

دراسة البلى والاحتكاك للبراص سهل القطع تحت ظروف الانزلاق الجاف

جودت علي يعقوب - مدرس

هيئة التعليم التقني - الكلية التقنية كركوك

الخلاصة

كرس هذا البحث لدراسة مقاومة البلى، معامل الاحتكاك و درجة حرارة التلامس للبراص سهل القطع تحت ظروف البلى الأنزلاقي الجاف على قرص فولاذي مواجه باستخدام تقنية المسمار على القرص . استخدمت خمسة أحمال مسلطة هي 3.5 و 7 و 11 و 15 و 20 نيوتن عند سرعة دورانية للقرص الفولاذي مقدارها 10.4458 م/ثا وزمن اختبار مقداره 30 دقيقة. لوحظ زيادة كل من معدل البلى والتضرر السطحي للبراص بزيادة الحمل المسلط وحدث انتقال من البلى المعتدل إلى البلى القاسي عند حمل مقداره 11 نيوتن. كما لوحظ ظاهرة التشكيل اللدن على المقياس العياني عند حمل مقداره 20 نيوتن. لقد ازدادت درجة حرارة التلامس المقاسة للبراص من 94 إلى 268 م° بزيادة الحمل المسلط من 3.5 إلى 20 نيوتن. كانت اصغر واكبر قيمة لمعامل الاحتكاك الحركي المحسوبة للزوج الأنزلاقي برصاص سهل القطع / فولاذ هما 0.49 و 0.67 عند الأحمال المسلطة 7 و 20 نيوتن على التوالي. علاوة على ذلك تم ملاحظة حدوث التأكسد وإزالة الخارصين لعينات البراص المستخدمة لقياس معدل البلى ودرجة حرارة التلامس على التوالي عند أسطحها الخارجية الملامسة للحاضنة الحديدية بعيدا عن أسطحها الملامسة للقرص الفولاذي المواجه وذلك عند حمل مسلط مقداره 20 نيوتن

الكلمات الدالة: بلى البراص ، البلى والاحتكاك ، درجة حرارة التلامس أثناء الانزلاق الجاف

Study the Wear and Friction of Free Cutting Brass Under Dry Sliding Condition

Abstract

This research is devoted to study the wear resistance, coefficient of friction and contact temperature of free cutting brass under dry sliding wear conditions over steel counterface disc using pin-on-disc technique. Five load values 3.5, 7, 11, 15 and 20 N were used at constant sliding speed 10.4458 m.s⁻¹ and time 30 min. An increase in wear rate and surface damage of brass specimens was observed by increasing the applied load and a transition from mild to severe wear was occurred at 11 N. A plastic deformation phenomena at macroscopical scale when applying 20 N was detected at the contact surfaces of the brass specimens. The average of the measured contact temperatures of brass was increased from 94 to 268 °C by increasing the applied load from 3.5 to 20 N, while the smallest and greatest calculated kinetic friction coefficient for the sliding pair (free cutting brass / steel) was 0.49 and 0.67 at applied loads 7 and 20 N respectively. Furthermore, an important observations were revealed which includes oxidation and dezincification of the wear rate and contact temperature measuring specimens respectively at their external surface contacting the iron housir far from their contact surfaces with steel disc at 20 N applied load.

Key words: Wear of brass, Wear and friction, Contact temperature during dry sliding .

T_1, T_2, \dots, T_{120} : درجة حرارة التلامس المقاسة كل 15 ثانية
($^{\circ}\text{C}$)

v : سرعة الانزلاق الخطية (م.ث^{-1})

W_1 : وزن كل عينة بعد اختبار البلى (ملغم)

W_r : معدل البلى ($\text{سم}^3/\text{سم}^2$)

ΔW : الفرق في وزن العينات قبل وبعد اختبار

W_o : وزن كل عينة قبل اختبار البلى (ملغم)

البلى (ملغم)

P : الكثافة (غم.سم^{-3})

μ : معامل الاحتكاك

μ_k : معامل الاحتكاك الحركي

$\mu_{17}, \mu_{18}, \dots, \mu_{120}$: قيم معاملات الاحتكاك المحسوبة

قائمة الرموز

BHN: صلادة برينيل (كغم.ملم $^{-2}$)

F_n : الحمل المسلط أثناء الاختبار (نيوتن)

K : معامل التوصيل الحراري (وات.م $^{-1}$.كلفن $^{-1}$)

n : عدد دورات القرص الفولاذي (دورة/دقيقة $^{-1}$)

r : المسافة بين مركز العينة ومركز القرص الفولاذي

المقابل (سم)

S : مسافة الانزلاق (كم)

t : زمن الانزلاق (دقيقة)

T_b : درجة حرارة العينات قبل بدء الاختبار ($^{\circ}\text{C}$)

T_c : درجة حرارة التلامس ($^{\circ}\text{C}$)

T_f : درجة حرارة الوميض ($^{\circ}\text{C}$)

المقدمة

يحدث أثناء الانزلاق الجاف زيادة خشونة السطح بسبب التشكيل اللدن الناتج بدوره من عمليات الالتصاق والحرث (Ploughing) والقص فيتحدد سلوك البلى بالخشونة الناتجة لتلك العمليات وليست بالخشونة الأصلية لسطح الفلز قبل الاختبار [1,2]. يظهر الشغل المبذول أثناء الانزلاق الجاف ضد الاحتكاك كحرارة تتوزع بين الجسمين المنزلقين فتزداد درجة حرارتهما مما يؤدي ذلك إلى زيادة معدل البلى للجسم الألين (الأقل صلادة) [3] وقد عزي (Lewis) وجماعته [4] زيادة معدلات البلى بزيادة درجة الحرارة إلى الاختزال المحتث بالحرارة لمقاومة الخضوع، كما تساهم زيادة درجة

خاصيتين سطحيّتين متلازمتين تعتمدان على الخواص الفيزيائية والكيميائية للفلزات. لقد درس باحثون آخرون الاحتكاك وتحديد قيم معاملاته للمواد الهندسية التي يصعب تحديدها بدقة حتى مع وجود الإمكانات التجريبية [6]، كما استحدث المختصون العديد من طرائق قياس معامل الاحتكاك الاستاتيكي أو الحركي أو كلاهما معاً، آخذين بنظر الاعتبار العوامل المؤثرة عليها كسرعة الانزلاق، الحمل المسلط والحرارة المتولدة أثناء الانزلاق الجاف [7,6,2] وبعد تحديد قيم معاملات الاحتكاك مهمة للاستدلال بها بالتغيرات الحاصلة في آلية البلى وإمكانية تحديد بدء حدوث عملية البلى خلال فترة اختبار الانزلاق [8,2]، ولأهمية قيم هذه المعاملات فقد حددت قيم نموذجية لها حسب ظروف الانزلاق، فعلى سبيل المثال حددت بالمقدار 0.03 للمعامل مع وجود التزييت وبمقدار يصل إلى 0.5 - 0.7 للمعامل عند الانزلاق الجاف بينما حددت بمقدار يصل إلى 5 للأسطح الفلزية النظيفة عند انزلاقها على بعضها الآخر في الفراغ [2]. لقد أشار الباحث Mokhtar وجماعته [9] إلى زيادة قيم معامل الاحتكاك الحركي لعدد من الفلزات مع زيادة الحمل المسلط في اختبارات المسمار على القرص. أما الباحث (Sadykov) [10] فأجرى تصغير الحجم الحبيبي لبنية البراص

الحرارة إلى حدوث البلى بآلية الإزالة الذرية من خلال انتشار الذرات من عدد القطع إلى القطعة المعدنية التي يتم تشغيلها بعمليات التشغيل كالخرطة. وقد عرفت كل من (Adam) [5] و (Gwidon et al) [6] درجة الحرارة الموضعية

عند الانزلاق الجاف بدرجة حرارة الوميض (Flash Temperature) وعدّ عدد من الباحثين ومنهم (Yanping et al) [7] البلى والاحتكاك

المواد الأولية المستخدمة

استخدمت سبيكة براض سهل القطع وتم تحليل تركيبها الكيميائي باستخدام طريقة التحليل الطيفي والمتيسر في الشركة العامة للمسح الجيولوجي في بغداد ، ونتائج التحليل مبينة في الجدول (1).

