Al-Khwarizmi Engineering Journal

Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 5, No. 4, PP 99-11 4 (2009)

الطلاء الكهربائي بالكروم الصلد وتحسين الخواص بالمعاملات الحرارية الكيمياوية (الكربنه الصلبة) لفولاذ منخفض الكاربون

منى خضير عباس* أمين دواي ثامر أحمد سلوم عباس**

قسم هندسة الانتاج والمعادن/الجامعة التكنولوجية

mukeab2005@yahoo.com* Email:

Email: ahmedsaloom74@yahoo.com **

(Received 21 January 2008; accepted 26 August 2009)

الخلاصة

في هذا البحث استخدمت طريقة الطلاء الكهربائي بالكروم الصلد، وهي إحدى طرائق الطلاء بتكوين غطاء على السطح، باستخدام حامض الكروميك كمصدر الكروم وكذلك حامض الكبريتيك كعامل محفز اذ أن نسبة حامض الكروميك إلى حامض الكبريتيك كانت (1:100) على التوالي. تمت عملية الطلاء بتسليط كثافة تيار مقدارها (40 Amp / dm^2) ودرجة حرارة محلول الطلاء (50 – 55)ºC ولفترات زمنية مختلفة (1 – 5 hr). استخدم الفولاذ منخفض الكاربون نوع (CK_{15}) كسبيكة أساس (Substrate) لغرض طلاءها بالكروم الصلد.

تم أجراء المعاملة الحرارية الكيمياوية (الكربنة الصلبة) للعينات المطلية بالكروم الصلد عند درجة حرارة (925ºC) ولفترة زمنية (2hr) للحصول على طبقة من كاربيدات الكروم. إذ تم تحديد الأطوار البلورية المكونة لطبقة الطلاء بعد أجراء الكربنة الصلبة والمتبوعة بالتقسية والمراجعة بجهاز حيود الأشعة السينية فقد تم الحصول على كاربيدات الكروم من نوع ($Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3). وتم قياس الصلادة الدقيقة للعينات المطلية بالكروم اذ تم الحصول عل صلادة عالية تقدر (907HV). أما بعد أجراء الكربنة الصلبة لعينات الطلاء فقد ارتفعت قيم الصلادة وبشكل ملحوظ حيث أظهرت النتائج أن أعلى صلادة كانت لطبقة طلاء الكروم على سطح الفولاذ منخفض الكاربون كانت (1276HV) ويعزى سبب ارتفاع قيم الصلادة إلى وجود كاربيدات الكروم ضمن طبقة الطلاء.

استخدم جهاز البلى نوع المسمار – القرص (Pin on Disc) لدراسة خواص البلى الانزلاقي الجاف لعينات الفولاذ منخفض الكاربون (كما استلمت) والعينات المطلية بالكروم الصلد والمكربنة كربنة صلبة. ولقد تم دراسة تأثير الحمل المسلط على معدل البلى بطريقة الفقدان بالوزن باستخدام أحمال عمودية مختلفة هي N (5 , 10 , 15 , 20 , 25) وسرعة انزلاقية (Sliding speed) (2.198 m / sec). وقد أظهرت النتائج ان معدل البلى يزداد مع زيادة الحمل المسلط للعينات المطلية بالكروم، وأن أعلى مقاومة للبلى تم الحصول عليها بعد أجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم حيث لوحظ التحسن الكبير في مقاومة البلى وبما يعادل (94%) مقارنة بالفولاذ منخفض الكاربون بحالته المستلمه.

