تأثير المعالجات السطحية على البلى الالتصاقي لصلب منخفض الكربون"

د.وليد جلال علي/أستاذ مساعد أحمد سعدون عبد العزيز/مدرس مساعد

جامعة الموصل-كلية الهندسة-قسم الهندسة الميكانيكية

الخلاصة

البِلى واحد من ألمشاكل التي تحصل في الأجزاء المتحركة سواء المتدحرجة أو المنزلقة. يتضمن البحث دراسة عملية لظاهرة البِلى التي تحصل في الصلب المنخفض الكربون والذي يستخدم لمطيليته الكبيرة ومقاومته للصدمات وكونه من المعادن الرخيصة الثمن، ولأجل تقليل مقدار البلى في السطح ينبغي إجراء معالجات سطحية عليه وقد اختيرت ثلاثة معالجات سطحية وهي الكربنة والسيندة والطلاء بالكروم الصلد.أجريت فحوصات البِلى الجاف(بدون تزييت) للسطوح المعالجة وغير المعالجة وتحت حمل وسرعة ثابتين وبأختيار اسلوبين من الحركة: تدحرج-انزلاق وتدحرج تام. استخدمت ماكنة الفحص امسلر لهذا الغرض واختير الصلب العالي الكربون لتصنيع النموذج العلوي للفحص واختير الصلب المنخفض الكربون لتصنيع النموذج السفلي للفحص .عومل الصلب العالي الكربون حرارياً حيث تم تصليده أما الصلب المنخفض الكربون فعولج سطحياً حيث أجريت الكربنة الصلبة والسيندة وكذلك الطلاء بالكروم الصلد وذلك لزيادة صلادة السطح. لوحظ أن زيادة الصلادة السطحية بالطرق الثلاثة قد قلل من مقدار البلى الحاصل، وأن السيندة أبدت مقاومة اكبر للبلى بينما أبدى الطلاء بالكروم اقل مقاومة وتبين أن البلى في حالة التدحرج التام يكون قليلاً ووجد أيضا أن معدل البلى للسطوح المعالجة يزداد زيادة كبيرة خلال مراحل الفحص الأولى ثم يقل حتى يصل إلى حالة مستقرة ولكلا نوعي الحركة.

“Effect Of Surface Treatments On The Adhesive Wear Of Low Carbon Steel”

Dr.waleed J.Ali **Ahmed S.Abdalazez**

University of Mosul-College of Engineering

Abstract

Wear is one of the problems that occur in the moving parts either by rolling or sliding. This work includes experimental study on the wear of

low carbon steel. Three surface treatments were chosen these are cyaniding, solid carburizing and hard chrome plating. The wear test was made under dry contact condition for the treated and the untreated surfaces. A constant load and speed were used for two types of motion: sliding-rolling and pure rolling. An Amsler machine was used. The high carbon steel was chosen for making the upper specimen and the low carbon steel was chosen for making the lower specimen. The high carbon steel was hardened while the other was surface treated (carburizing, cyaniding). The hard chrome plating was also used to increase the surface hardness. It was noticed that increasing of surface hardness reduced the wear amount produced, and the cyaniding gave the highest resistance to wear whereas the hard chrome plating gave the lowest one, and the wear under pure rolling condition was small .It was found that the wear rate of treated surfaces is high in the first stage of the test then the rate decreases until it reaches a steady state and for both motions.

Key Words: Wear, surfaceو treatment, hardening, steel.

اُستلم في 2006/10/15 قبل في 2007/3/8

Introduction: **مقدمة:**

يعد البلى(wear) فضلاً عن الكلل والتآكل من المشاكل الصناعية الشائعة والتي غالباً ما تؤدي إلى استبدال الأجزاء المتأثرة بها[1] ويمكن أن يعرف أيضا بأنه تدهور السطوح نتيجة للاستخدام[2] .إن مقدار البِلى الذي يحدث للمواد يعتمد بشكل كبير على خواص المواد المستخدمة وعلى طبيعة الأسطح المحتكة[3] ولا يمكن منع حصول البلى بشكل نهائي لأنه يظهر عادةً كلما كان هنالك حمل مصحوباً بحركة[2] والتي تكون إما انزلاقية أو تدحرجية أو انزلاقية-تدحرجية في آن واحد[4].إن حدوث هذه الظاهرة يكلف الصناعة مبالغ طائلة ففي بعض المصانع تكون الكلفة السنوية لاستبدال الأجزاء المتأثرة بالبِلى كبيرة جداً مما شجع الباحثين لدراسة هذه الظاهرة ومعرفة أسباب حدوثها واليات حدوثها وفي ظروف الفحص الجاف (dry wear) أي بدون تزييت كون أن النتائج في هكذا ظروف تكون أكثر وضوحاً[5].ولقد أنجز العديد من البحوث والدراسات بشأن هذه الظاهرة وإيجاد الحلول للتقليل منها سواءً باختيار مواد وسبائك ملائمة أو بإجراء معالجات سطحية كطرق التصليد السطحي وطرق الطلاء حيث أن تطبيق مثل هذه المعالجات يؤدي إلى الحصول على خاصيتين في آن واحد وهي الصلادة العالية للسطح مع الاحتفاظ بالمطيلية للقلب(core) مما يؤدي إلى تحسين مقاومة البِلى وكذلك القابلية على تحمل الاجهادات العالية.ونظراً لأهمية هذه الظاهرة فقد جاء هذا البحث لأجل تحسين مقاومة صلب منخفض الكربون للبِلى من خلال إجراء معالجات سطحية له والمتضمنة طرق التصليد السطحي كالسيندة والكربنة وكذلك إجراء الطلاء بالكروم الصلد.أجريت الفحوصات في ظروف جافة وبأستخدام اسلوبين من الحركة انزلاقية- تدحرجية و تدحرجية تامة وذلك لأن هاتين الحركتين