خطوات العمل

تم إتباع الخطوات الآتية:

1. صنعت عينات اختبارات البلى و عينات قياس درجة الحرارة بالقياسات الآتية :
طول (30 ملم) وقطر (10 ملم) بالتشغيل الميكانيكي بالخرطة.

2. أجري التنعيم الرطب للعينات باستخدام أوراق تنعيم بدرجات (120،220،600،400،1000) بجهاز التنعيم الخاص لهذا الغرض ثم غسلت العينات بالماء.

3. صقلت العينات باستعمال محلول الالومينا بحجم حبيبي مقداره (5) مايكرون وذلك باستخدام جهاز الصقل لغرض الحصول على خشونة سطحية يصل مقدارها إلى (0.04 إلى 0.16) مايكرون عند إجراء عملية الصقل [17] ، ثم غسلت العينات بالماء الجاري والكحول ثم بالماء المقطر وجففت بالهواء الساخن.

4. أجري اختبار الصلادة بطريقة برينيل باستخدام جهاز قياس الصلادة (Ernst Hardness Tester).

5. استخدمت تقنية اختبار البلى بالمسمار على القرص (Pin-On-Disk) لتنفيذ اختبارات البلى عند ظروف جافة باستخدام الجهاز المصنع لهذا الغرض. اعتمدت قيم المتغيرات (Variables) الآتية في هذه الاختبارات:

أ. سرعة الانزلاق الخطية (v) Linear Sliding Velocity)
حسبت بموجب المعادلة الآتية [18]:

$$V = 2\pi rn \text{ ----- (1)}$$

بالمعاملات الحرارية المترافقة بالتشكيل اللدن فتمكن بذلك من خفض معدل البلى. أما الباحث (Lancaster)^[11] فلاحظ زيادة معدل بلى البراص 60/40 المنزلق على الفولاذ المصلد في درجات حرارية مختلفة لحين وصول درجة حرارة التلامس إلى قيمة حرجة سميت بدرجة حرارة الانتقال من البلى القاسي إلى البلى المعتدل بعدها انخفض معدل البلى كما لاحظ زيادة قيم معامل الاحتكاك مع زيادة درجة حرارة الاختبار، فعزى زيادة معدلات البلى إلى انخفاض صلادة البراص وورد ذلك أيضا في المصدر [12]. أما الباحث (Molinari) وجماعته^[13] فاعتمدوا قانون أرجرد (Archard Law) لدراسة البلى الأنزلاقي الجاف للبراص فجعلوا صلادة البراص دالة لدرجة الحرارة المتولدة أثناء الانزلاق، ثم لاحظوا زيادة درجة حرارة التلامس مع زيادة سرعة الانزلاق وعزوا الكمية الأساسية للحرارة المتولدة إلى عمليات التشكيل اللدن وتعد سبيكة البراص سهل القطع (Free Cutting Brass) من السبائك ذات الأهمية التصنيعية وتعرف بالرمز (C36000) حسب تصنيف (ASTM)، فهي تعتبر معياراً لتحديد قابلية تشغيل الفلزات وسبائكها، وأكثرها استخداما في التشغيل بالمكائن المؤتمتة والرقمية، حيث تحتوي في تركيبها على نسبة ضئيلة من الرصاص يساهم في تسهيل التشكيل اللدن على الساخن ويعمل كمزيت ومبرد داخلي للبنية كما يساعد على تكوين نحاته تشغيل من الصنف الأول^[14,12]، [15]. لقد هدفت الدراسة الحالية إلى تقويم معدل البلى والحرارة المتولدة أثناء الانزلاق الجاف للبراص سهل القطع على الفولاذ الكربوني باختبار المسمار على القرص والاستدلال بالحرارة المتولدة تلك في تحديد قيم معاملات الاحتكاك لها بالاستعانة بقانون أرجرد المطور الذي أشار إليه (Garima et al)^[16] إضافة إلى دراسة بعض مظاهر البلى الأخرى.

6. تم قياس درجة حرارة التلامس (T_c) بتقنية المسمار على القرص (Pin-On-Disk) باستخدام مقياس درجات حرارة رقمي صيني المنشأ (K-type thermocouple). درجات الحرارة التي يمكن قياسها تتراوح بين (20- إلى 1370 \pm 3) م° حيث أخذت كل (15) ثانية قراءة، وكانت قيم المتغيرات (Variables) المعتمدة في هذا الاختبار هي نفسها المعتمدة في اختبارات معدل البلى .

7. حسبت قيمة درجة حرارة الوميض (T_f) بموجب المعادلة أدناه [16]:

$$T_f = T_c - T_b \text{ ----- (5)}$$

8. تم احتساب معامل الاحتكاك (μ) بدلالة الصلادة إذ استخدمت قيمة الصلادة البرينية محل إجهاد الخضوع الأنظطاطي في قانون (أرجرد) كما مبين في المعادلة أدناه [16]:

$$\mu = 8 * k * T_f / V (\pi * F_n * BHN)^{1/2} \text{ ----- (6)}$$

9. حسبت قيمة معدل درجة حرارة التلامس وفق المعادلة الآتية:

$$T_c = T_o + T_1 + T_2 + \dots + T_{120} / 121 \text{ ----- (7)}$$

$$T_o = T_b = 16 \text{ م}^\circ \text{ ----- (8)}$$

10. حسبت قيمة معامل الاحتكاك الحركي (μ_k) للمنطقة شبه المستقرة كمعدل لقيم معاملات الاحتكاك المحسوبة من المعادلة (6) وفق المعادلة أدناه التي تم صياغتها وفق ما ورد في المصدر [2] الذي أشار إلى إمكانية حساب معامل الاحتكاك الحركي كمعدل لقيمها لأية فترة زمنية معينة:

$$\mu_k = \mu_{17} + \mu_{18} + \dots + \mu_{120} / 104 \text{ ----- (9)}$$

11. استخدم مجهر ضوئي نوع Trindcular

Metallurgical Microscope ذو مصدر إضاءة بمصباح تتجستن واستخدم قوة تكبير X 150 لفحص وتصوير أسطح العينات.

r : المسافة بين مركز العينة ومركز القرص الفولاذي المقابل، موضح في الشكل (1).

$$V = 2 \times \pi \times 7 \text{ سم} \times 1425 \text{ دورة/دقيقة} = 10.4458 \text{ م}^3/\text{ثا}$$

ب. مسافة الانزلاق (S) (Sliding Distance) حسبت بموجب المعادلة الآتية [18]:

$$S = V \times t \text{ ----- (2)}$$

$$S = 2 \times \pi \times 7 \text{ سم} \times 1425 \text{ دورة/دقيقة} \times 30 \text{ دقيقة}$$

$$S = 18.802 \text{ كم}$$

ج. استخدمت أحمال مسطرة بقيم 3.5 و 7 و 11 و 15 و 20 نيوتن ، لتنفيذ الاختبارات .