الكلمات المفتاحية: Chromium electroplating, carbon steel, solid carburizing , wear

١. المقدمة

تتعرض العديد من من الأجزاء الهندسية لمعدلات تشغيل عالية مما يولد معدل بلى كبير لهذه الاجزاء ويسبب مشاكل كبيرة في المجال الصناعي . ولتحسين مقاومة البلى (Wear Resistance) لهذه الاجزاء استخدمت العديد من التقنيات التي من الممكن اجرائها بطرائق ميكانيكية مثل طريقة القذف بالكرات (Shot peening) ، او طرائق حرارية كالتصليد بالحث (Induction Hardening) [2,1]. كذلك تستخدم تقنية الطلاء بتكوين غطاء على السطح (Overlay coating) التي تودي إلى احداث تغير في التركيب الكيميائي للسطح اذ يعد الطلاء الكهربائي بالكروم الصلد (Hard chromium electroplating) من الطرائق الشائعة الاستخدام في هذه التقنية لانه يستخدم لزيادة مقاومة البلى والحك (Abrasion) وكذلك التاكل(Corrosion) وتحسين أداء (Performance) العدد ،وكذلك يستخدم في اصلاح (Reclamation) الأجزاء المتضررة [4,3,1] . كما ان استخدام المعاملات الحرارية الكيميائية (Thermo chemical Treatments) تؤدي االى حدوث تغير بالتركيب الكيميائي للسطح باضافات معينة بالانتشار وان هذه الاضافات يمكن ان تكون معدنية (Metallic) مثل الكرمنة (Chromizing) والالمنة (Aluminizing) أو غير معدنية (Non- metallic) مثل النتردة (Nitriding) والكربنة (carburizing) والبوردة (Boriding).

أن تطبيق المعاملات الحرارية الكيميائية يؤدي إلى الحصول على خاصيتين في آن واحد هي الصلادة العالية للسطح مع الاحتفاظ بمتانة القلب (Core) مما يؤدي إلى تحسين مقاومة البلى وكذلك القابلية على تحمل الاجهادات العالية[6,5]. وبصورة عامة فأن استخدام المعاملات السطحية (Surface treatments) والطلاء بتكوين غطاء على السطح يؤدي إلى زيادة في عمر الأجزاء الهندسية بتقليل ظاهرتي البلى والتآكل [7,3].

ونظرا للأهمية البالغة لهذا الموضوع فقد جاءت هذه الدراسة كجزء من الحلقات البحثية التي تخص تحسين مقاومة البلى للفولاذ منخفض الكاربون وخاصة في التطبيقات الهندسية كالقوالب والمضخات ومعدات التشكيل على الحاروغيرها.

٢. الجزء العملي

تصنيع العينات

تم تصنيع عينات اسطوانية الشكل لغرض طلائها بالكروم الصلد وأجراء اختبار البلى وكانت أبعاد العينة (20) ملم والقطر(10) ملم. وتم أجراء المعاملة الحرارية(المراجعة) في 160 مº لمدة (1) ساعة لإزالة الاجهادات الداخلية. ثم أجريت عملية التنعيم الرطب بالماء للعينات باستخدام ورق كاربيد السليكون بدرجات مختلفة (320، 500 و1000) ثم تم غسلها بالماء والكحول وتجفيفها.

تنظيف العينات قبل عملية الطلاء

تم استخدام عملية التنظيف الكيمياوي وذلك للحصول على سطح نظيف وتهيئة سطح العينة لعملية الطلاء وقد أجريت هذه العملية على مراحل:-

1- تنظيف قاعدي حيث يتم تغطيس العينات في حوض حاوي على محلول قاعدي حار هو هيدروكسيد الصوديوم(NaOH). وتحتاج هذه الطريقة إلى تحريك للعينات المغمورة في الحوض ليتم ازالة الدهون والزيوت وذلك بتكوين صوابين ذائبة بالماء.

2 - يتم غسل العينات في حوض آخر حاو على الماء.