لهما أهمية في عدد من التطبيقات الهندسية كالمحامل الاسطوانية والمحامل الكروية والتروس[6].

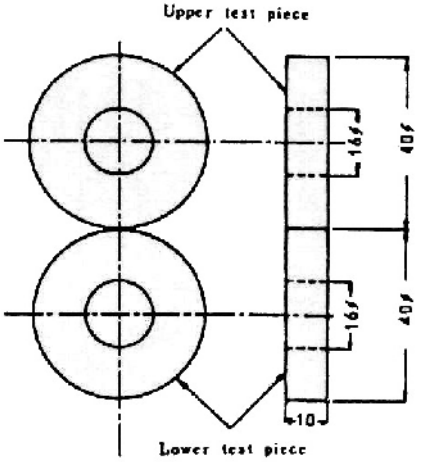
المواد وطرق العمل: Materials & Experimental Work

تم اختيار الصلب المنخفض الكربون المسمى (CK15) حسب المواصفة الألمانية(DIN) لأجل إجراء المعالجات السطحية له والمتضمنة التصليد بالكربنة الصلبة (Solid carburizing) ، السيندة (Cyaniding) والطلاء بالكروم الصلد (Hard chrome plating) وذلك لتصنيع النموذج السفلي للفحص ،واختير الصلب المسمى(CK60) حسب المواصفة الألمانية (DIN) للتصليد بشكل كامل (hardening and tempering) ليستعمل كنموذج علوي للفحص والمعطى تركيبهما الكيمياوي في الجدول رقم (1).تم تشغيل خامات من النوعين للصلب أعلاه بقطر (45) ملم وذلك للحصول على نماذج الفحص وفق الأبعاد المطلوبة بناءً على مواصفة ماكنة الفحص (امسلر) ،الشكل (1) يبين أبعاد النماذج المستخدمة في فحص البلى .أجريت بعد ذلك المعالجات السطحية أعلاه للمعدن (CK15) لأجل زيادة الصلادة السطحية كما أجريت عملية التصليد للمعدن (CK60). تضمنت عملية الكربنة الصلبة تحضير نماذج الفحص بعدد(4) نماذج وذلك بوضعها داخل صندوق من الصلب ذو غطاء معد لهذا الغرض وأحيطت النماذج جميعها بمادة الكربنة والتي هي عبارة عن حبيبات صلبة تتألف من الفحم مع مادة كاربونات الباريوم ووضع الغطاء بشكل محكم ثم أحيط غطاء الصندوق بالطين لمنع تسرب الغازات الناتجة من التفاعلات من داخل الصندوق ومن ثم تم إدخاله إلى فرن كهربائي ثم أجرى تسخين الفرن إلى درجة حرارة (915)°م ولفترة زمنية مقدارها ثلاثة ساعات.تضمنت هذه المعاملة حصول تفاعلات كيميائية تعمل على تحلل اول اوكسيد الكربون على السطح ومن ثم انتشار الكربون الذري الى سطح الصلب. وبعد أن تم إشباع سطح نماذج الصلب بالكربون تم اجراء عملية التصليد السطحي وذلك بتسخين النماذج إلى درجة (840)°م ولمدة (20) دقيقة ثم التبريد المباشر بالماء اعقبها عملية المراجعة للنماذج (tempering) بدرجة (200) ° م ولمدة ساعة.اما عملية السيندة فتضمنت وضع (4) نماذج من الصلب داخل بودقة تملأ بالمادة اللازمة لهذه العملية والمتكونة من كرات صلبة والمسماة (تجارياً)

(CE Constant 80 A)والمتكونة من سيانيد الصوديوم وكلوريد الباريوم ثم ادخالها في فرن لاجل اشباع سطح الصلب بالنتروجين والكربون.تم تسخين الفرن إلى درجة حرارة (900)°م حتى تنصهر الكرات الصلبة وتصبح بشكل منصهر سائل ولمدة (1.5) ساعة لأجل إشباع سطح النماذج بمادة السيندة ومن ثم أخراج النماذج من الفرن والتبريد بشكل مباشر بالماء للحصول على الصلادة العالية للسطح.