د. استخدم قرص مواجهه (Counterface) لسطح العينة المنزلقة من الفولاذ الكربوني اللين (Carbon Steel Disc) لانزلاق عينات اختبار البلى عليها حيث صنع القرص بالخرطة ثم تبعها التنعيم بماكينة التجليخ التي تؤدي إلى خشونة سطحية بمقدار (0.0635 إلى 5 مايكرون [17] ، وكانت صلادة القرص (HRC 35) أي ما يعادل BHN327 [19] .

ثبتت العينات في الموضع المحدد لها كما مبين في المخطط (1)، كما أجريت عملية تنعيم القرص عند منطقة التلامس بعد الانتهاء من اختبار كل عينة وذلك باستخدام أوراق تنعيم درجة 500 و 1000 لضمان المحافظة على مستوى واحد من الخشونة لسطح القرص وتنظيف السطح من ما غُلق به من مادة عينة الاختبار عند منطقة التلامس عند إجراء الاختبارات . قيس وزن كل عينة قبل الاختبار (W_o) وبعدها (W_1) باستخدام الميزان الحساس نوع (ettler AE200) دقة 0.1 ملغم. حسبت معدلات W_r بوحدات سم³/سم¹ باستخدام العلاقة الآتية [18]:

$$(W_r) = \Delta W / P^{[20]} \times S \times 1000 \text{ ----- (3)}$$

$$\Delta W = W_o - W_1 \text{ ----- (4)}$$

النتائج والمناقشة

معدل البلى والتضرر السطحي

يوضح الشكل (2) زيادة معدل بلى البراص بزيادة الحمل المسلط من 3.5 نيوتن وصولاً إلى 11 نيوتن حيث حدث البلى المعتدل ثم زيادة معدل البلى وأصبح من النوع الانتقالي (معتدل/ قاسي) وازداد معدل البلى بصورة أقل شدة عند زيادة الحمل المسلط إلى 15 نيوتن تبعها زيادة مضطردة بزيادة الحمل المسلط إلى 20 نيوتن حيث حدثت عرقلة أكسدة سطح عينات البراص وأصبح البلى من النوع القاسي (المعدني) وقد أظهرت السبيكة سلوكاً نموذجياً من خلال وضوح مناطق البلى المعتدل، الانتقالي ثم القاسي و كان تضرر أسطح عينات البراص بسبب الانزلاق الجاف متقاربة عند تسليط الأحمال بمقدار 3.5 إلى 7 نيوتن بظهور حزوز (Scores) طولية رفيعة متصلة، أو مقطعة ناتجة من تخديش نتوات القرص الفولاذي المواجه لأسطحها كما مبين في الشكلين (3و4) وأصبح الضرر أكثر وضوحاً بزيادة الحمل المسلط إلى 11 نيوتن كما مبين في الشكل (5) بزيادة عرض خطوط التخديش واكتساب السطح في بعض مناطقها لونا غامقا بفعل الأكسدة الناتجة من ارتفاع درجة حرارة التلامس وأخرى براقية تشير إلى حدوث ظاهرة التهارش (Galling). عند زيادة الحمل المسلط إلى 15 نيوتن ظهرت ملامح آلية الحرث (Ploughing) في السطح بتكوين التشققات السطحية العرضية (Craze Cracking) الناتجة من عملية القص بفعل القوى المماسية المتولدة من القرص الفولاذي المواجه على سطح العينة ومن خلال اتصال الشقوق العرضية مع الشقوق الطولية أصبحت طوبوغرافية السطح على هيئة حبيبات شبه طولية كما مبين في الشكل (6) وهذه الأشكال الشبيهة بالحبيبات هي أساس لتكوين دقات حطام البلى وذلك بعد التقاء هذه الشقوق السطحية بالشقوق تحت

السطحية فانفصال دقات حطام البلى في مراحل لاحقة من الانزلاق بآلية الانفصال. لقد أصبح تأثير آلية الحرث أكثر شدة عند زيادة الحمل المسلط إلى 20 نيوتن حيث ازدادت عرض وعمق الشقوق العرضية والطولية كما مبين في الشكل (7-A) وأصبحت المناطق التي تحاصرها من السطح عند التقائها مع بعضها الآخر أكبر حجماً مما يشير إلى كبر حجم دقات حطام البلى التي ستتشتت في المراحل اللاحقة من الانزلاق وتحول بعض مناطق السطح إلى هيئة بقع مائلة للأحمرار جراء ظاهرة نضوب الخارصين (Dezincification) بالانتشار مما أدى إلى انخفاض كبير في مقاومة الخضوع في تلك المناطق التي انعكست بدورها إلى حدوث تشكيل لدن ملحوظ في تلك المناطق على المستويين المجهرى والعينى كما مبين في الشكل (7-B) والجدير بالذكر فأن الأسهم الموجودة على الأشكال (3-7) تشير إلى اتجاه انزلاق القرص الفولاذي المواجه. لقد تراوحت معدلات بلى البراص في الدراسة الحالية بين المقدارين $10 \times 0.515 \times 10^{-8}$ و $10 \times 15.06 \times 10^{-8}$ سم³. سم⁻¹ عند الأحمال المسلطة التي تراوحت بين المقدارين 3.5 و 20 نيوتن على التوالي، حيث تقع هذه القيم بين معدل بلى البراص الذي ورد في المصدر [2] والذي توصل إليه الباحث (Molinari) وجماعته [13] والبالغ مقداريهما $10 \times 1 \times 10^{-8}$ و $10 \times 50 \times 10^{-8}$ سم³. سم⁻¹ على التوالي.

