Résistance à la traction [N/mm ²]	Allongement %	Striction à la Rupture %	Résilience [J]	Dureté [HV] 20Kg de charge
Désignation 20MnCr5	240	450-600	24	45	27	240-270
Désignation 42CrMo4	650	900-1100	12	50	35	340-355

TABLEAU 2. Caractéristiques mécaniques

2.3. 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). Deux mesures de la rugosité arithmétique moyenne Ra ont été réalisées, la première issue de l'opération de chariotage en finition de chaque piste en fonction des différents paramètres de coupe utilisés (Fig.3), et la deuxième après essai tribologique (Fig. 5).



(a)



(b)

FIGURE 2. Profilomètre type Alti Surf 500

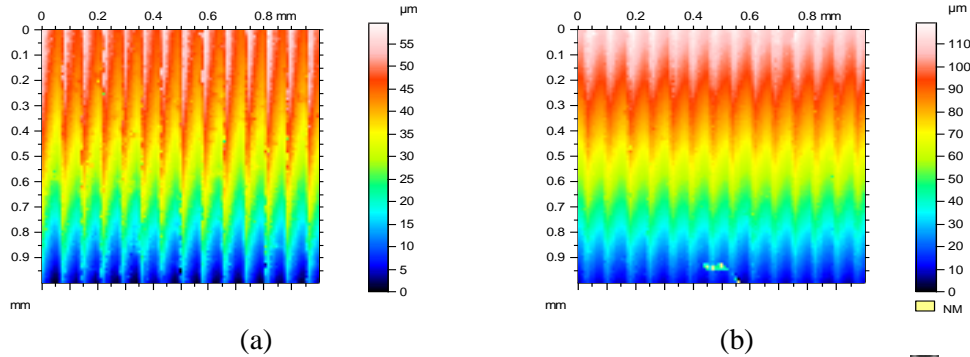
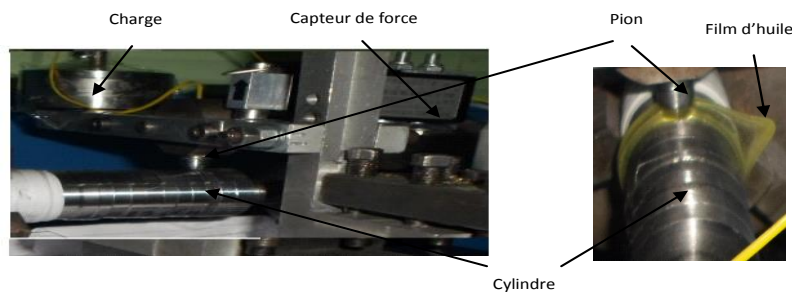


FIGURE 3. Profil de la rugosité, Ra du disque (42CrMo4), après usinage (a) $V_c = 800 \text{ m.min}^{-1}$, $R_a = 1.83 \text{ } \mu\text{m}$ et (b) $V_c = 1600 \text{ m.min}^{-1}$, $R_a = 1.63 \text{ } \mu\text{m}$

2.4. Tribomètre

L'étude tribologique du couple acier-acier de nuances (42CrMo4 et 20MnCr5) a été réalisée en utilisant un tribomètre pion-cylindre équipé d'un dispositif d'acquisition figure 2. Les essais se sont déroulés dans une ambiance atmosphérique. Les essais secs ont permis d'obtenir des valeurs du coefficient de frottement (μ proche de 0.8). C'est la raison pour laquelle, on a utilisé de l'huile commerciale 20W40 pour lubrifier le contact dynamique [4]. Dans ces conditions, μ diminue ($\mu = 0.3$) figure 4 (b).



(a) Contact sec (b) Contact lubrifié

FIGURE 4. Contact pion-cylindre

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

✓ On constate, d'après les résultats obtenus par le profilomètre après les essais tribologiques, que la valeur de la rugosité Ra diminue de $1.83 \text{ } \mu\text{m}$ à $0.98 \text{ } \mu\text{m}$ lors du contact à sec et de $1.63 \text{ } \mu\text{m}$ à $1.5 \text{ } \mu\text{m}$ lors du contact lubrifié. Ceci explique la disparition des pics de la rugosité et l'augmentation du coefficient d'usure de la pièce tournante (cylindre), lors du contact à sec (Fig.5 (a) et (b)).

