

Evaluation of the Surface Temperature and Study of Its Effects on the Dry Sliding Wear Characteristics of a Bainitic Ductile Cast-Iron

Dr. Adel K. Mahmoud 

Engineering College, University of Diayala/Diayala

Email: adel_alkayali@yahoo.com

Received on: 12/11/2013 & Accepted on: 2/4/2015

ABSTRACT

This work shows the evaluation process of the surface temperature by using heat sink (thermocouple) technique from type Alumel-Chromel (Ni-Al/ Ni-Cr) and to study its effect on the dry sliding wear characteristics of a bainitic ductile cast – iron. These characteristics represented with wear rates and coefficient of friction, which evaluated by using Pin on Disc machine under different laboratories conditions involved four applied normal loads (10, 20, 30, 40)N and three linear sliding speeds (1.4, 2.2, 3.0)mm/sec at room temperature. The present work shows the dry sliding wear characteristics and variables depend on the surface temperature generated during wear test. So, it can't ignore these effects during the service. In addition to, it must be avoided using loads range (30-40)N and temperature range (310-360)°C during practical applications it may be used this alloy within these ranges, because of both the two ranges may be led to occur severe wear of the bainitic ductile cast – iron surfaces with other counter surfaces of its working conditions.

Keywords: - Surface temperature, dry sliding wear characteristics, bainitic ductile cast-iron.

تقييم درجة الحرارة السطحية ودراسة تأثيرها على خصائص البلى الانزلاقي الجاف لحديد الزهر اللدن البائيني

الخلاصة

تضمنت الدراسة تقييم درجة الحرارة السطحية باستخدام تقنية الغاطس الحراري (المزدوج الحراري) من نوع الالوميل – الكروميل وتأثيرها على خصائص البلى الانزلاقي الجاف لحديد الزهر اللدن البائيني والتي تمثلت بمعدلات البلى ومعامل الاحتكاك فقد تم تقييمها باستخدام جهاز قياس البلى الانزلاقي الجاف ذي ترتيبية المسمار على القرص وتحت ظروف مخبرية مختلفة تمثلت باستخدام اربعة احمال عمودية (١٠, ٢٠, ٣٠, ٤٠) نيوتن وثلاثة سرع انزلاقية خطية (1.4, 2.2, 3.0) متر/ثانية وعند درجة حرارة الغرفة. تبين بأن متغيرات عملية البلى الانزلاقي الجاف والمتمثلة بالاحمال والسرعة الانزلاقية المستخدمة في هذه الدراسة البحثية تعتمد بصورة رئيسية وكبيرة جدا على درجات الحرارة السطحية الناتجة عنهما بالرغم من ان تأثيرهما على البلى لا يمكن ان يهمل عملياً. بالإضافة الى ذلك يجب تجنب استخدام مدى الاحمال (٣٠-٤٠) نيوتن ومدى درجات الحرارة من (٣١٠-٣٦٠) م° عند التطبيقات العملية التي تستخدم فيها هذه السبيكة اثناء عملية انزلاقها واحتكاكها مع المواد الاخرى في العديد من التصاميم والتطبيقات العملية التي تستخدم فيها ، وذلك لكون هذه المديات من الاحمال ودرجات الحرارة تؤدي الى حصول بليان شديد (severe wear) لسطوح سبيكة حديد الزهر اللدن البائيني وبمعدلات كبيرة وذلك نتيجة لحدوث انتقال مادة هذه السبيكة الصناعية الى سطح المادة المحتكة معها والمرافقة لها اثناء عمليات الاحتكاك والانزلاق الجاف التي تحدث اثناء العمل والخدمة.

المقدمة

أن درجة الحرارة السطحية تلعب دورا مهما في عمليات البلى حتى وأن كان حدوث عملية الانزلاق عند الظروف الجوية الاعتيادية وأن الأجسام المنزلقة تكون معزولة ومحفوظة عند درجة حرارة المحيط (Ambient Temperature) فإن حرارة الاحتكاك ترفع درجة حرارة السطوح الأنزلاقية المحتكة والمرافقة بعضها لبعض. ولقد بين الباحث A.D. Sarkar [1] أن ظاهرتي الاحتكاك والبلى للمعادن والسبائك مرتبطة ودرجة كبيرة بتفاعل النتوات السطحية (Surface Asperities) للسطحين المنزلقين على بعضهما البعض، لذلك فإن طاقة الاحتكاك المتبددة (Friction Energy Dissipated) بسبب الشغل الميكانيكي سوف تتحول إلى حرارة، هذه الحرارة تدعى بحرارة الاحتكاك (Friction Heat). أن هذه الحرارة تسبب ارتفاعا سريعا جدا في درجة حرارة سطوح الأجسام الأنزلاقية المحتكة، وبشكل خاص في نقاط التلامس الحقيقية (Points of Actual Contact) ما بين السطحين المنزلقين وحدث التصاق (Sticking) وانزلاق (Slipping) لنقاط الاتصال (Junctions). أن تلك الدرجات الحرارية اللحظية سوف تبقى مرتفعة لفترة زمنية قصيرة جدا تقدر بحدود 10^{-1} ثانية [2]. أن الحرارة الناتجة عن الاحتكاك تنسرب إلى المحيط وبالنسبة فأن قمم النتوات (Asperities Tips) السطحية تكون عندها درجة الحرارة عالية جدا بينما كتلة المركب المعدني الباقية تبقى باردة نسبيا حيث يتم تبديد وضياح الحرارة بطريقة التوصيل (Conduction) [2]. لقد بين الباحث سركار (A.D. Sarkar) [2] أنه عند زيادة الحمل المسلط أو السرعة الأنزلاقية ترتفع درجات الحرارة لنقاط الاتصال ما بين السطحين المحتكين وفي الحالات القصوى للحمل المسلط والسرعة الأنزلاقية قد يحصل انصهار موضعي (Localized Fusion) وذلك بسبب التأثير القوي لحرارة الاحتكاك على الخصائص الترابيولوجية وفشل اغلب المركبات الأنزلاقية. أن درجة الحرارة السطحية والقريبة من السطح قد حظت باهتمام كبير من قبل العديد من الباحثين الترابيولوجيين وعلى مدى سنوات عديدة [3-7]، حيث استخدموا الطرق التجريبية والتحليلية (Experimental and Analytical Methods) في تحديدها لأهميتها الكبيرة في الدراسات الترابيولوجية. لقد قام الباحث (B.K. Gupta) وجماعته [8] بدراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك الترابيولوجي للمعادن، حيث انهم بينوا عندما ترتفع درجة الحرارة للأسطح الأنزلاقية المحتكة، فأن الطاقة اللازمة لانصهار والتحام كل زوج من النتوات السطحية (Pair of Asperities) المتقابلة سوف تقل وبهذه الحالة سوف يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى الزيادة في معدل البلى. اما الباحثان (C.Lipson & L.V. Colwell) [9] فقد توصلوا إلى أن ارتفاع درجة حرارة الاحتكاك للسطح المعدني يؤدي إلى تغيير خصائص الطبقة السطحية كما يؤدي أيضا إلى قص رؤوس وقمم النتوات السطحية الموجودة على الطبقة السطحية.