درجة حرارة التلامس

لقد أشار الباحث (Jamal) [21] إلى اعتماد العديد من الباحثين قياس درجة حرارة التلامس أثناء الانزلاق الجاف بتثبيت مزدوج أو عدة مزدوجات حرارية في ثقب أو عدة ثقوب يتقرب إلى عمق معين على طول العينة من سطحه الخارجي هذا ما أعتمد به الباحث نفسه أيضاً في قياس درجة حرارة التلامس عند انزلاق عينات من سبائك البراص وسبائك (النحاس-الألمنيوم)

على أقراص فولاذية مختلفة. هذا النمط من تثبيت المزدوج الحراري على العينة له عدة مساوئ مثل عدم ضمان التثبيت المحكم لنهاية المزدوج في موضعه وتلامسه المستمر مع جسم العينة، وعدم دقة تسجيل درجة الحرارة بسبب تأثير الجو المحيط ولأجل تلافي هذه المساوئ تم اعتماد تصميم خاص في الدراسة الحالية لعينات قياس الحرارة بالنمط المبين في المخطط (1) حيث تلامس نهاية المزدوج الحراري العينة من الداخل وفي المركز على بعد 2 ملم عن سطحها المواجه للقرص الفولاذي. تم تسجيل درجة حرارة التلامس المتولدة جراء الانزلاق بين أسطح عينات البراص والقرص الفولاذي بواقع قراءة كل (5) ثانية مما أمكن الحصول على نمط تغيير درجة حرارة التلامس مع الزمن عند الأحمال المستخدمة كما مبين في الشكل (8). لقد حدث على العموم ارتفاع درجة الحرارة بمعدل سريع في بداية الاختبارات وصولاً إلى حالة شبه استقرارها مع انخفاض الزمن اللازم لبلوغها وذلك كلما تم زيادة الحمل المسلط إلى قيم أكبر من 3.5 نيوتن كما حدث تذبذب في درجة حرارة التلامس المقاسة في المنطقة شبه المستقرة بوتيرة أكبر عند الحملين المسلطين 3.5 و 20 نيوتن كما يظهر في الشكل (8- A, E)، يعزى هذا التذبذب عند الحمل المنخفض إلى عدم كفايته في إحداث التلامس المستمر بين

السطحين المنزلقين لعدم تغلبها على القوى المماسية المؤثرة بالاتجاه المعاكس على سطح العينة الناتجة من دوران القرص الفولاذي المواجه، كمحصلة بين القوة المماسية تلك والحمل المسلط حدثت ظاهرة ارتفاع قليل جداً للعينة عن القرص الفولاذي المواجه لفترات زمنية وجيزة جداً أثناء الانزلاق الجاف عندها سجل مؤشر مقياس درجة الحرارة الرقمية درجة حرارة منخفضة بدرجة أو أكثر ثم بحدوث التلامس المستقر والمستمر لفترات أخر اشر المؤشر درجات حرارية

أعلى. أما التذبذب الناتج عند حمل 20 نيوتن فيعود إلى كبر دقات البلى المتكونة جراء عملية البلى التي عملت على عزل السطحين المنزلقين خلال انفصالها من سطح عينة البراص ولحين إزالتها من بين السطحين بفعل قوة الطرد المركزي التي يولدها القرص الفولاذي الدوار، وحيث تكوين هذه الدقائق عملية مستمرة ومتابعة في مناطق مختلفة فعند فترة انحصارها بين السطحين المنزلقين ستغير عملية البلى من بلى ثنائي الجسم (Two Body Wear) إلى بلى ثلاثي الجسم (Three Body Wear). أما الأحمال المسلطة 7 و 11 و 15 نيوتن فعلى ما يبدو قد حققت نوعاً من الاتزان بينها وبين القوى المماسية الناتجة من القرص الفولاذي المواجه ودقائق حطام البلى الأصغر حجماً المتكونة عن تلك المتكونة عند تسليط حمل 20 نيوتن ساهمتا بالحصول على منحنيات أكثر انتظاماً لدرجات حرارة التلامس مع الزمن كما موضح في الشكل (8- D , B , C). أما الشكل (9) فيوضح العلاقة بين معدل درجة حرارة التلامس المحسوبة لدرجات الحرارة في المنطقة شبه المستقرة والحمل المسلط. لقد تمت زيادة درجة الحرارة عموماً نتيجة ثلاثة عوامل رئيسية الأولى هي الحرارة الموضعية المتولدة من الالتصاق ومن ثم التحام النتوءات السطحية للسطحين المنزلقين ثم القص للجزء العائد من هذه النتوءات للسطح الألبين (البراص)، أما العامل الثاني فهو مساهمة آلية الحرث التي حدثت على مدى أوسع في أسطح العينات، و الأخير يتعلق بظاهرة التشكيل اللدن، فمحصلة كل أنواع الحرارة المتولدة تلك أثناء الانزلاق تعرف بالحرارة الاحتكاكية (Frictional Heat). لقد ساهم العاملان الأوليان في رفع معدل درجة حرارة التلامس للسطحين المنزلقين بمعدل منخفض نسبياً وازدادت مساهمتهما بزيادة الحمل المسلط من (3.5) نيوتن إلى مادون 15 نيوتن بينما ازدادت قيمتها عند حمل مسلط 15 نيوتن فأكبر بمعدل عالي وذلك لمساهمة العامل الثالث وازداد تأثيره حتى أصبح

ملحوظ (انحناء) عند منطقة التلامس كما مبين في الشكل (B-11) بسبب الانخفاض المحتث لمقاومة الخضوع بالحرارة والسّمك الأقل لجدار النصف العلوي لعينات قياس الحرارة من سمكها في نصفها السفلي في التصميم المتبع لهذه العينات المبينة في المخطط (1). تعد هذه المظاهر دليلا على تغيير التركيب الكيميائي للطبقات البعيدة عن سطح التلامس وصولا إلى السطح الخارجي ومن ثم انخفاض مقاومتها وإمكانيتها في توفير الإسناد الكافي لسطح التلامس مما يؤدي إلى الفشل. لقد كان تصنيع الجلبة وحامل الأتقال من الحديد الحافز الرئيسي لحدوث ظاهرتي الأكسدة وإزالة الخارصين. تركز غالبية دراسات البلى على التغيرات التي تحدث في الأسطح المعرضة للانزلاق ودراسة التضرر في الطبقة تحت السطحية (Subsurface damage) دون التركيز على تأثيره إلى مسافات أبعد بينما تكمن أهمية الدراسة الحالية في ملاحظة هذه المظاهر السلبية والكشف عنها بعيدا عن سطح التلامس الذي يمهّد استقراء حدوثها في المحامل المصنوعة من إحدى سبائك البراص عند إسنادها بحاضنة حديدية أو فولاذية، فالسّمك القليل عموما للمحامل وكبر مساحة التلامس مع العمود الدوار حتى في حالة وجود التزييت (التي قد تقشل بسبب انخفاض 74 ة المزيّت جراء الاستخدام فيحدث تلامس مباشر بين سطحي المحمل والعمود الدوار)، فتتولد حرارة عند سطح التلامس فالكميات المنقولة منها عبر السطح الخارجي للمحمل إلى الحاضنة الحديدية يؤدي إلى حدوث نفس المظاهر في المناطق الموضحة في الشكل (12).