جدول(١):التركيب الكيمياوي للصلب المستخدم في تصنيع نماذج الفحص.

نـــــوع المعدن	%C	%Si	%Mn	%P	% S
CK15	0.14	0.40	0.38	0.029	0.03
CK60	0.62	0.41	0.73	0.031	0.032



شكل(١) : أبعاد نماذج فحص البلى (ملليمتر)

وتعتبر هذه العملية من العمليات الصناعية الحساسة كون أن المواد المستخدمة فيها تعتبرخطرة لطبيعتها السامة لذا آخذت تدابير وقائية للسلامة الصناعية (كالقفازات والكمامات.. الخ) طاقة الى توفير تهوية جيدة لإخراج الأبخرة الخطرة المتصاعدة أثناء العملية ،أجريت بعدها عملية المراجعة للنماذج (tempering) بدرجة (200)م ولمدةساعة واحدة.

وبالنسبة لعملية الطلاء بالكروم فيمكن القول أن الكروم يعتبر من اهم واكثر المعادن المستخدمة في الطلاء بالترسيب الكهربائي(electroplating) إضافة للنيكل وهنالك نوعان رئيسيان للطلاء بالكروم اولهما يستخدم لتحسين المظهر الخارجي لسطح الصلب (decorative) اما الاخر فهوطلاء سطح الصلب بالكروم الصلد (hard chrome plating) والذي يعطي صفات مثل مقاومة البلى ومقاومة الحرارة وذلك من خلال ترسيب الكروم مباشرةً على السطح وهذا ما انجز في البحث حيث استخدمت تقنية تتألف من حوض الطلاء ، مجهز القدرة ، أقطاب من الرصاص ، مسخن كهربائي إضافة إلى محلول الطلاء.تم تحضير حوض الطلاء وذلك بغسل الحوض والذي يتسع إلى سبعين لتراً وأضيف إليه حامض الكروميك بنسبة (300) غم / لترماء

مقطر، وحامض الكبريتيك بنسبة(3) غم / لتر ماء مقطر.تم تسخين محلول الطلاء إلى درجة حرارة(50-45)°م وربط نماذج الصلب المراد طلاؤها بمجهز القدرة كقطب سالب وربط أقطاب الرصاص إلى مجهز القدرة كقطب موجب ،وغمرت النماذج في المحلول وامرر تيار مقداره (15) أمبير ولفترة زمنية مقدارها (50) دقيقة.إن مقدار التيار وزمن العملية يعتمدان على كل من المساحة والسمك المطلوب لطبقة الطلاء.

أما بخصوص إجراء التصليد للصلب(CK60) فقد سخنت النماذج إلى درجة حرارة (820) °م لمدة (20) دقيقة ثم تبريدها مباشرةً بالماء وأجريت بعدها عملية المراجعة للنماذج (tempering) بدرجة (200)°م ولمدة ساعة.الجدول رقم (2) يبين تفاصيل المعالجات السطحية والمعاملات الحرارية التي أجريت لنماذج الفحص. اجري فحص الصلادة بأسلوب فكرز (Vickers hardness Test) لجميع النماذج قبل أجراء المعالجات وبعدها لمعرفة التغييرات التي حدثت في خواص السطح باستخدام جهاز فحص الصلادة نوع (Karl Kolb) وبقياس فكرز.و نتائج الفحص مبينة في جدول رقم (2).

بعد ذلك اجري فحص البلى (wear test) لجميع النماذج باستخدام ماكنة الفحص (Amsler) حيث أن هذه الماكنة مزودة بمحرك كهربائي ذو سرعتين فعند تشغيل المحرك يدور قرصين (نموذجي الفحص) احدهم فوق الآخر مع وجود حمل بينهما وبتغيير السرعة بين القرصين فانه يمكن الحصول على حركة تدحرج – انزلاق بنسبة مقدارها(10%) وحركة تدحرج تام عند تساوي سرعة القرصين.ولإجراء الفحص يتم أولا تنظيف النماذج بمادة الكحول ثم تجفف وبعدها يتم وزنها بميزان حساس حيث تم استخدام ميزان نوع (Mettler Ae 160) ثم تثبيت النماذج على الماكنة و تشغيل الماكنة لمدة ساعتين ثم توقيفها .تفك النماذج ثم تنظف كيميائياً بالمحلول الخاص ثم تجفف ويعاد وزنها لمعرفة الفرق في الوزن لحاصل بفعل البلى. في هذا البحث تم دراسة مقاومة البلى للنماذج المعالجة سطحياً وتحت حمل وسرعة ثابتين وبأستخدام ساو بين من الحركة: تدحرج –انزلاق وتدحرج تام وبدون تزييت. الجدول رقم(٣) يبين الظروف المستخدمة في فحص البلى.