أن الباحثين (Sakman, Barwell, Welsh, and Wilson) [10-13] قد بينت أن ارتفاع درجة الحرارة على الأسطح الأنزلاقية المترافقة (Mating Sliding Surfaces) يعتمد على مدى السرعة الأنزلاقية المستخدمة وعلى شدة التحميل (The Severity of Loading) والتي ينتج عنها تغيرات في البنية المجهرية (Microstructural Changes) لسطوح الأزواج الأنزلاقية المحتكة، بالإضافة إلى قيم الصلادة التي تحسب عن طريق الانفعال الحاصل للسطح نتيجة ارتفاع درجة الحرارة. وأن التحميل الشديد (العالي) والسرعة الأنزلاقية العالية كلاهما يزيدان من احتمالية حصول التفاعلات الكيميائية السطحية (Surface Chemical Reactions) وذلك نتيجة لارتفاع درجة حرارة السطوح الأنزلاقية المحتكة. اما الباحثين (Tabor, Bunney, and Earless) [14-16] فقد بينوا أن التحميل الشديد والعالي والسرعة الأنزلاقية العالية كلاهما يزيدان من احتمالية حصول تفاعلات كيميائية سطحية وذلك لارتفاع درجة حرارة السطوح الأنزلاقية المحتكة هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن هذه العوامل سوف يكون لها تأثير مهم على معدل البلى، كما وتعتبر عوامل لها تأثير قوي جدا على معدل إزالة الدقائق المعدنية من السطوح الأنزلاقية المحتكة.

أن الباحث (L.E. Sibley) [17] وجماعته قد درسوا تأثير الموصيلية الحرارية (Thermal Conductivity) للمعادن على سلوك البلى، حيث انهم توصلوا من خلال دراستهم إلى أن المعادن ذات الموصيلية الحرارية العالية تمتلك مقاومة جيدة للبلى وذلك بسبب أن تبديد الحرارة خلالها يتم بوقت أقل مما في المعادن ذات الموصيلية الحرارية المنخفضة. لذلك فإن عمر البلى لكل المركبات الهندسية يتأثر بارتفاع درجة الحرارة السطحية أثناء العمليات الأنزلاقية [18].

لقد حظت سبائك حديد الزهر اللدن وبمختلف حالاتها الميتالورجية (الفيرائيتية، البايينائيتية، المارتنزائيتية، المراجعة حرارياً، المطبوعة تطبيع اوستينائيتي، والمعاملة حرارياً بالليزر) باهتمام كبير من قبل العديد من الباحثين الترابيولوجيين خلال العشر سنوات الماضية لما لهذه السبائك الهندسية من تطبيقات صناعية متعددة في العديد من اجزاء المكينات والمعدات الميكانيكية [١٩-٢٤]. حيث قام الباحثان (M.Kawamoto & K.Okabayshi) [25] بدراسة البلى الأنزلاقي الجاف لحديد الزهر ذي الكرافيت القشري ولحديد الزهر ذي الكرافيت الكروي (Flake and Spheroidal G.C.I.) كدالة لدرجات حرارة السطوح الأنزلاقية المحتكة. وتوصلا أن هناك درجتان حراريتان للسطوح الأنزلاقية، هما درجة الحرارة اللحظية (Flash Temperature) والتي تمثل معدل درجة

الحرارة لمساحات التماس الحقيقية ما بين السطوح الانزلاقية المحتكة ومتوسط درجة الحرارة (The Mean Temperature) والتي تمثل متوسط درجة الحرارة لمساحات التماس الظاهرية. فعندما يكون متوسط درجة الحرارة أقل من (400) °م فإن البلى يصل إلى أقصى قيمة عندما تكون درجة الحرارة اللحظية ضمن مدى يتراوح ما بين (300-400) °م وفيما بعد يتناقص مع الزيادة المستجدة في درجة الحرارة اللحظية. حيث انهما لاحظا ايضا ان البلى يكون منخفضا عند درجات الحرارة الأدنى من (250) °م وأنه غير معتمد على ظروف الانزلاق كالمساحة ، الحمل ، درجة حرارة المحيط والضغط الجوي. مع ذلك عندما تقترب درجة الحرارة اللحظية من نقطة الانصهار فإن البلى يعتمد وبشدة على متوسط درجة الحرارة لأنه يصل إلى أدنى قيمة عندما يكون متوسط درجة الحرارة أدنى من (400) °م، الا انه تجاوز متوسط درجة الحرارة ال (400) °م في هذه الحالة سوف يحدث بليان وسوفان عالي جدا لسطوح حديد الزهر وذلك نتيجة لحدوث انتقال وتحول مادة حديد الزهر اللدن الى سطح المادة المحتكة معها والمرافقة لها أثناء عملية الانزلاق.

ونظراً للتأثير القوي لحرارة الاحتكاك على السلوك الترابيولوجي وفشل أغلب المركبات الانزلاقية في اجزاء المكانن بسببه، فإن عملية تقييم وقياس درجة الحرارة السطحية والقريبة من السطح ومعرفتها تعتبر بالغة الاهمية في العديد من التطبيقات الهندسية والصناعية بشكل عام والتطبيقات الترابيولوجية بشكل خاص، ولكون البحوث والدراسات التي بينت مدى تأثير درجة الحرارة السطحية على خصائص البلى الانزلاقي الجاف لحديد الزهر اللدن الباييناتي قليلة جدا ولغرض التعرف بصورة جلية ومفصلة على مدى تأثير درجة الحرارة السطحية على معدلات السوفان والبليان ومعامل الاحتكاك لهذه السبيكة الهندسية ذات التطبيقات الصناعية الواسعة والمهمة تم إنجاز وأجراء هذه الدراسة البحثية الحالية.

الاجراءات المختبرية

في هذه الدراسة البحثية تم تقييم درجة الحرارة السطحية المتولدة عن الاحتكاك ودراسة تأثيرها على خصائص وسلوك البلى الانزلاقي الجاف لحديد الزهر اللدن الباييناتي باستخدام جهاز قياس البلى الانزلاقي الجاف ذي ترتيبه المسمار على القرص (Pin – On – Disk) والمصمم طبقاً لمواصفات (American Society for Testing and Materials) لغرض الحصول على حالة التلامس ما بين العينة والقرص الدوار تحت تأثير الحمل العمودي المسلط. يتكون هذا الجهاز من محرك ذي سرعة دورانية ثابتة مقدارها (940) دورة/دقيقة وذراع ذي مقطع مستطيل تثبت فيه العينة بواسطة ماسك (Holder) ذي قطر 11 ملم ، وقد ثبت على الذراع مقياس انفعال (Strain Gauge) قياس قوة الاحتكاك (Friction Force) ، حيث يربط بمقياس انفعال رقمي (Strain Meter) نوع: (Strain Indicator P – 3500, Serial: No. 60850) لغرض قياس مقدار الانفعال في الذراع نتيجة لتأثير قوة الاحتكاك. ولقد تم استخدام أربعة أحمال عمودية هي (40,30,20,10) نيوتن وثلاث سرع انزلاقية خطية (1.4, 2.2, 3.0) متر/ثانية. وأجريت الاختبارات لجميع العينات في الهواء الجوي الاعتيادي وعند درجة حرارة الغرفة.