معامل الاحتكاك

يوضح الشكل (13) العلاقة بين قيم معاملات الاحتكاك المحسوبة مع زمن الانزلاق، قُبدوا مشابِهة لمنحنيات العلاقة بين درجات حرارة التلامس مع زمن الانزلاق المبينة في الشكل (10) بسبب اعتماد قيم درجة حرارة الوميض

واضحا على المستوى العياني بزيادة الحمل المسلط إلى 20 نيوتن من خلال حدوث الإزاحة لكتلة من مادة سطح العينة إلى جوانبها أثناء الانزلاق الجاف مما أدى إلى زيادة المساحة الفعلية للتلامس بنسبة 13 % تقريبا عن المساحة الأصلية المواجهة للقرص الفولاذي كما يظهر ذلك بوضوح في الشكل (10). لقد وصلت درجة حرارة التلامس في هذه الدراسة أقصى قيمة لها وهي 268 م° عند سرعة انزلاق 10.4458 م/ثا، بينما أورد الباحث الباحث (Molinari) وجماعته [13] قيمتها بالمقدار 359 م° عند انزلاق البراص على الفولاذ عند سرعة 10 م/ثا. يعود الاختلاف بنسبة 25% بين قيمتي درجة حرارة التلامس تلك إلى إتباع الباحث الأسلوب الافتراضي النظري بالحاكاة بالحاسوب وعدم أخذه بنظر الاعتبار عامل التبريد الناتج لمنطقة التلامس بين السطحين المنزلقين أثناء الانزلاق من الوسط المحيط الذي يتعاظم تأثيره عند وجود الحركة بين الجسمين المنزلقين علاوة على ذلك إهماله الحرارة المفقودة بالإشعاع من منطقة تلامس الجسمين المنزلقين إلى الوسط المحيط في حساباته لذلك توصل إلى تلك القيمة العالية لدرجة الحرارة. لقد لوحظ في الدراسة الحالية تجاوز تأثير الانزلاق الجاف إلى مسافة أبعد من سطح تلامس عينات البراص مع القرص الفولاذي المواجه عند حمل مسلط مقداره 20 نيوتن بتأكسد السطح الجانبي (الخارجي) للعينة المستخدمة في قياس معدل البلى عند منطقة تلامسها مع الجلبة الحديدية كما مبين في الشكل (A-11) بينما أصبح لون منطقة تلامس العينة المستخدمة لقياس الحرارة مع الجلبة الحديدية مائلا للاحمرار مع اختفاء البريق المعدني بسبب حدوث ظاهرة الإزالة الذرية للخارصين بالانتشار علاوة على ذلك فكمية الحرارة المنقولة عبر منطقة تلامس نهاية عينة قياس الحرارة مع حامل الأتقال كانت كافية لحدوث تشكيل لدن

التنوعات السطحية وتشكيلها مما أدى إلى زيادة قيم معاملات الاحتكاك الحركي، لكن زيادة الحمل إلى 20 نيوتن ساهم في زيادة تأثير التشكيل اللدن بشكل ملحوظ وعلى المستوى العياني وازدادت المساحة الفعلية للتلامس بنسبة 13% تقريبا بعد انتهاء الاختبار كما مبين في الشكل (10) مما أدت إلى زيادة ملحوظة في قيمة (μ_k). لقد أشارت المصادر [23,22,2] إلى قيمة معامل الاحتكاك الحركي للمزدوج الانزلاقي براس (60/40)/ فولاذ عدة، براس (70/30)/ فولاذ و (براس/فولاذ) بالمقادير 0.24 و 0.5 و 0.4 على التوالي، أما المصدر 8 فأشار إلى المقدارين 0.62 و 0.72 للمزدوجين الانزلاقيين (براس/فولاذ مقاوم للصدأ نوع 410 و براس/ فولاذ مقاوم للصدأ نوع 440 على التوالي علما بان جميع هذه القيم تم الحصول عليها تحت ظروف الانزلاق الجاف. تقع قيم معامل الاحتكاك الحركي المزدوج الانزلاقي (براس سهل القطع/ فولاذ) في الدراسة الحالية التي تراوحت بين المقدارين 0.49 و 0.67 ضمن الإطار العام للقيم التي تم الإشارة إليها، علاوة على وقوعها ضمن القيم النموذجية التي أشار إليها المصدر 2 والمحصورة بين 0.5 و 0.7 العائدة للأسطح الفلزية المنزلقة على بعضها تحت ظروف الانزلاق الجاف.

الاستنتاجات

1. يزداد معدل بلى البراس سهل القطع بزيادة الحمل المسلط ويحدث الانتقال من البلى المعتدل الى البلى القاسي عند حمل مسلط مقداره 11 نيوتن.
2. يزداد مظاهر التضرر السطحي شدة وتنوعا لعينات البراس بزيادة الحمل المسلط جراء زيادة الآليات المساهمة في عملية البلى وحدثت إزاحة لمادة سطح عينة البراس بسبب التشكيل اللدن على المستوى العياني عند حمل مسلط مقداره 20 نيوتن.

(Flash Temperature) المحسوبة من المعادلة (5) في قانون أرجرد (المعادلة-6). لقد ازدادت قيم معاملات الاحتكاك في الفترة الأولية من الاختبارات في جميع الأحمال المسلطة وذلك لكبر المساحة الفعلية للتلامس بين أسطح العينات وسطح القرص الفولاذي عند بدء الانزلاق بسبب النعومة العالية لأسطح العينات الناتجة من عمليات التنعيم والصقل ثم تولدت خشونة في أسطح العينات مع استمرار عملية الانزلاق مما ساهمت في حدوث حالة شبه الاستقرار لقيم معاملات الاحتكاك المحسوبة بعد الفترة الأولية بدت قيمها أكثر تشتتا عند الأحمال المسلطة 3.5 و 20 نيوتن المبينة في الشكل (13- A_{avg} و E) لنفس الأسباب التي ذكرت في تفسير التنبؤ الناتج في درجات حرارة التلامس المبينة في الشكل (9- A_{avg} و E). يشير المعدل الحسابي لقيم معاملات الاحتكاك في المنطقة الشبه المستقرة في المنحنيات إلى معامل الاحتكاك الحركي (Kinetic Friction Coefficient) [2] ويربطها بعلاقة مع الحمل المسلط تم الحصول على العلاقة المبينة في الشكل (14). إذ يتحكم في نمط تغيير قيم معامل الاحتكاك الحركي مع تغيير الحمل المسلط الخشونة الناتجة من جراء الانزلاق والتشكيل اللدن حيث يساهمان في تحديد مقدار مساحة التلامس الفعلية بين السطحين المنزلقين. لقد اتسمت سطح العينة المعرضة للبلى عند حمل مسلط 3.5 نيوتن ببعض الخشونة وازدادت بزيادة الحمل المسلط إلى 7 نيوتن مع غياب التشكيل اللدن للسطحين كما مبين في الشكلين (3 و 4) فكانت المحصلة هو انخفاض قيمة معامل الاحتكاك الحركي مع زيادة الحمل إلى 11 ثم 15 نيوتن أصبح لعامل التشكيل اللدن تأثير اكبر من عامل الخشونة بسبب زيادة درجة الحرارة التي أدت إلى زيادة مساحة التلامس الفعلية على المستوى المجهرى بتأيين قمم