جدول (٢):أنواع المعاملات التي أجريت للنماذج.

الصلادة	المعاملة الحرارية		نوع المعدن
600 Hv	Carburizing	Carburizing to (915) °C for (3) hrs. + Heating to (840) °C for (20) min	

CK 15		+ Cooling in water + Tempering to (200) °C for (1) hr.	
	Cyaniding	Cyaniding to (900) °C for (1.5) hrs. + Cooling in water + Tempering to (200) °C for (1)hrs.	680 Hv
	Hard chrome plating.	Heating the solution to (45-50) °C Current: 15 (A) for (50) min.	560 Hv
CK 60	Hardening	Heating to (820) °C for (20) min. + cooling in water. +Tempering to (200) °C for (1) hr.	755 Hv

جدول (٣): الظروف المستخدمة في فحص البِلى

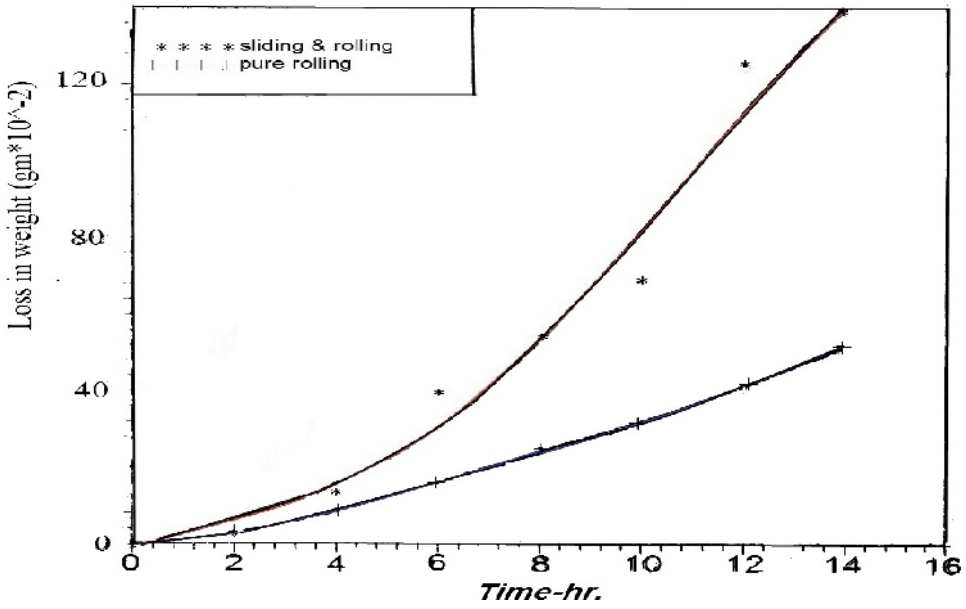
100 N	الحمل المسلط
DRY	نوع الفحص

1430 R.P.M	سرعة المحرك
1148 R.P.M	عدد الدورات للمحور السفلي
1148 rpm for pure rolling motion 1040 rpm for sliding & rolling motion	عدد الدورات للمحور العلوي
25-30 °C	درجة الحرارة