العينات

تم استخدام عينات من حديد الزهر اللدن الباييناتي كمسبوكة (As – Cast) والموضحة ببنيتها المجهرية في الشكل (1) وقطر كل عينة مستخدمة في اختبار فحص البلى كان (10) ملم وبطول (15) ملم. اما التركيب الكيميائي للعينات المستخدمة في هذه الدراسة موضح في الجدول (١).

قياس متغيرات ومعاملات الاحتكاك والبلى Friction and Wear

تقييم وقياس درجة الحرارة السطحية الناتجة عن الاحتكاك Surface Temperature

أن الحرارة المتولدة على الأوجه البينية الانزلاقية (Sliding Interfaces) بسبب الاحتكاك تم تقييمها وقياسها بواسطة مزدوج حراري (Thermocouple) من نوع الألوميل والكروميل (Alumel - Chromel) (Ni-Al/ Ni- Cr) في ثقب دقيق جداً ذي قطر (1) ملم في عينة حديد الزهر اللدن الباييناتي (المسمار) وقريب جداً إلى سطحها المنزلق على القرص ، حيث أن المسافة ما بين المزدوج الحراري المدفون و سطح العينة المنزلق على القرص (2) ملم. المزدوج الحراري مربوط ومتصل مع مقياس حرارة رقمي (Thermometer 5000 Digital) من نوع (Comork, type5015, Serial No. 11024) لقراءة وتسجيل درجة الحرارة أثناء عملية لانزلاق والاحتكاك، حيث إن الشكل (2) يبين الجهاز والترتيبة المستخدمة في قياس درجة حرارة الاحتكاك لعينة حديد الزهر اللدن الباييناتي، وذلك عند تماسها مع قرص الفولاذ الكربوني (Carbon Steel Disk) الدوار ذي

صلادة ($H_v=674 \text{ Kgf/mm}^2$)، حيث أن درجة الحرارة تسجل من خلال مقياس الحرارة الرقمي بعد زمن انزلاقي مقداره (5) دقائق وعلى مسافة (2) ملم من سطح العينة المنزلقة على القرص وتقاس وتحسب باستخدام الصيغ الرياضية الآتية [18] :-

$$T_b = T_0 + \frac{\alpha \mu W V_s L_b}{A_n K_m} \dots\dots\dots (1) [18]$$

حيث أن

T_b : درجة الحرارة السطحية لكتلة العينة (المسمار) (°م) (The Bulk Surface Temperature).
 T_0 : درجة حرارة الغاطس (المزدوج الحراري) والتي تأخذ من قراءة الترمومتر الرقمي (°م) (The Sink Temperature Which Taken from Thermometer Reading).
 α : معامل كمية حرارة الاحتكاك الجزئية (Fraction Factor of the Frictional Heat) المتولدة على الأوجه البينية (Interfaces) المنزلقة لكل من العينة والقرص، حيث توخذ قيمته ($\alpha = 1/2$) عندما يكون توزيع درجة الحرارة بحالة اتزان (Steady State) في كل من العينة والقرص.
 μ :- معامل الاحتكاك (Coefficient of Friction) ويؤخذ من التجارب العملية للعينات حيث تم تقييمه عمليا.
 W :- الحمل العمودي المسلط بالنيوتن، حيث تم استخدام اربعة احمال عمودية (10, 20, 30, 40) نيوتن.
 V_s :- سرعة الانزلاق حيث استخدمت ثلاث سرع انزلاقية خطية (1.4, 2.2, 3.0) متر/ثانية.
 L_b :- مكافئ مسافة الانتشار الخطي (متر) (The Equivalent Linear Diffusion Distance) ويمثل مسافة بعد المزدوج الحراري عن سطح العينة المنزلقة على القرص.
 A_n :- مساحة التماس الظاهرية (متر مربع) (The Nominal Contact Area)، حيث انها تمثل مساحة نهاية العينة (Pin) وتحسب باستخدام القانون الآتي :- ($A_n = 3.14 D^2 / 4$)، حيث ان :-
 D :- يمثل قطر العينة (Pin) "متر".
 K_m :- الموصيلية الحرارية (واط / متر. م) (Thermal Conductivity).

قياس قوة ومعامل الاحتكاك Measurement of the Force and Coefficient of Friction

تم قياس قوة الاحتكاك من منحنى المعايرة (Calibration Curve) الخاص بجهاز مقياس الانفعال (Strain Meter) المستخدم في هذه الدراسة البحثية الحالية. اما حساب معامل الاحتكاك (Friction Coefficient) فيتم باستخدام القانون الرياضي الآتي :-

$$\mu = F/W \dots\dots\dots (2) [1]$$

حيث ان :-

μ :- معامل الاحتكاك.
 F :- قوة الاحتكاك (نيوتن) حيث تستخرج من منحنى المعايرة الخاص بجهاز مقياس الانفعال.
 W :- الحمل العمودي المسلط (نيوتن).
حساب معدل السوفان والبلى
يتم حساب معدل السوفان والبلى باستخدام الصيغة الرياضية الآتية :-

$$(WearRate) = \frac{\Delta W}{S} \dots\dots\dots (3) [6]$$

حيث إن :

ΔW : الوزن المفقود (غرام) وهو الاختلاف و الفرق بالوزن للعينة قبل وبعد الاختيار والتشغيل .

$$(WeightLoss) \Delta W = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (4) \quad \text{أي أن الفقدان بالوزن :-}$$

W_1 : وزن العينة قبل التشغيل والفحص (غرام) .
 W_2 : وزن العينة بعد التشغيل والفحص (غرام) .

S : مسافة الانزلاق (سم) .