- light loads" , Wear (259),Elsevier B. V. All rights , 2005, PP1432 – 1436.
8. Raymond G. B., "Mechanical Wear Fundamentals and Testing "Second Edition, printed in Marcel Dekker . Inc. , (USA), 2004, P.361,362.
9. Mokhtar M.O.A., M. Zaki and G.S.A. Shawki TRIBOLOGY international, IPC Business Press, 1979, P261.
10. Sadykov F.A., V.A Valitov and N.P Barykin , "Material Engineering and Performance", No.1, Vol.6, " Springer New York " 1997, P.73 – 76.
11. Lancaster J.K., "The influence of temperature on metallic wear", Proc. Phys. Soc. B, 1957, P 112 – 118.
12. Sarkar A.D., "Wear of Metals", Pergamon press, 1976, P.85.
13. Molinari JF. M. Ortiz, R. Radovitzky and E.A. Repetto, "Engineering Computations", No.34, Vol.18, 2001, P.592,604,605.
14. James Ed., William Alexander, "Materials Science and Engineering Handbook" 3rd Edition, CRC Press LLC, 2001, P.90, 152.
15. Myer K., "Handbook of Materials selection", John Wiley and Sons (USA), 2002, P.186.
16. Garima S, P.K. Limaye, R.V. Ramanujan , M. Sundararaman, N. Prabhu, "Dry-Slid wear studies of Fe3Al-orderd intermet⁷⁵ alloy", Material Science ⁷⁶ Engineering",A386, Elsevier B. V. rights,2004,PP 408-418
17. Jain R.K. , " Engineering Metrology " , Khanna Publisher ,Delhi ,1989 , P.733
18. Adnan Shamkhy Jabur ,PhD Thesis , "Preparation and characterization of cast aluminum matrix-SiC particulate composite ",University of technology, Baghdad ,(2000),P.58
19. James C. , " Technical Data Handbook " , Third Edition , Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Co. , USA , 1986 , P. 56
20. Callister, W. D., "Material Science and Engineering an Introduction", Printed in (USA), John Willey and Sons Inc., 2007, P.893, 910.
21. Jamal Nayief Sultan ,PhD Thesis , "Study of adhesive wear for different stacking fault energy alloys under dry sliding
3. يزداد درجة حرارة التلامس المقاسة بزيادة الحمل المسلط فوصلت قيمة معدلها إلى 268 م° لسطح عينة البراص عند حمل مسلط 20 نيوتن.
4. تراوحت قيم معاملات الاحتكاك الحركي المحسوبة للمزدوج الانزلاقي(براص سهل القطع /فولاذ كاربوني) عند الانزلاق الجاف بين 0.49 و 0.55 عند الأحمال المسلطة لحد 15 نيوتن بينما بلغت قيمة عالية مقدارها 0.67 عند حمل مسلط مقداره 20 نيوتن.
5. لوحظ تأكسد السطح الخارجي للعينة المستخدمة لقياس معدل البلى وحدث الإزالة الذرية للخراصين بالانتشار للسطح الخارجي لتلك المستخدمة لقياس درجة الحرارة وعلى المستوى العياني عند حمل مسلط 20 نيوتن عند منطقة تلامس تلك العينات مع الجلبة الحديدية الحاضنة لها.

المصادر

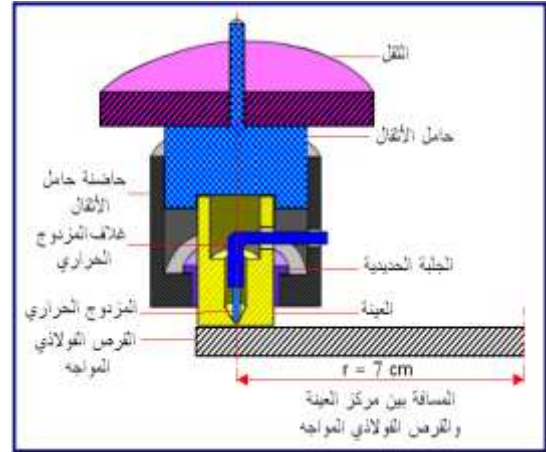
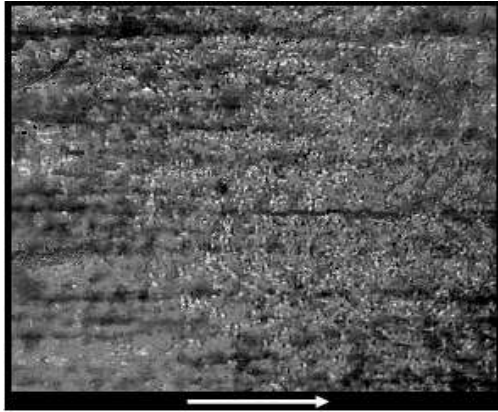
1. Tabor D., C245/87Mech E, "Friction and wear developments over the last fifty years", pupl. London, Mech. Eng. Publication Ltd, 1987, P 160.
2. ASM, "friction, Lubrication and wear Technology, Vol.18, 1992, P.12, 16, 65, 75,77,78,82,113, 441, 1848.
3. Ashby M. E., S.C. Lim , scripta metallurgica-A, Vol.24, Pergamen Press PIC (USA) , 1990 , PP 805 – 810.
4. R. Lewis, R.S. Dwyer-Joyce , U. Olofsson , R.I. Hallam , "Wheel Material Wear Mechanisms and Transitions" ,White Rose Consortium ePrint Repository , university of Sheffield , UK, 2005, P.1.
5. Adam G. C., MSc thesis, Graduate faculty of North Carolina state university, (USA), 2001, P.30.
6. Gwidon W. S., Andrew W. Batchelor, "Engineering Tribology " , ButterworthHeinemann,2001,P.328,329
7. Yanping Li, D.Y. Li," Electron work function, adhesion, and friction between 3d transition metals under

Antony Rowe Ltd (1999), Transferred to digital(2001),P.550

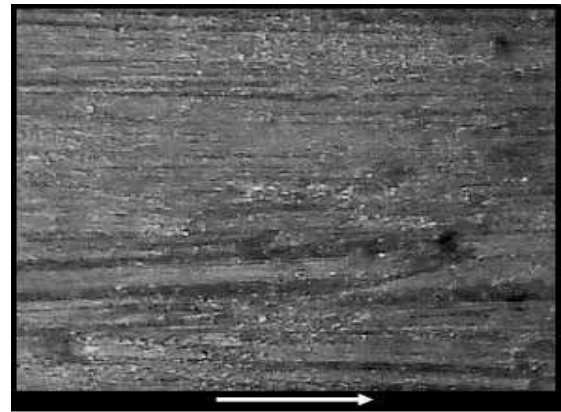
23. ج.ل.ميريام،ترجمة ف.أ.د.الصالح،أ.أ.صائغ،
م.فوزي حمد،صالح العبدل،"الميكانيكا
الهندسية،الجزء الأول-الاستاتيكا"، جون وايلي
وأولاده،(USA)،(1982) ص380

conditions", University of technology, Baghdad, (1995), P. 21,22,63,64

22. M. J. Neale, "The Tribology Handbook" Second edition, Butterworth-Heinemann, Printed in Great Britain by



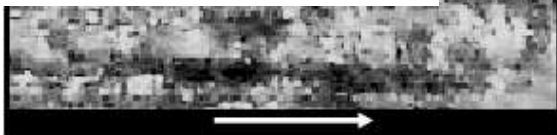
شكل (1) مخطط لوضعية عينة البراص عند إجراء اختبارات البلى وقياس درجة حرارة التلامس.