النتائج والمناقشة: **Results & Discussion**

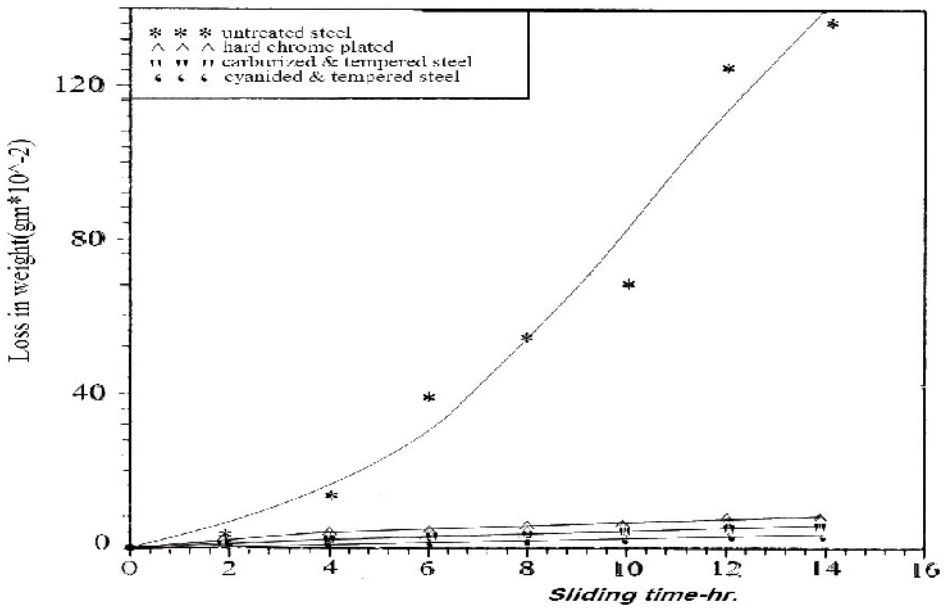
في هذا البحث تم دراسة تأثير المعالجات السطحية كالكربنة والسيندة والطلاء بالكروم الصلد على مقاومة صلب منخفض الكربون للبِلى حيث أجريت فحوصات البِلى الجاف للسطوح المعالجة وغير المعالجة وتحت حمل وسرعة ثابتين وبأسلوبين من الحركة وهما تدحرج – انزلاق (Sliding –Rolling) وتدحرج تام (Pure Rolling). تم رسم منحني البِلى لكل فحص والمتكون من العلاقة بين زمن الاختبار والفقدان في الوزن فيلاحظ من الشكل(2) حدوث زيادة كبيرة في مقدار البِلى الحاصل من بداية الفحص للنماذج غير المعالجة وتستمر هذه الزيادة بزيادة زمن الفحص وهذا يتفق مع ما أشار إليه Archard [7] والسطوح كما هو معلوم مهما كانت صقيلة وملساء فانها تكون خشنة مجهريا [8] واستمرار حدوث الزيادة في البِلى يمكن تفسيره إلى الإزالة الكبيرة لقمم نتوءات السطح غير المعالج بسهولة نتيجة انخفاض قيمة الصلادة لها أي انخفاض قيمة إجهاد الخضوع وبالتالي حدوث التشويه اللدن للنتوءات ثم إزالتها بعملية القص، وعند دراسة تأثير اختلاف نوع الحركة (حركة تدحرجية-انزلاقية ، حركة تدحرجية نقية) على مقدار البِلى الحاصل للسطوح (شكل 2) يلاحظ نقصان مقدار البِلى الحاصل في حالة الحركة التدحرجية التامة عما هو عليه في حالة الحركة التدحرجية- الانزلاقية وذلك نتيجة تساوي سرعة نموذجي الفحص وبالتالي حدوث تماس بين عدد اقل من النتوءات وباستمرار الحركة يحدث تشويه لدن والتحام للنتوءات المتماسة ويعقبها حدوث تمزق و إزالة للنتوءات الأقل صلادة [9] ولهذا يكون مقدار البِلى اقل في حالة التدحرج التام عما هو عليه في حالة الحركة التدحرجية- الانزلاقية وهذا ينطبق أيضا على السطوح المعالجة .إن سلوك الصلب المنخفض الكربون يتفق مع ما توصل إليه الباحثYamada[10] من أن الصلب الكربوني الملدن يظهر البِلى بشكل مستمر باستمرار الفترة الزمنية للاختبار. إن مقدار البِلى الحاصل للسطوح يعتمد بصورة مبدئية على طبيعة ومساحة التلامس بين الأسطح والتي تعتمد بدورها على توزيعات وأحجام النتوءات السطحية [11] ولهذا فان الحمل المسلط يسند ببعض قمم النتوءات مما يؤدي إلى تكون مناطق التحام دقيقة والتي عندما تضاف إلى مناطق الالتحام الصغيرة الأخرى فأنها تكون المساحة الحقيقية للتماس والتي تكون اصغر من المساحة الظاهرية

للتماس [12] فإذا كان الحمل المسلط كبير والمادة ذات إجهاد خضوع قليل فسيحدث التشويه اللدن لمنطقة التماس [4] لأن الإجهاد الموضعي عند النتوءات يكون كبير مما يؤدي إلى حدوث التشويه اللدن ومن ثم إزالة قمم هذه النتوءات السطحية والذي بدوره يرفع مقدار البلى. إن إشباع سطح الصلب بالنتروجين والكربون من خلال عملية السيندة (cyaniding) للسطوح كان له الأثر الأكبر في تقليل البلى إلى حد اكبر في حين إن إشباع السطح بالكربون فقط أي إجراء عملية الكربنة (carburizing) كان تأثيره اقل مقارنة بالسطح المسيند.إن زيادة الصلادة للسطوح المسيندة اكبر من تلك للسطوح المكربنة ففي عملية الكربنة تزداد نسبة الكربون في السطح مما يزيد من قابلية التصليد للصلب،أما بالنسبة للسطوح المسيندة فانه تحدث زيادة في نسبة الكربون إضافة إلى تأثير النتروجين والذي يعمل على زيادة صلادة السطح من خلال الإذابة في الفرايت وتكوين نتريدات الحديد. أما الحالة الثالثة والمتمثلة بأجراء الطلاء بالكروم الصلد (hard chrome plating) فقد أدى أيضا إلى تقليل البلى ولكن بشكل اقل من طرق التصليد السطحي أنفة الذكر. للشكل (3) يوضح مختبر البلى لسطوح المعالجة وغير المعالجة حيث تتضح فعالية المعالجات التي أجريت في تقليل البلى إلى حد كبير عما كان عليه السطح قبل إجراء المعالجات وفي ظروف حركة تدحرج-انزلاق.