النتائج والمناقشة

أن النتائج المختبرية التي تم الحصول عليها عمليا عند السرعة الانزلاقية المستخدمة في هذه الدراسة البحثية موضحة في الشكل (3) ، يلاحظ من الشكل بأن درجة الحرارة السطحية والمقاسة على بعد (2) ملم من سطح العينة تصبح تقريبا ثابتة بعد مرور زمن انزلاقي قدره (3) دقائق على الرغم من أن هناك بعض التذبذب في قراءات درجة الحرارة المسجلة مع الزمن وقد جاء ذلك مطابقا لما تم التوصل إليه من قبل الباحث (Kawamoto et. al. [25]. حيث يفسر ذلك على أساس افتراض أن انسياب حرارة الاحتكاك خلال العينة والقرص المحتك معها يكون بحالة أنزان (Steady State) أثناء عملية انزلاقهما على بعضهما البعض عند الاختبار والتشغيل . كما ويتبين من الشكل اعلاه بان متوسط درجة الحرارة السطحية يزداد كلما زادت سرعة الانزلاق حيث انها تكون اقصى مايمكن عند السرعة الانزلاقية (3.0) متر/ ثانية. ويعزى سبب ذلك الى أن تسرب الحرارة خلال معدن العينة والقرص يكون عند السرعة الانزلاقية العالية أقل مما عليه في السرعة الانزلاقية الواطئة ، مما ينتج عن ذلك ارتفاع درجة حرارة سطح التلامس عند السرعة العالية وزيادة قابلية السطوح المنزلقة على التفاعل مع الرطوبة والهواء الجوي . ان تكون طبقة من ألوأكسيد على سطح التلامس تعمل على تقليل حصول الاتصال المعدني المباشر ما بين السطحين المنزلقين مؤديا إلى خفض وتقليل معدلات البلى هذا ما اكدته الدراسات [25, 23, 21]. لقد وجد من خلال قياس مقاومة التماس ما بين السطوح الانزلاقية المحتكة بأن حدوث التماس فيما بينهما يكون متقطع (Intermittent Contact) أثناء عملية الانزلاق عند السرعة الانزلاقية العالية . فعند احتكاك سطح عينة حديد الزهر اللدن الباييناتي على سطح القرص الفولاذي يحدث انتقال دقائق وقطع معدنية من مادة العينة إلى سطح القرص المحتك معها (شكل 4) ، لوحظ بأن هذه الدقائق لا تكون مقصوفة من سطح العينة بل منتزعة منه . ويفسر ذلك على أساس أن هناك فترات انزلاقية حقيقية وظاهرية ، تكون هذه الفترات متساوية عند السرعة (2.2) متر/ ثانية كما اشار اليه الباحث (Kawamoto et. al. [25]. إلا أنه الفترات المتقطعة (الحقيقية) تنشأ وتبدأ بالظهور عند هذه السرعة . وفيما بعد تزداد بزيادة سرعة الانزلاق . فلو أن كل فترة متقطعة (حقيقية) تكون مساوية إلى 10^3 ثانية فإن فترة الانزلاق تصل إلى حوالي (20%) من فترة الانزلاق الظاهرية عند السرعة الانزلاقية الأعلى من السرعة المستخدمة في هذه الدراسة الحالية (أعلى من 6 متر/ ثانية) لذلك فإن الحرارة المجهزة إلى عينة الاختبار (المسمار) أثناء عملية الانزلاق وخلال زمن التماس الحقيقي والظاهري سوف تزداد بازدياد سرعة لانزلاق على افتراض أن حرارة الاحتكاك الناتجة عن عملية لانزلاق تكون بنفس المعدل عند كلا التماسين المتقطع والمستمر . لذلك فإن درجة الحرارة السطحية تزداد مع زيادة سرعة لانزلاق.

أن درجة الحرارة اللحظية المتولدة نتيجة لانزلاق السطوح على بعضها البعض تزداد مع زيادة سرعة الانزلاق، حيث عندما تكون درجة الحرارة السطحية المتوسطة أقل من (400)°م فإن عملية البلى لسطوح حديد الزهر اللدن تعتمد بصورة رئيسية على درجة الحرارة اللحظية حسب ما اكده الباحث (Kawamoto et. al. [25] ولا يؤخذ بنظر الاعتبار كل من شكل دقائق الكرافيت ، بنية الأرضية وظروف الانزلاق كالحمل والسرعة. حيث أن معدل البلى لحديد الزهر اللدن يصل إلى قيمة عالية عند مدى درجة الحرارة اللحظية من (300—400) °م [25]. فيما بعد يتناقص معدل البلى مع زيادة درجة الحرارة اللحظية . يلاحظ من خلال الشكل (5) بأن معدل البلى يصل إلى أقصى قيمة عند السرعة الانزلاقية (1.4) متر/ثانية ويعزى سبب ذلك أن درجة الحرارة اللحظية لعينة الاختبار واقعة ضمن مدى درجة الحرارة (300—400)°م عند هذه السرعة مما ينتج عن ذلك معدل بلى عالي عند هذه السرعة الانزلاقية الواطئة كما بينه الشكل (5) الانف الذكر. إلا أن زيادة سرعة الانزلاق إلى أعلى من (1.4) متر/ ثانية يسبب حصول ارتفاع في درجة الحرارة السطحية مما يؤدي ذلك الى حصول تناقص تدريجي في معدل البلى كما هو مبين في الشكل (6)، اي انه مع زيادة سرعة الانزلاق ينتج عن ذلك تناقص في معدلات البلى بسبب ارتفاع درجة الحرارة السطحية لعينة الاختبار. ان زيادة سرعة الانزلاق تسبب حصول تغيرات كبيرة في عملية السوفان والبلى مع الحمل العمودي المسلط ودرجة حرارة المحيط والضغط الجوي ، حيث أن تلك العوامل ممكن أن تعمل على تغير مدى درجات الحرارة الناتجة عن سرعة الانزلاق بحيث تجعل درجة الحرارة اللحظية الناتجة عنها واقعة ضمن المدى (300—400)°م مما ينتج عن ذلك معدلات بليان وسوفان عالية لحديد الزهر اللدن الباييناتي كما هو موضح في الشكل (6).

من المعروف أن معدل البلى الانزلاقي الجاف لحديد الزهر والفولاذ عند حمل ثابت في الهواء الجوي الاعتيادي يتغير مع سرعة الانزلاق [3,6] . حيث يكون ذا قيمة عالية عند السرعة الانزلاقية المنخفضة نسبيا وذا قيمة منخفضة عند السرعة الانزلاقية العالية نسبة للمواد اللينة كالمواد المدنة، المعادلة أو المواد المبردة تبريدا بطيئا أثناء عمليات سباكتها، ويعزى سبب ذلك إلى أنه عند السرعة الانزلاقية المنخفضة احتمالية حصول عملية

الأكسدة تكون قليلة ، مما ينتج عن ذلك معدلات بلى عالية بسبب حصول اتصال معدني مباشرة ما بين سطح العينة والقرص وتوليد حطام بلى معدني كما هو مبين في الشكل (7) أما عند السرعة الانزلاقية العالية فيلاحظ بأن درجة الحرارة السطحية المتوسطة تصل أقصى ما يمكن عند السرعة (3.0) متر/ ثانية ، حيث أنها تتجاوز درجة الحرارة (400)م° . كما أن تسرب الحرارة خلال معدن العينة عند هذه السرعة يكون أقل مما عند السرعة (1.4) متر/ ثانية مما ينتج عن ذلك تكون طبقة من الأوكسيد على سطح التلامس لكل من العينة والقرص مؤديا إلى تقليل وانخفاض معدل البلى لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي.