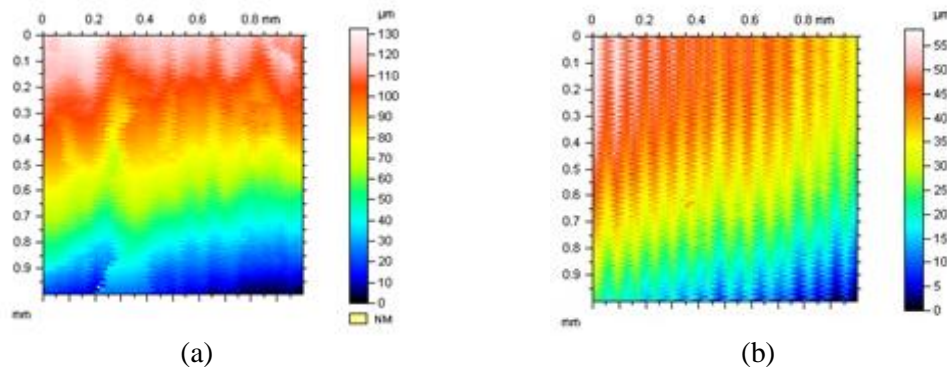


FIGURE 5. Profil de la rugosité, Ra du disque (42CrMo4), après essai tribologique avec et sans lubrifiant, $V_c = 750 \text{ m.min}^{-1}$, (a) à sec, $R_a = 0.98 \text{ } \mu\text{m}$ et (b) avec lubrifiant, $R_a = 1.5 \text{ } \mu\text{m}$

✓ Pour une charge et une vitesse données, le coefficient de frottement μ varie en fonction du temps (Fig.6, 7). Ces figures montrent que le coefficient de frottement demeure pratiquement constant pendant toute la durée de l'essai et que sa valeur varie selon la rugosité initial du disque utilisée ($\mu_{\text{sec}} = 0.3$ à 0.8 et $\mu_{\text{lubrifié}} = 0.3$ à 0.59). La figure 8 présente l'évolution du coefficient de frottement en fonction de la rugosité pour les deux cas testés (sans et avec lubrification), en effet, μ augmente lorsque la rugosité augmente également. On abouti a un résultat connu, la rugosité du cylindre a une influence sur le coefficient de frottement.

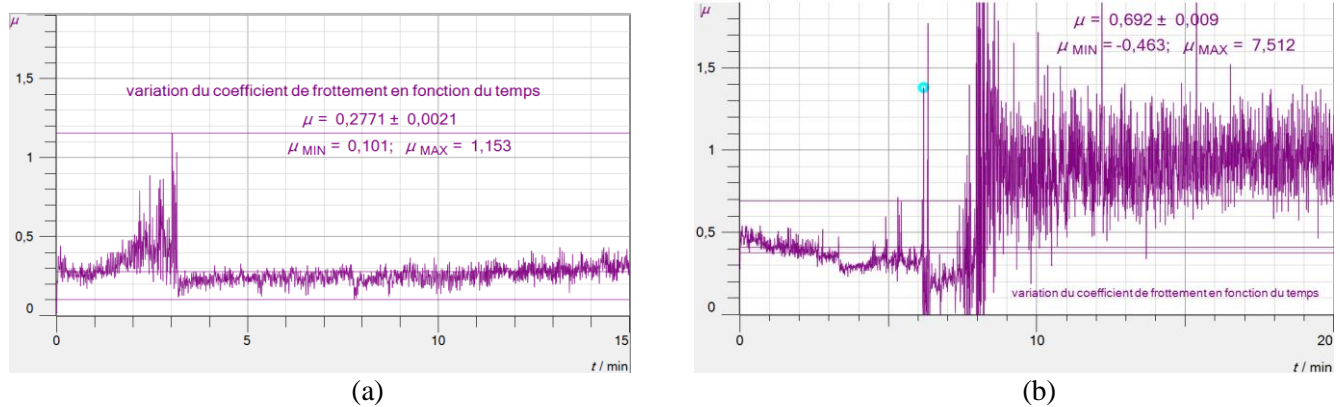


FIGURE 6. Variation du coefficient de frottement en fonction du temps, pour $P= 12\text{N}$ et $V = 740 \text{ tr.min}^{-1}$ en faisant varier la rugosité moyenne R_a (contact à sec): (a) $R_{a4} = 0.24 \mu\text{m}$, $\mu = 0.28$ et (b) $R_{a6} = 1.74 \mu\text{m}$, $\mu = 0.69$