شكل(٢): العلاقة بين البلى وزمن الاختبار للسطوح غير المعالجة ولنوعين من الحركة

,

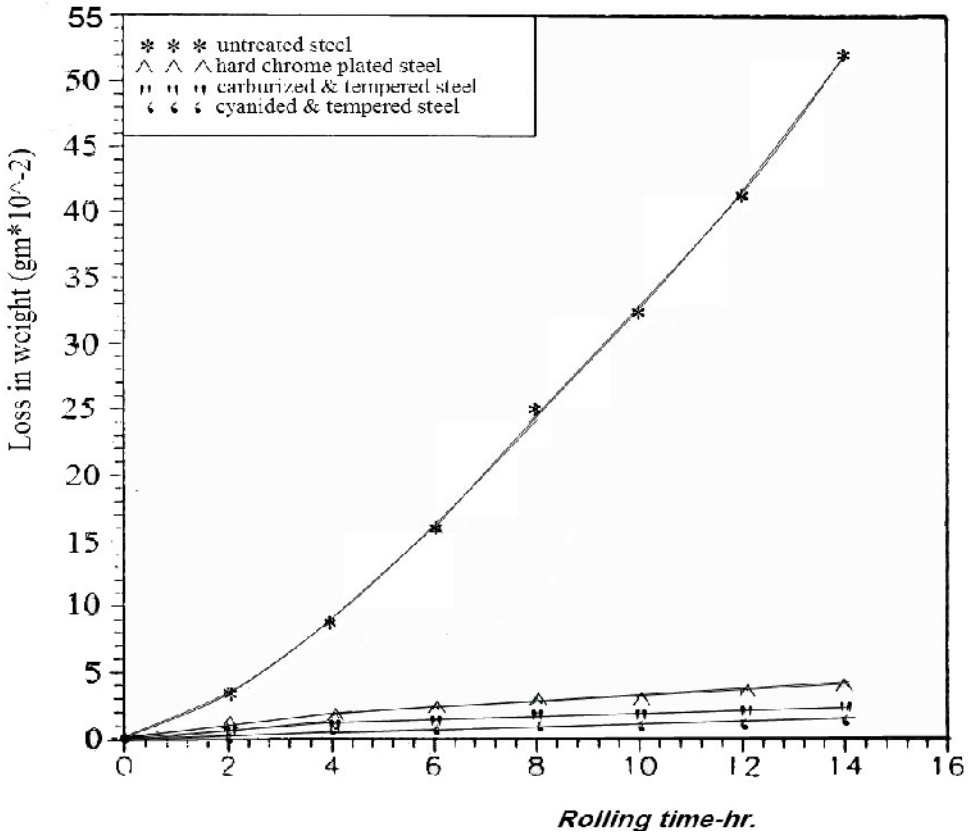


شكل(٣): العلاقة بين البلى وزمن الاختبار للسطوح المعالجة وغير المعالجة

في ظروف تدحرج-انزلاق

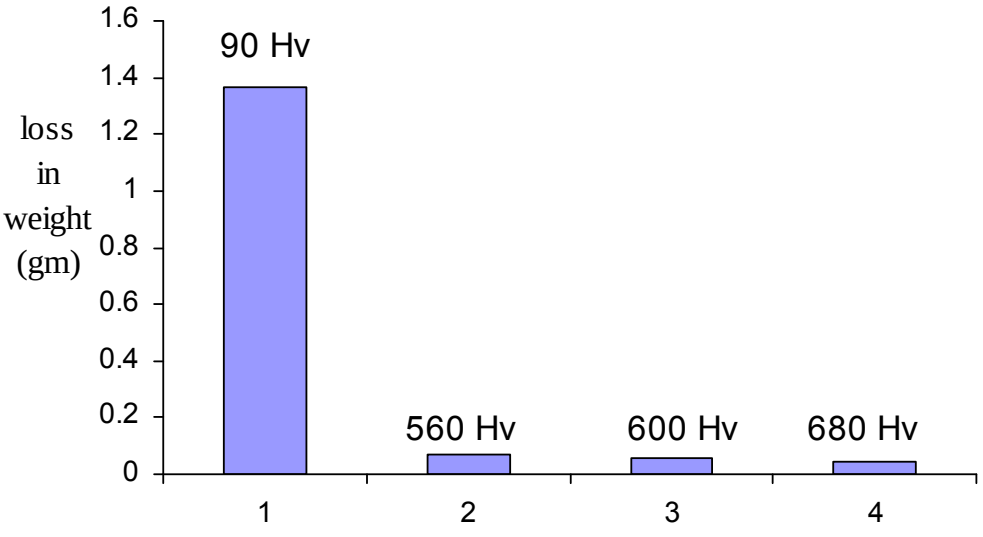
أما الشكل (4) فيوضح العلاقة بين البلى وزمن الاختبار للسطوح المعالجة وغير المعالجة ولكن في ظروف حركة تدحرج تام. وعند إجراء مقارنة في أداء السطوح المعالجة بالطرق الثلاثة تحت تأثير اختلاف نوعي الحركة (تدحرج- انزلاق، تدحرج تام) كون أن نوعي الحركة يمكن أن يحدثا في بعض الأجزاء مثل تلامس التروس [13] نلاحظ أن مقدار البلى عند وجود نسبة انزلاق إضافة للتدحرج يكون اكبر بسبب حدوث التقاء لعدد اكبر من نتوءات السطحين (asperities) وبالتالي حدوث القص للمناطق الملتحمة الدقيقة بشكل اكبر مما هو عليه في حالة الحركة التدحرجية التامة والتي تكون فيها سرعة نموذجي الفحص متماثلة.