يبين الشكل (8) بأن متوسط درجة الحرارة السطحية الناتجة عن عملية انزلاق واحتكاك عينة حديد الزهر اللدن البايينايي على سطح القرص الفولاذي الدوار يزداد بازدياد الحمل العمودي المسلط مما ينتج عن ذلك ازدياد معدل البلى أيضا مع ازدياد الحمل العمودي المسلط (الشكل 9) . ان معدل البلى للفولاذ يتغير مع الحمل العمودي المسلط ويمكن أن يصل إلى أقصى وأدنى قيمة عند بعض السرعة الانزلاقية ، إلا أنه لحديد الزهر اللدن فإن زيادة الحمل العمودي المسلط ينتج عنهما معدلات بليان وسوفان عالية وعند جميع السرعة كما هو مبين في الشكل (9) أعلاه . حيث أن كل من متوسط درجة الحرارة السطحية ومعدل البلى يكونان منخفضين عند الأحمال الأقل من (20) نيوتن ومرتفعين عند الأحمال الأعلى من ذلك ويعزى سبب ذلك إلى أنه بزيادة الحمل العمودي المسلط تحصل زيادة تدريجية في درجة الحرارة اللحظية لعينة حديد الزهر اللدن حيث تصبح مرتفعة جدا عند بعض مساحات التلامس بحيث تصل أو تقترب من نقطة الانصهار . في هذه الحالة سوف يكون بلى سطح العينة مسيطر عليه بصورة رئيسية عن طريق متوسط درجة الحرارة السطحية كما أن هذه الدرجة تزداد مع زيادة الحمل المسلط كما اكدته الدراسة [25] لكنه إذا تجاوز متوسط درجة الحرارة ال (400) م° فانه سوف يحدث التصاق وتلف كبير لسطح العينة وذلك بسبب انتقال مادة حديد الزهر اللدن البايينايي إلى سطح المادة المرافقة لها والمحتكة معها (القرص الدوار) . ومن خلال الشكل (9) يلاحظ بأن معدل البلى يكون ذا قيمة عالية عند مدى الأحمال من (30-40) نيوتن لأنه عند هذا المدى من الأحمال وخاصة عند الحمل (40) نيوتن يصبح متوسط درجة الحرارة أعلى من (400)م° إضافة إلى أنه هذا المدى ينتج عنه مدى من درجات الحرارة السطحية ما بين (310-360) م° بالنسبة لهذه السبيكة حيث بين هذا المدى من الأحمال ودرجات الحرارة يحصل تحول في نوع البلى من البلى المتوسط (The Mild Wear) إلى البلى الشديد (The Severe Wear) مما ينتج عن ذلك معدلات بليان وسوفان عالية جدا لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي.

من خلال النتائج يتبين بأن تغيّرات البلى مع السرعة الانزلاقية والاحمال العمودية المسلطة تعتمد بصورة رئيسية على درجات الحرارة السطحية الناتجة عنهما على الرغم من أن تأثيرهما على البلى لا يمكن أن يهمل عملياً ومختبرياً . إضافة إلى ذلك يجب تجنب استخدام مدى الأحمال (30-40) نيوتن اثناء العمل والخدمة لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي وكذلك مدى درجات الحرارة (310-360) م° الناتجة عن التطبيقات العملية التي تستخدم فيها هذه السبيكة الصناعية أثناء عملية انزلاقها واحتكاكها مع المواد الأخرى ، حيث يتم ذلك عملياً أما بواسطة تغير سرعة الانزلاق ، الحمل العمودي المسلط أو درجة حرارة المحيط لأنه ينتج عن هذين المديين من الأحمال ودرجات الحرارة بليان سطوح هذه السبيكة بمعدلات كبيرة جدا أثناء عمليات الاحتكاك والانزلاق .

يوضح الشكل (10) تأثير متوسط درجة الحرارة السطحية على معامل الاحتكاك، أنه كلما تزداد درجة الحرارة السطحية يزداد معامل الاحتكاك ويعزى سبب ذلك إلى أن ارتفاع درجة حرارة السطوح المنزلقة يؤدي إلى حصول تلين حراري (Thermal Softening) لتنوءاتهما السطحية ونتيجة للحمل العالي المسلط على قمم هذه النتوءات أثناء عملية الانزلاق سوف يحصل لها انسياب لدن كبير مسببا تسطح هذه النتوءات عند منطقة التلامس ، مما ينتج عن ذلك زيادة في منطقة التلامس الحقيقية ما بين العينة والقرص وهذا يؤدي إلى ازدياد معامل الاحتكاك مع زيادة درجه الحرارة كما أن لدرجة الحرارة تأثير كبير على خصائص طبقة الكرافيت المتكونة ما بين سطح العينة والقرص المحتك معها حسب ما هو مبين في الشكل (11)، حيث يتبين من خلال هذا الشكل أن قابلية التزيت لطبقة الكرافيت تصبح جيدة عند درجات الحرارة الأقل من (100) م° إلا أنه مع ارتفاع درجة الحرارة السطحية يزداد معامل الاحتكاك وذلك بسبب حدوث تقسية وتصليد لطبقة الكرافيت مع ارتفاع درجة الحرارة .

الاستنتاجات

1. ان اهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها من خلال هذه الدراسة البحثية هي:-
ان درجة الحرارة المقاسة من خلال هذه الدراسة لاسطح عينات سبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي تصبح ثابتة تقريبا بعد مرور زمن انزلاقي قدره (3) دقائق لان انسياب حرارة الاحتكاك يكون بحالة اتزان اثناء عملية احتكاك وانزلاق عينة السبيكة على القرص الدوار.
2. يزداد متوسط درجة الحرارة السطحية كلما زادت سرعة الانزلاق مما ينتج عن ذلك تناقص معدلات البليان والسوفان مع زيادة سرعة الانزلاق.

٣. ان معدل البلى الانزلاقي الجاف لسبيكة حديد الزهر اللدن البايثايتي يتغير مع تغير سرعة الانزلاق ، حيث يكون ذا قيمة عالية عند السرعة الانزلاقية المنخفضة نسبيا (١.٤ متر/ثا) وذا قيمة منخفضة عند السرعة الانزلاقية العالية (٣.٠ متر/ثا).
٤. ان درجة الحرارة السطحية تتغير مع سرعة الانزلاق ، وتسجل اعلى قيمها عند السرعة الانزلاقية (٣.٠ متر/ثا).
٥. ان درجة الحرارة السطحية الناتجة عن عملية انزلاق واحتكاك حديد الزهر اللدن على سطح القرص الفولاذي الدوار تزداد بازدياد الحمل العمودي المسلط مما ينتج عن ذلك ازدياد معدل البلى وعند جميع السرع الانزلاقية المستخدمة في هذه الدراسة البحثية. وان معدل البلى يكون ذا قيمة عالية عند مدى الاحمال من ٣٠ الى ٤٠ نيوتن م^٢ ودرجات الحرارة السطحية تكون ما بين ٣١٠ - ٣٦٠ م^٢ ، لذلك يجب تجنب مثل هكذا مديات من الاحمال ودرجات الحرارة في التطبيقات الصناعية التي تستخدم فيها هذه السبيكة اثناء عملية انزلاقها واحتكاكها مع الاجزاء الميكانيكية الاخرى حسب ما تم التوصل اليه من خلال هذه الدراسة ويتم ذلك اما بواسطة تغير سرعة الانزلاق المستخدمة ، الحمل العمودي المسلط او درجة حرارة المحيط لانه ينتج عن هذين المديات من الاحمال ودرجات الحرارة بليان سطوح هذه السبيكة بمعدلات كبيرة جدا اثناء العمل والخدمة.
٦. يزداد معامل الاحتكاك لسبيكة حديد الزهر البايثايتي مع زيادة درجة الحرارة.
٧. ان درجة الحرارة السطحية لها تأثير كبير على خصائص طبقة الكرافيت المتكونة ما بين سطح عينة حديد الزهر اللدن البايثايتي والقرص المحتك معها والمرافق لها وان قابلية التزيت لطبقة الكرافيت تصبح جيدة عند درجات الحرارة الاقل من 100 م^٢ الا انه مع ارتفاع درجة الحرارة السطحية يزداد معامل الاحتكاك بسبب حدوث تقسية وتصليد لطبقة الكرافيت مع ارتفاع درجة الحرارة بالاضافة الى حصول تلين حراري للننوات السطحية وزيادة المساحة السطحية للاسطح الانزلاقية المترافقة.