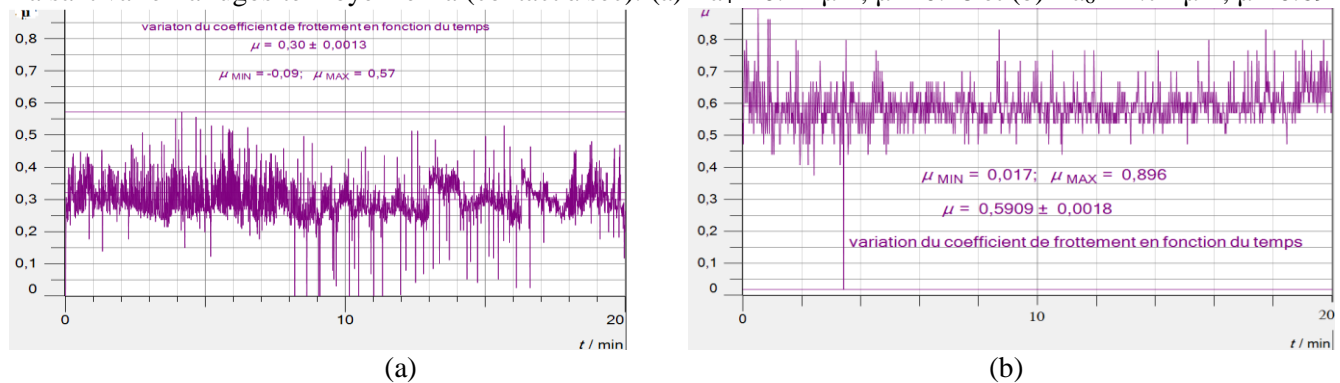


FIGURE 7. Variation du coefficient de frottement en fonction du temps, pour $P= 12\text{N}$ et $V= 740 \text{ tr.min}^{-1}$ en faisant varier la rugosité moyenne R_a (contact lubrifié): (a) $R_{a1} = 1.5 \mu\text{m}$, $\mu = 0.3$ et (b) $R_{a3} = 3.94 \mu\text{m}$, $\mu = 0.59$

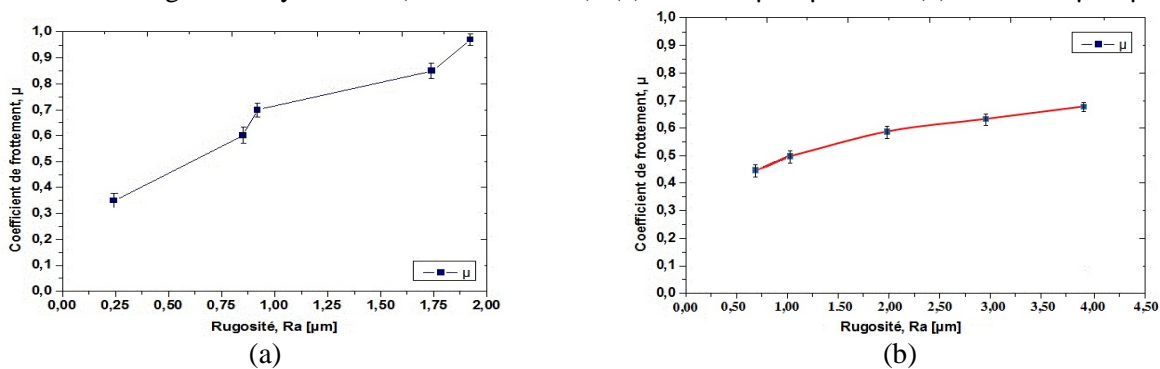


FIGURE 8. Variation du coefficient de frottement μ en fonction de la Rugosité R_a (a) contact à sec et (b) contact lubrifié

✓ A travers les résultats obtenus, trois principales phases distinctes enregistrées pendant le déroulement de l'essai tribologique du couple acier-acier à sec des coefficients de frottement en fonction du temps, pour une charge normale appliquée et à une vitesse linéaire fixe :