أما لدراسة تأثير الصلادة على معدلات البلى الحاصلة للسطوح فكما هو معروف أن للصلادة علاقة وثيقة بمقاومة الخضوع ولهذا فان تعبير تصليد المعادن يعني زيادة مقاومتها للفشل الناتج عن الأحمال التي تتجاوز حد المرونة[14]. إن مقاومة البلى يمكن زيادتها بزيادة صلادة المادة وان إجراء التصليد بالطرق التقليدية يسبب عادةً نقصان في المطيلية (ductility) ومقاومة الصدمة (impact strength) ولكن عند جمع صلادة عالية للسطح ومطيلية عالية للقلب (core) فانه يتم الحصول على مقاومة للاجهادات الكبيرة وكذلك ظروف البلى الشديد وهناك تطبيقات عديدة تصلد بهذه الطريقة مثل التروس، الكامات ، حلقات المكبس[3] وكذلك المحامل الأسطوانية[6].ومن الملاحظ أن السطح الذي يمتلك أعلى صلادة أعطى اقل مقدار من البلى وأيا كان نوع الحركة وهذا يتفق مع الباحث [7] من أن حجم البلى يتناسب عكسياً مع صلادة المادة.الشكل(5) والشكل (6) يوضحان تأثير الصلادة على مقدار البلى الحاصل لكل سطح.



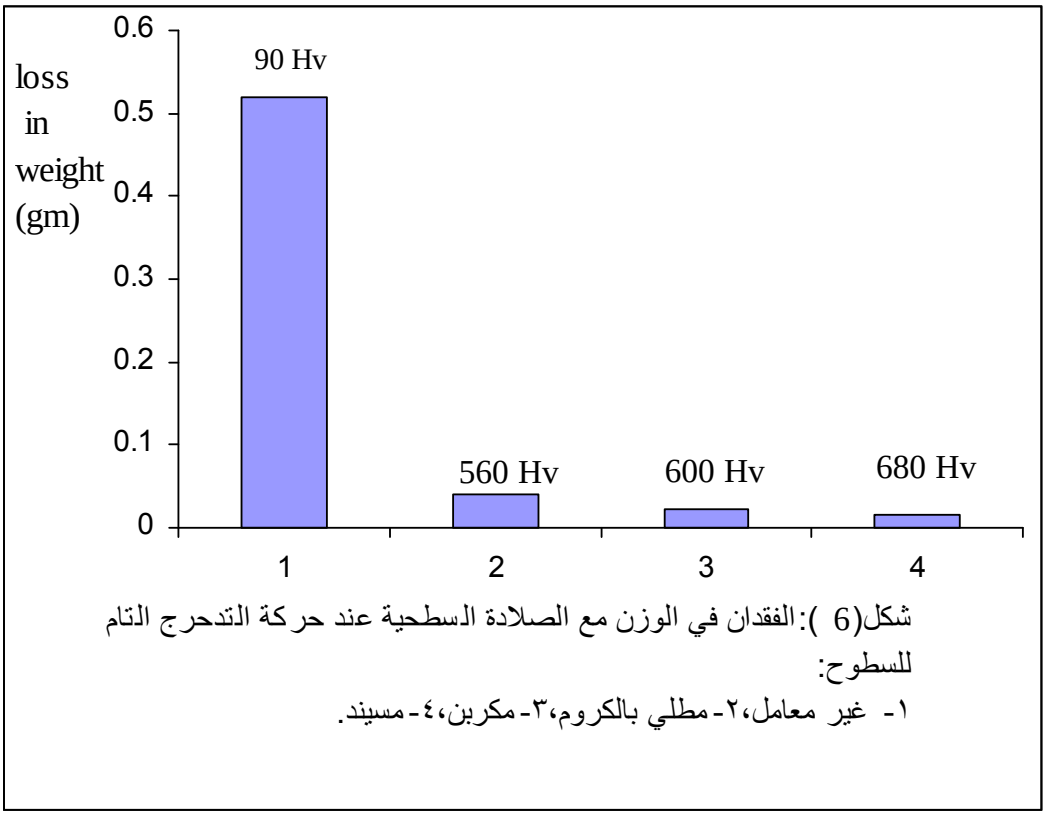
شكل(٤): العلاقة بين البلى وزمن الاختبار للسطوح المعالجة وغير المعالجة