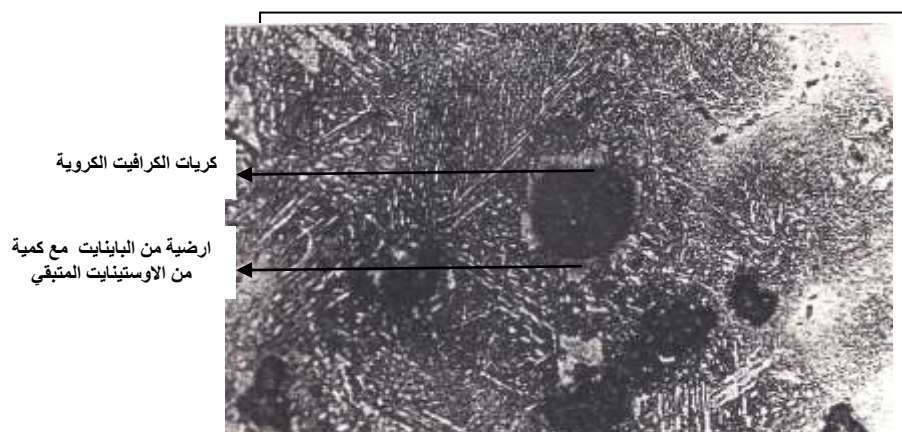
شكر وتقدير Acknowledgement

يتقدم الباحث بالشكر الجزيل والامتنان العالين الى قسم هندسة الانتاج والمعادن وكذلك قسم التدريب والمعامل في الجامعة التكنولوجية - بغداد لما ابدوه من روح المساعدة والتقاني في انجاز كافة التجارب العملية لهذا البحث وتوفيرهم كافة الاجهزة والمعدات للباحث من اجل انجاز واتمام هذا البحث العلمي والذي لولا جهودهم القيمة ودعمهم المتواصل لما انجز هذا البحث.

REFERENCES

- [1] A.D. Sarkar, (Friction and Wear); Academic Press, (1980), pp.143-144.
- [2] A.D. Sarkar, (Wear of Metals); Pergamon Press, (1979), pp. 2-44.
- [3] Rac A., "Influence of load and speed on wear grey cast iron in dry sliding-selection for minimum wear", Tribology International Journal, 18(1985), (1), pp. 29 - 33.
- [4] B.K. Gupta, (Lectures on Tribology "Friction, Lubrication and Wear), (1995), pp. 36-39.
- [5] Stavrev D., Dikova Ts., "Behavior of graphite in laser surface hardening of irons", International Virtual Journal for Science, Technics and Innovations for the Industry, Published by Bulgarian Scientific Technical Union of Mechanical Engineering, Issue 4-5/(2007).
- [6] Adel K. M., Dhia A. S., Maryiam J. Gh., "The effect of laser surface hardening on the wear and friction characteristics of acicular bainitic ductile-Iron", International Journal on Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Vol.4, No.2, (2009), pp.65-69.
- [7] Dimitar Stavrev, Tsanka Dikova, "Structure features of martensite and residual austenite during treatment with concentrated energy fluxes ", Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.83-86.889, Advanced Materials Research Vols. 83-86, (2010), pp.889-895.
- [8] C.Lipson and L.V. Coiwell, (Hand Book of Mechanical Wear), Ann Arbor, University of Michigan Press, (1961).
- [9] B.W. Sakman, (Jou. of Appl. Mech.), (1947), pp. 14&43.
- [10] F. T. Barwell, (Jou. Inst. Metals), Symposium, Vol. 80, Monograph No. 13, (1952).
- [11] N. C. Welsh, (Proc. Inst. Mech. Engrs.), Conference on Lubrication and Wear, (1957).

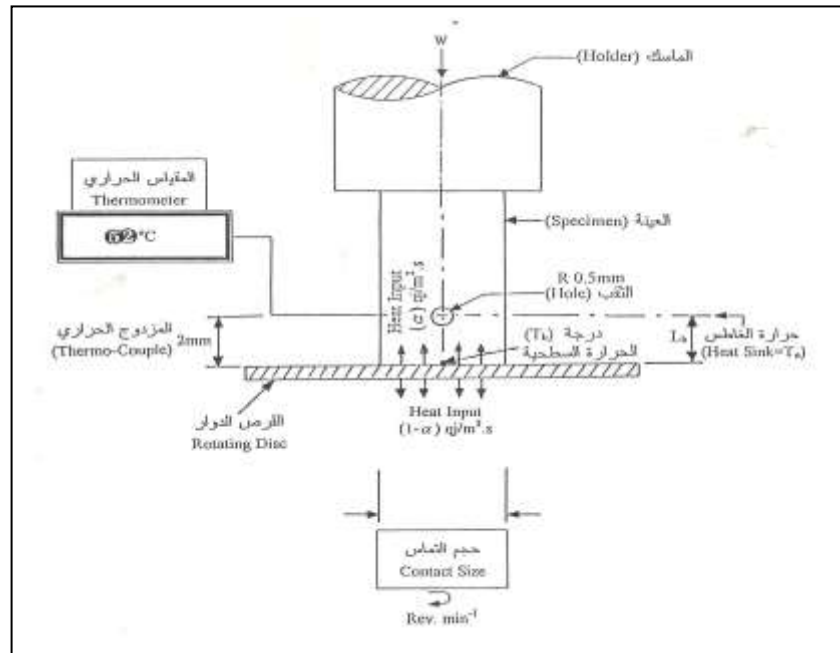
- [12] R. Wilson, (Influence of Oxide Films on Metallic Friction), Friction of Metals, (1955), pp. 451-453.
- [13] R. Wilson, (Proc. Phys. Soc.), London B68, (1955), pp. 625.
- [14] D. Tabor, (Wear- A Critical Synoptic View), Transaction of the ASME, Journal of Lubrication Technology, Oct. (1977), pp. 387-395.
- [15] S. Y. Bunny, (Dry adhesive wear of brass against carbon steel disc), M.Sc. Thesis, University of Technology, Baghdad, (1982), p. 9.
- [16] S. W. Earless and D. G. Powell, (Proc. Inst. Mech. Engrs.), Vol. 182, Part 3N, (1986), Part 3G (1967-1968).
- [17] L.E. Sibley, A.E. Nace, D.R. Grieser and Allen C.M. Wadd, (Tech. Report), (1960), pp. 60-45.
- [18] J.N. Sultan, (Study of adhesive wear of different stacking fault energy alloys under dry sliding conditions), Ph.D. Thesis University of Technology, Baghdad, (1995), pp. 13-44.
- [19] Martins, R., Seabra, J. and Magalhães, L., "Austempered ductile iron (ADI) gears: power loss, pitting and micropitting", Wear, Vol. 264, (2008), p. 838.
- [20] Kayali, Y. et al., "Investigation of mechanical properties of tempered ductile iron". Materials and Design, Vol. 31, (2010), p. 1799.
- [21] Kong, R. et al., "Wear characteristics of ductile cast iron crankshaft coating", International Compressor Engineering Conference, School of Mechanical Engineering, Purdue University, China, (2010).
- [22] Mattar, A. R. et al., "Influence of alloying elements Cu, Ni and Mo on mechanical properties of austempered ductile iron". International Heat Treatment and Surface Engineering, Vol. 5, (2011), p. 78.
- [23] Fábio, E. M. et al., "Wear behavior characterization and analysis of cast austempered ductile iron (ADI)", 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013) November 3-7, (2013), Ribeirão Preto, SP, Brazil.
- [24] Adel K. M., "Laser surface hardening of ductile cast-iron", International Virtual Journal for Science, Technics and Innovations for the Industry, Issue12/(2013).
- [25] M. Kawamoto and K. Okabayashi (Study of dry sliding wear of cast iron as a function of surface temperature), Wear, 58 (1980), pp. 59-95.