- ❖ Phase primaire: c'est une phase de rodage (transitoire) premier contacte des aspérités des surfaces qui dure environ 3 minutes et au cours de laquelle le coefficient de frottement varie entre (0.2 à 0.5) (Fig. 9) suivant la rugosité de la piste choisie.
- ❖ Phase Secondaire: c'est une phase perturbée qui dure environ 2 minutes où les aspérités des antagonistes s'enchevêtrent augmentant ainsi le contact et l'adhésion (usure par adhésion, $\mu = 0.6$ à 1.3). Les pics du disque, plus durs que la contre face s'enfoncent dans la surface du métal du pion, labourant cette dernière le long de contact et en arrachant de la matière qui forment des bourrelets au bords de la surface (Fig. 10) [5]. La déformation plastique entraîne une élévation de la température à l'interface [6]. Cette dernière a été relevée, en utilisant un thermocouple placé à 2 mm du contact, entre 45 °C et 85°C. Cette élévation de température affecte les propriétés mécaniques des surfaces telles que la limite élastique et la contrainte de cisaillement du matériau le plus tendre, diminuant alors le frottement et augmentant ainsi l'usure du pion.
- ❖ Phase tertiaire: elle représente le régime stationnaire, durant cette longue phase (reste de la durée de test) l'état d'équilibre est établi par la stabilité des conditions de fonctionnement à l'interface. Dans cette zone le coefficient de frottement diminue est de l'ordre de 0.3 à 0.6, suivant la piste choisie, alors que la température diminue jusqu'à 37°C.
- ✓ De plus, on constate la présence des fissures le long de la surface de contact du pion ont été créées (Fig. 10.a) vu les conditions sévères de fonctionnement, et les contraintes cycliques exercées sur la surface. Ces fissures engendrent 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 (usure abrasive) (Fig. 10.b, c, d). On constate une action des oxydes dus à l'augmentation de la température pendant la déformation plastique, comme le confirme la figure 11 (b) des spectres du pion testé à sec. Par ailleurs il y a eu un transfert de matière du pion vers les pistes en contact du disque pendant l'essai (Fig. 11.a).
- ✓ La lubrification des surfaces en contact facilite le glissement entre ces surfaces et diminue les contraintes de cisaillement engendrées lors de l'essai effectuée (disparition de la zone perturbée), par conséquent, les fissures disparaissent et μ diminue (Fig.9.a et Fig.10.c, d).

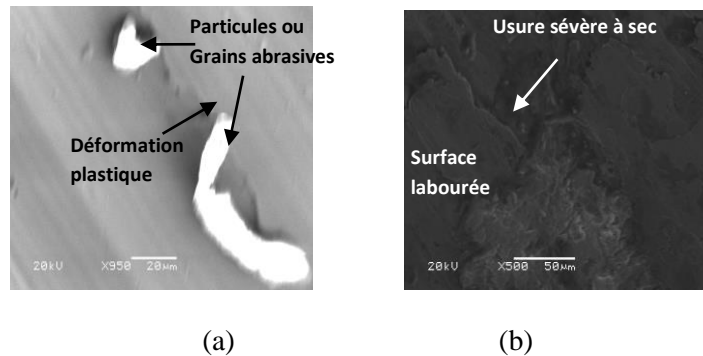


FIGURE 9. (a, b) Images en EDX des pistes du disque après essai à l'aide d'un (X500, X1000): (a) contact lubrifié $Ra_5 = 1.51 \mu m$ et (c) contact à sec $Ra_4 = 0.98 \mu m$