شكل (3) سطح العينة المعرضة للبلى عند حمل مسلط 3.5 نيوتن



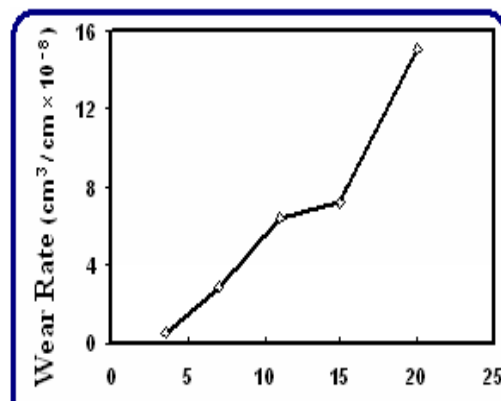
شكل(4) سطح العينة المعرضة للبلى عند حمل مسلط 7 نيوتن

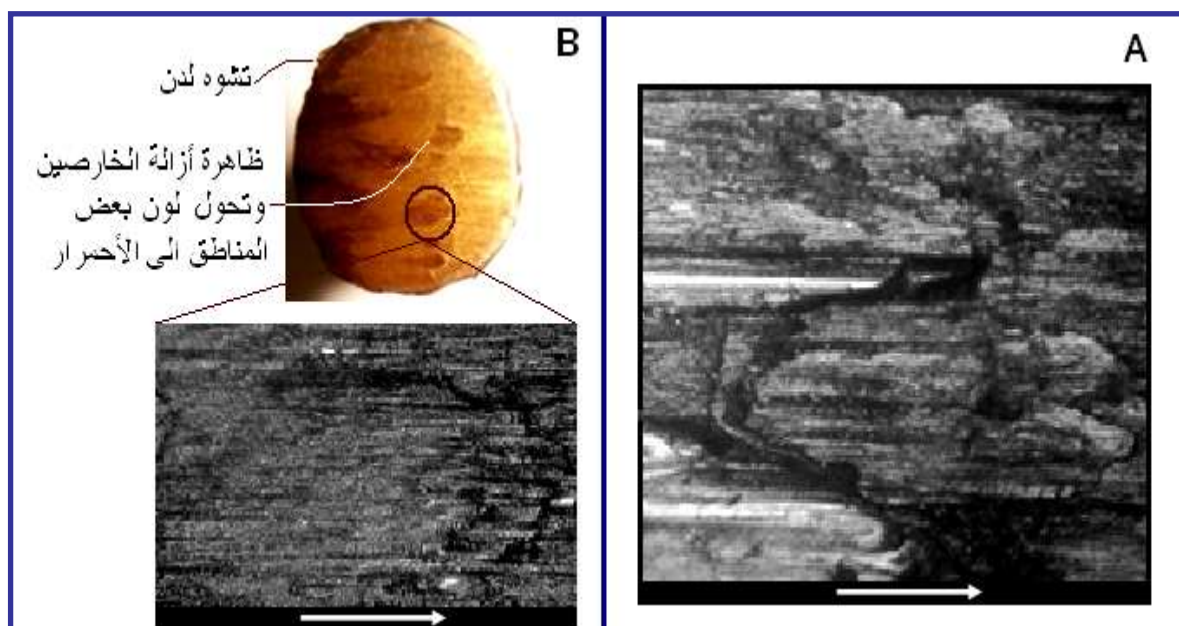


شكل (5) سطح العينة المعرضة للبلى عند حمل مسلط 11 نيوتن



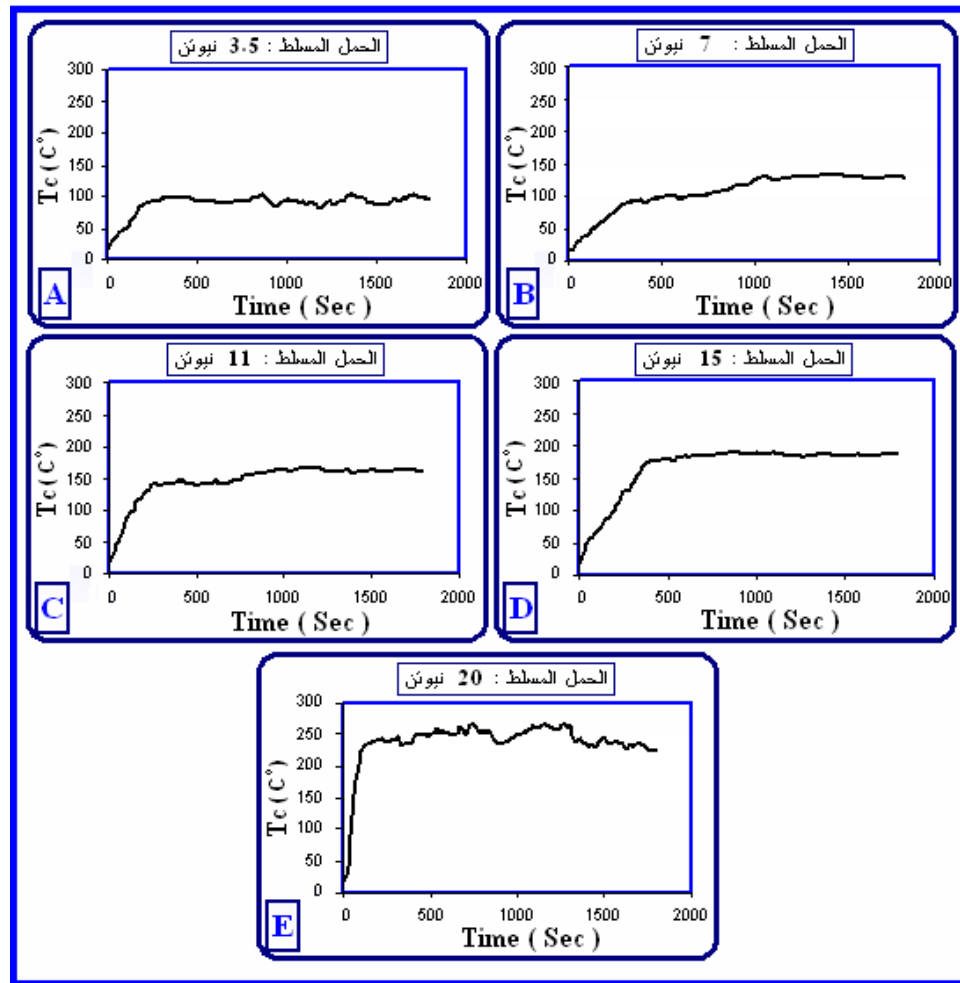
شكل (6) سطح



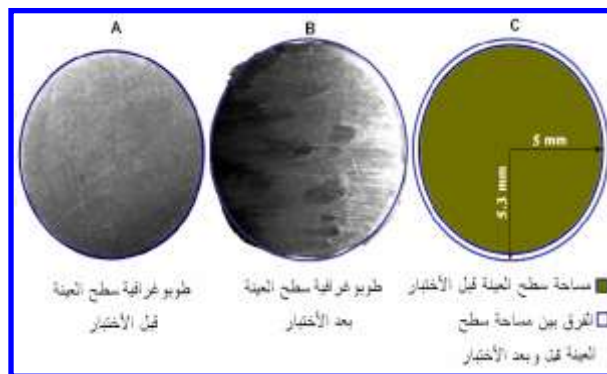


شكل (7) A: سطح العينة المعرضة للكرة عند حمل مسط (20 نيوتن) ، قوة التكبير 150 X ، B: المناطق المعرضة لظاهرة إزالة الخارصين في سطح العينة المعرضة للكرة عند حمل المسط (20 نيوتن) ، قوة التكبير 4X