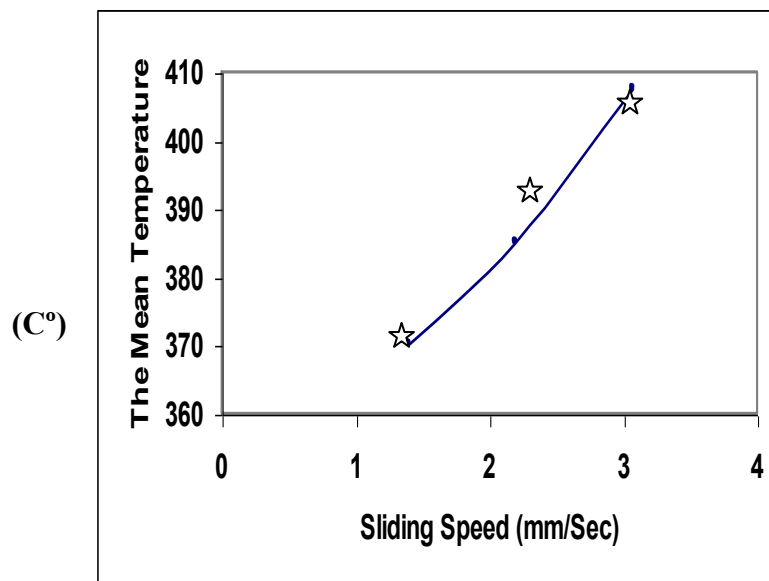
الشكل (١):- يوضح البنية المجهرية لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينائي والتي تتكون من كريات الكرافيت في ارضية باينائيتية مع كمية من الاوستينائيت المتبقي، قوة التكبير (٤٦٧X).

الجدول (١) :- يبين التركيب الكيميائي (%) كنسبة مئوية لمكونات سبيكة حديد الزهر اللدن البايثايتي المستخدمة في البحث الحالي.

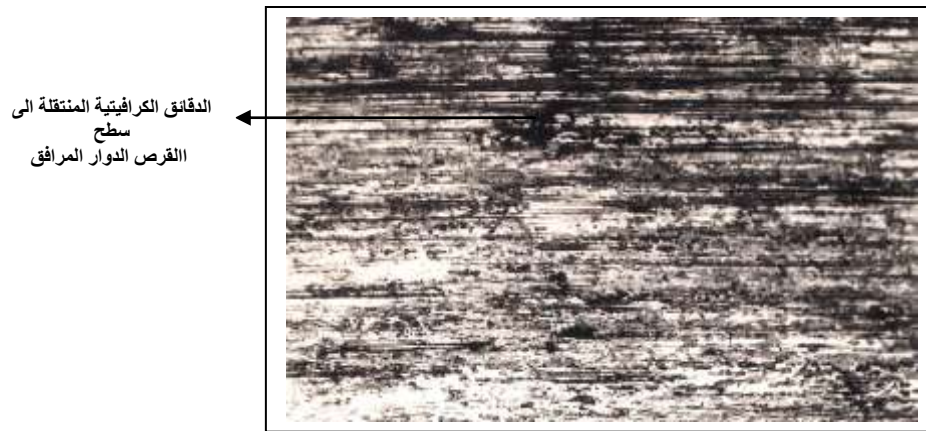
Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Mg	Al	C
السيليكون	المنغنيز	الفسفور	الكبريت	الكروم	المولبدنوم	النيكل	النحاس	المغنيسيوم	الالمنيوم	الكربون
2.77	0.3	0.02	0.01	0.05	0.028	3.8	0.08	0.0327	0.002	3.2



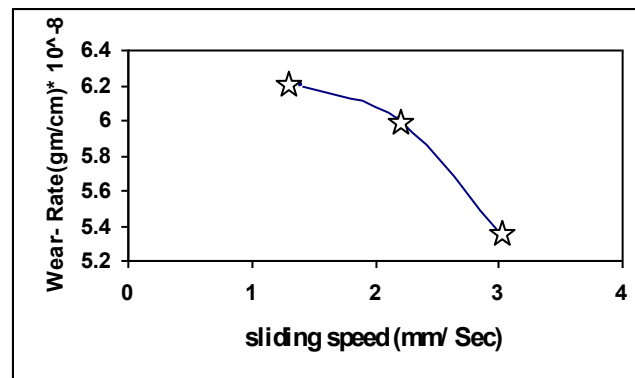
الشكل (٢) :- يوضح الترتيب المستخدمة في تقييم وقياس درجة الحرارة السطحية لسبيكة حديد الزهر اللدن البايثايتي أثناء انزلاقها على القرص الفولاذي الدوار المرافق لها.



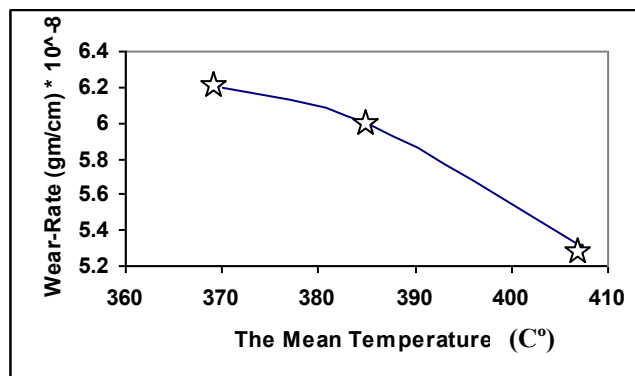
الشكل (٣) :- يوضح العلاقة ما بين متوسط درجة الحرارة السطحية (C°) وسرعة الانزلاق لسبيكة حديد الزهر اللدن البايثايتي عند حمل عمودي مسلط (٣٠) نيوتن وزمن انزلاقي قدره (٣٠) دقيقة.