في ظروف تدحرج تام



شكل(5): الفقدان في الوزن مع الصلادة السطحية عند حركة الانزلاق - التدحرج للسطوح:

١- غير معامل، ٢- مطلي بالكروم، ٣- مكربن، ٤- مسيند.



شكل(6):الفقدان في الوزن مع الصلادة السطحية عند حركة التدحرج التام للسطوح:

١- غير معامل،٢-مطلي بالكروم،٣-مكربن،٤-مسيند.

ألاستنتاجات: Conclusions

بالاعتماد على النتائج التي تم الحصول عليها من هذا البحث فان الاستنتاجات الرئيسية يمكن إيجازها تباعاً:

١- يزداد مقدار البلى للسطوح بصورة عامة بزيادة زمن الاختبار وفي ظروف البلى الجاف ولنوعي الحركة أي التدحرج –انزلاق والتدحرج التام.

٢- ظهور مقدار بلى كبير لسطوح الصلب المنخفض الكربون الغير معالجة ولكلا نوعي الحركة.

٣- يقل مقدار البلى الحاصل للسطوح المعالجة بالسيندة والكربنة والطلاء بالكروم الصلد نتيجة زيادة قيمة الصلادة السطحية لهم ولكلا نوعي الحركة.

٤- بالنسبة للسطوح المعالجة الثلاثة ظهر اقل مقدار للبلى السطح المصلد بالسيندة بينما السطح مطلي بالكروم أبدى اكبر مقدار من البلى.

٥- مقدار البلى لجميع السطوح المعالجة وغير المعالجة يكون اكبر عندما يكون نوع الحركة المستخدمة تدحرج_ انزلاق.

References: 1- **المصادر:**

Eyre,T.S,"Wear characteristics of metals", Tribology international,vol.9,

No.5, 1976, pp.203-210.

2-Charles Lipson," Wear consideration in design", prentice-all, Toronto, 1967,

pp.1-134.

3-Jasterzebski, D., Zbigniew,"Nature and properties of engineering materials: John Wiley & Sons, Inc, New York, 1959, pp.460-466.

4-Sarkar, A.D,"Wear of metals", Pergamon Press, Frankfurt, 1976, pp.3-14.

5- ابتهال عبد الرزاق ألنعيمي ،"آلية البِلى الالتصاقي لسبيكة البراص"،الهندسة والتكنولوجيا،المجلد ١٥،العدد ١٠،للسنة ١٩٩٦،ص ٤٨.

6-Deutschman, D., Aaron, Michels, J., Walter,"Machine Design: Theory and Practice", Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1975, PP.463-481.

7-Archard, j.f,"contact and rubbing of flat surface", journal of applied physics,

Vol.24, 1953, pp.980-988.

8- عواد الزحلف ،"طبيعة وخواص المواد"،الطبعة الثانية،الجزء الأول، AWiely Arabook ،لندن ،١٩٨٥،ص(183) .

9- حسين طه احمد،"دراسة تآكل النحاس الذهبي تحت ظروف لا انزلاق الجاف"، أطروحة دبلوم عالي،١٩٨٧،ص(1-31) .

10-Yamada Toshihiro,"Rolling wear characteristics of annealed carbon steels under dry contact conditions", Wear, Vol.51, 1978, PP.279-288.

11- سلوم احمد داؤد ، محسن جبر جويج ،"مبادئ علم الترايبولوجي"،مديرية دار الكتب للطباعة والنشر ،جامعة الموصل،١٩٨٨،ص(181-36) .

12-Sarker, A.D,"Friction and wear", Academic Press, Inc., London, 1980, PP.20-35.

13-Halling, j.,"Introduction to tribology", Taylor & Francis (printers) Ltd., London, 1976, PP.17-79.

14- شـــاكر الســـامرائي، قحطـــان الخزرجـــي،"أســـس هندســـة المعـــادن"،مطـــابع جامعـــة الموصل،١٩٨٤،ص٤٩١.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة – جامعة الموصل