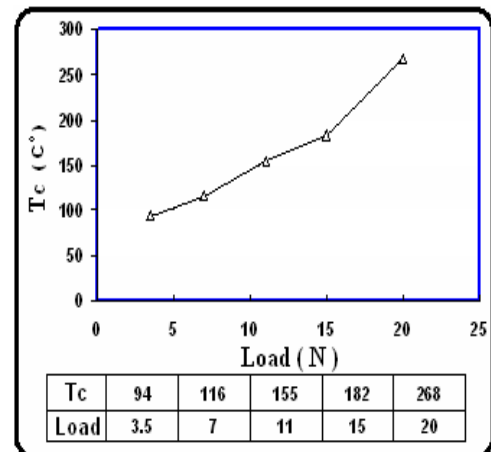
شكل (8): العلاقة بين درجة حرارة التلامس والزمن عند الأحمال المسلطة المختلفة.



شكل (8): العلاقة بين درجة حرارة التماس والزمن عند الاحمال المسلطة المختلفة



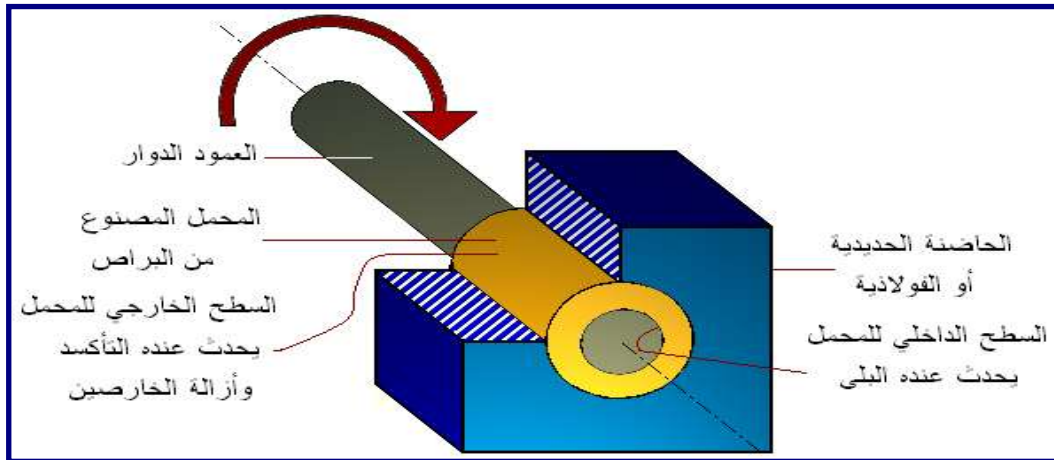
شكل (10): التغيير الحاصل في مساحة التماس لعينة البراص عند حمل مسلط (20 نيوتن)



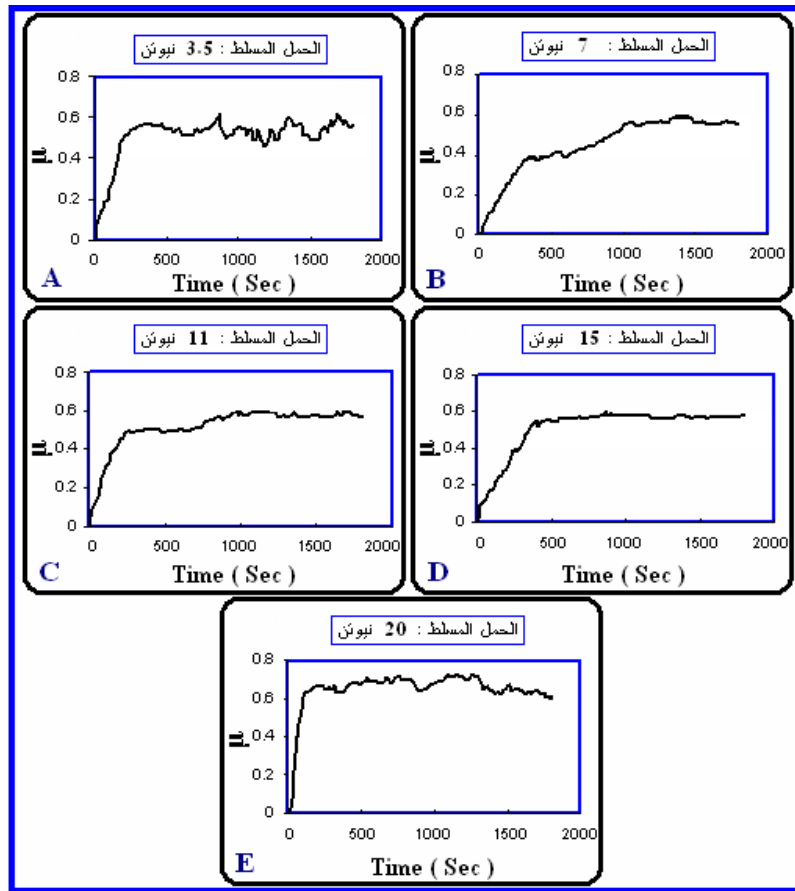
شكل (9): العلاقة بين معدل درجة حرارة التماس و الحمل المسلط .



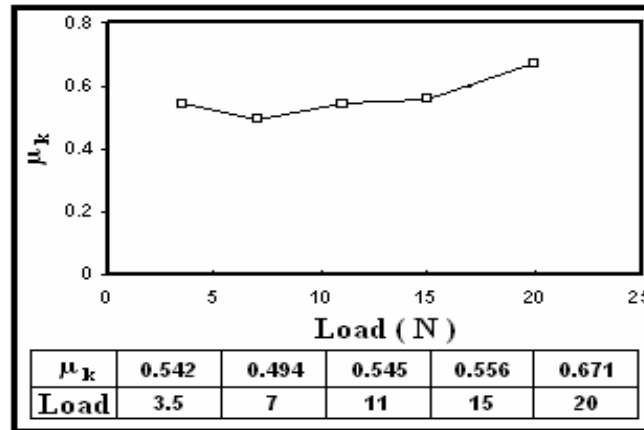
شكل (11) A: تأكسد السطح الخارجي للعينة المعرضة للبلى عند حمل مسلط (20 نيوتن) ، B: تعرض السطح الخارجي للعينة المستخدمة لقياس الحرارة لظاهرة إزالة الخارصين عند حمل مسلط (20 نيوتن)



شكل (12) مخطط حدوث الأكسدة وإزالة الخارصين للسطح الخارجي لمحمل البراص عند حدوث البلى .



شكل (13): العلاقة بين معامل الاحتكاك والزمن عند الاحمال المسلطة المختلفة

شكل (14): العلاقة بين معامل الاحتكاك الحركي (μ_k) و الحمل المسلط.

جدول (1) نتائج تحليل التركيب الكيميائي للبراص سهل القطع

Composition Wt% التركيب				المادة
Others	Pb	Zn	Cu	
0,2	2,4	36,4	61	براص سهل القطع