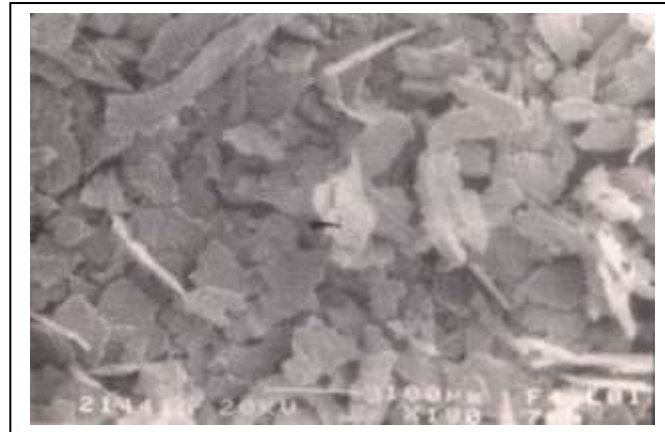
الشكل (٤):- يوضح صورة بالمجهر الضوئي تبين ان الدقائق المعدنية والكرافيتية المنتقلة من سطح سبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي الى سطح القرص الفولاذي الدوار المرافق لها اثناء عملية الانزلاق، قوة التكبير (144X).



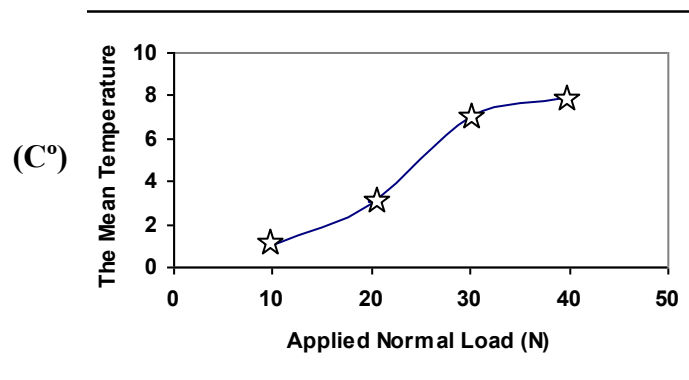
الشكل (٥):- يوضح العلاقة ما بين معدل البلى وسرعة الانزلاق لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي عند حمل عمودي مسلط (٣٠) نيوتن وزمن انزلاقي قدره (٣٠) دقيقة.



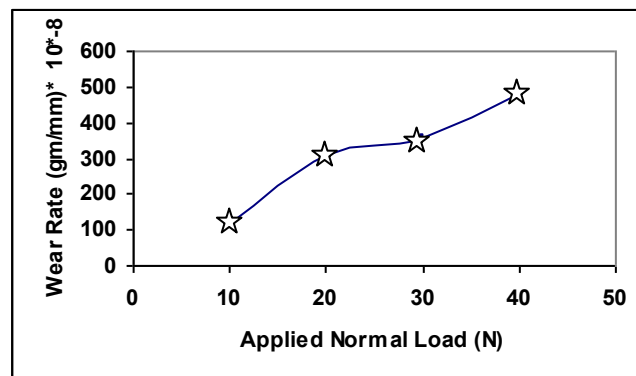
الشكل (٦):- يوضح العلاقة ما بين معدل البلى ومتوسط درجة الحرارة السطحية لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي عند حمل عمودي مسلط (٣٠) نيوتن وزمن انزلاقي قدره (٣٠) دقيقة.



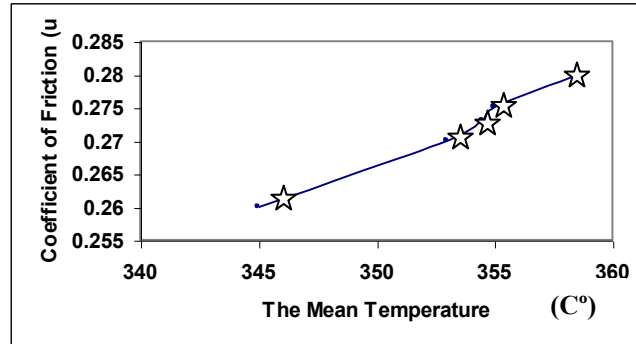
الشكل (٧):- يوضح صورة بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) تبين دقائق حطام السوفان والبلى المعدنية لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي المتكونة عند سرعة انزلاقية (1.4) متر/ثانية وحمل عمودي مسلط قدره (٣٠) نيوتن، قوة التكبير (125X).



الشكل (٨):- يبين العلاقة ما بين متوسط درجة الحرارة السطحية لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي والحمل العمودي المسلط عند سرعة انزلاقية (٣.٠) متر/ثانية وزمن انزلاقي قدره (٣٠) دقيقة.



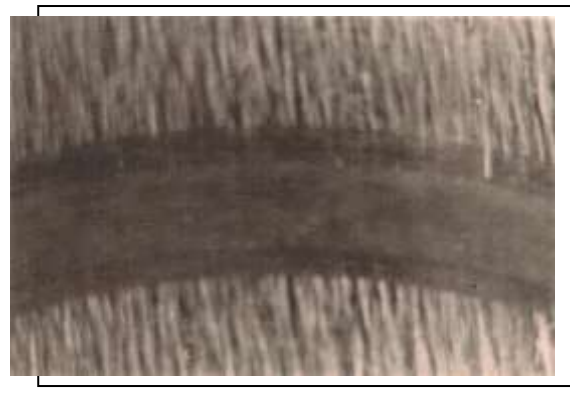
الشكل (٩):- يبين العلاقة ما بين معدل البلى لسبيكة حديد الزهر اللدن البايينايي والحمل العمودي المسلط عند سرعة انزلاقية (٣.٠) متر/ثانية وزمن انزلاقي قدره (٣٠) دقيقة.



الشكل (١٠) :- يبين العلاقة ما بين معامل الاحتكاك لسبيكة حديد الزهر اللدن البايثايتي ومتوسط درجة الحرارة السطحية عند حمل عمودي مسلط (٣٠) نيوتن، سرعة انزلاقية (٣.٠) متر/ثانية وزمن انزلاقي قدره (٣٠) دقيقة.



(B)



(A)

الشكل (١١) :- صور المجهر الضوئي توضح الاثر لمسار عينة حديد الزهر اللدن البايثايتي على سطح القرص الفولاذي الدوار عند حمل عمودي مسلط (40) نيوتن، سرعة انزلاقية (1.4) متر/ثانية، زمن انزلاقي (30) دقيقة، ودرجة حرارة سطحية أقل من (100) م° . قوة التكبير عند (2X)= A ، وعند (144X)= B.