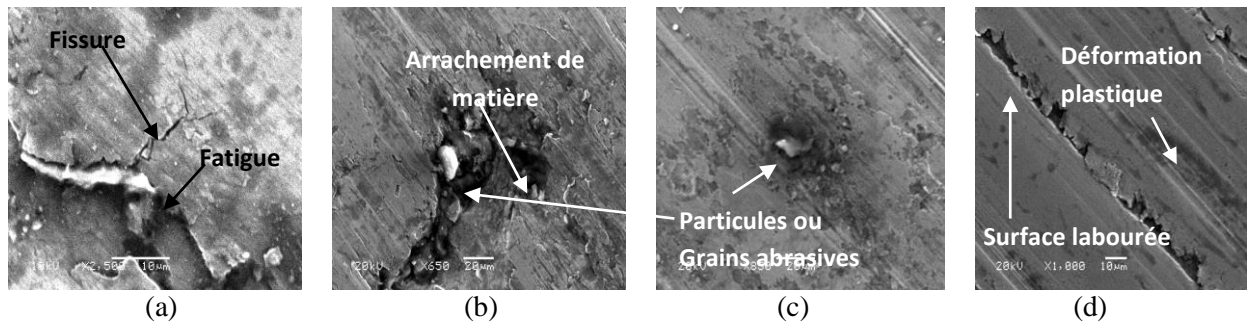
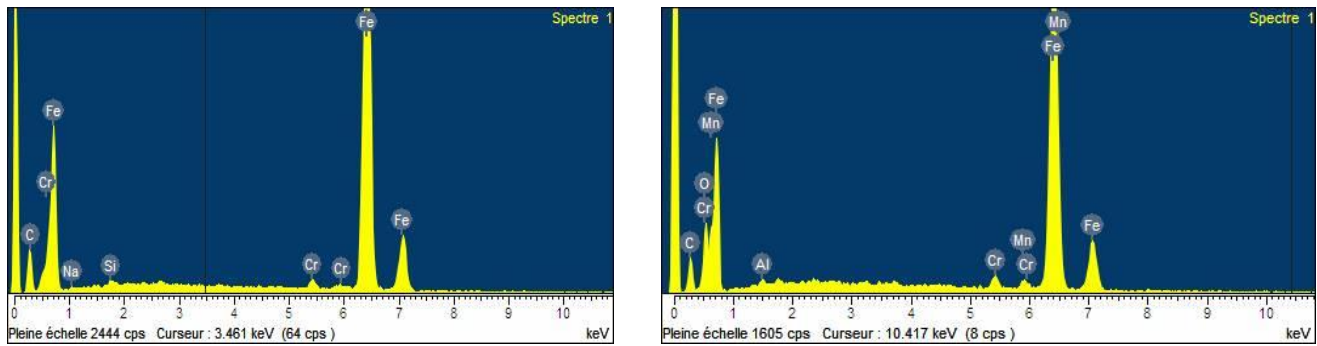


FIGURE 10. (a) Images en MEB et (b, c, d) en EDX des pistes des pions après essai à l'aide d'un (X500, X1000) (a, b) contact à sec et (c, d) contact lubrifié



(a)

(b)

FIGURE 11. (a) Image en EDX des spectres des pistes du disque, (b) du pion après essai à 20kv
(a) site 1 du disque (matière blanche) contact lubrifié, (b) site 1 du pion (surface labourée) contact lubrifié

4. CONCLUSIONS

Il ressort de notre étude ce qui suit :

- Une diminution de la valeur maximale de la rugosité R_z , issue de l'usinage après essai tribologique suite à la disparition des pics dues aux fortes contraintes de cisaillement au niveau des aspérités qui se forment et se rompent de façon continue provoquant ainsi une usure complète de la surface en contact du cylindre.
- Une variation du coefficient de frottement et de l'usure qui dépendent de la rugosité de surface de la piste du cylindre.
- Présence des microfissures (le long des surfaces usées) et des débris d'usure sous formes de bourrelets aux bords des surfaces du pion après essai à sec ce qui explique la facilité d'enlèvement de matière par abrasion due à la présence du troisième corps (les grains abrasifs).
- Action des oxydes dus à l'augmentation de la température pendant la déformation plastique. Afin de faciliter le glissement des surfaces en contact, on a utilisé du lubrifiant pour stabiliser la température, d'évacuer les grains abrasif et de diminuer les vibrations dues au bruit mécanique.

REFERENCES

- [1] J. Cecha and al, Surface roughness reduction using spray-coated hydro-gen silsesquioxane, *Applied Surface Science*, 280, 424-430, 2013.
- [2] A. Boryczko and al, Effect of waviness and roughness components on trans-verse profiles of turned surfaces, *Measurement*, 46, 688-696, 2013.
- [3] R. Suresh, Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool, *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 1179-1190, 2013.
- [4] M. Sortino, Dry turning of sintered molybdenum, *Measurement*, 45, 1872-1884, 2012.
- [5] 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 les Frères Mentouri Constantine, 2013.
- [6] T. Leppert, Effect of cooling and lubrication conditions on surface topo-graphy and turning process of C45 stee, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 51, 120-126, 2011.