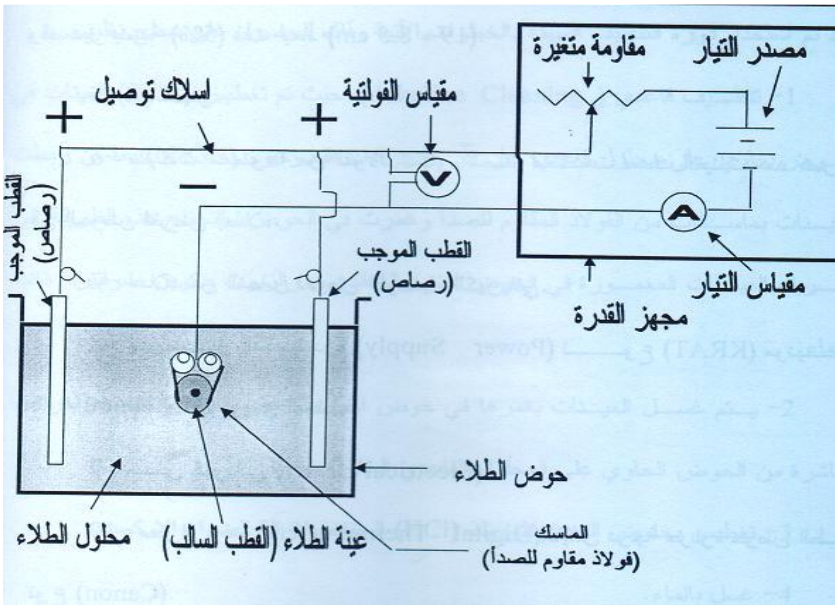
3 - تنظيف حامضي حيث يتم تغطيس العينات في حامض الهيدروكلوريك(HCl) المخفف لإزالة الصدأ والاوكسيد.

4 - غسل العينات بالماء.

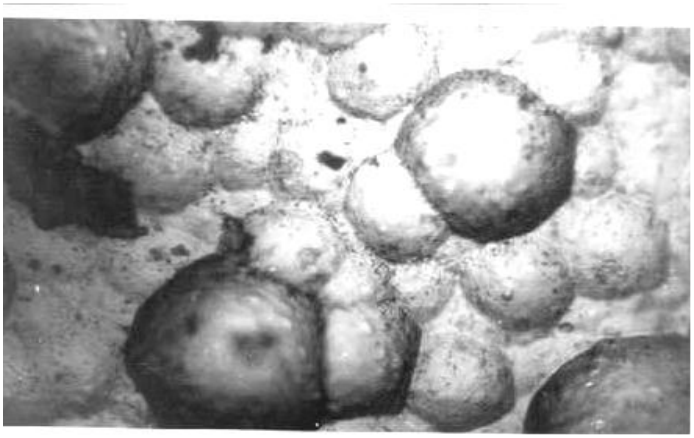
طلاء العينات بالكروم الصلد كهربائيا

تم تحضير حوض الطلاء المصنوع من مادة ثرموبلاستكية تسمى PTFE وتعرف تجاريا بالتفلون(Teflon) وبإبعاد (10*15*29) سم. وتم غسل حوض الطلاء بالماء أولا بشكل جيد بعدها تم إضافة قشور من اوكسيد الكروم (CrO_3) إلى الماء ومزجها جيد بالمازج الكهربائي وبنسبة 250 (غم/لتر)من الماء المقطر. وأضيف للمحلول أيضا حامض الكبريتيك (H_2SO_4) كعامل محفز لعملية الطلاء وبنسبة 1% أي (2.5 غم /لتر) من حامض الكبريتيك . ويملىء الحوض بمحلول الطلاء إلى مستوى ثلاثة أرباع ارتفاع الحوض وباستخدام المسخن الكهربائي وصولا الى الدرجة المطلوبة (50-55) مº لمدة ربع ساعة تقريبا. ثم تربط العينة باستخدام الماسكات بالقطب السالب بينما تربط الأقطاب الرصاصية بالقطب الموجب . وبعدها غمرت العينات في المحلول ليمرر التيار المطلوب للحصول على طلاء الكروم الصلد. وتتم مراقبة كثافة التيار وصولا إلى نوع من الاستقرارية وذلك للحصول على طلاء جيد بينما تتم مراقبة درجة حرارة محلول الطلاء باستخدام المحرار لكي يتم الحفاظ على درجة الحرارة ضمن المدى المطلوب. كذلك تم قياس الفولتية باستخدام مقياس الفولتية (Voltmeter) أثناء الطلاء (v 5.44). .وقد تم طلاء العينات بفترات زمنية مختلفة (1-5)ساعة وحسب السمك المطلوب . والشكل (1) يوضح خلية الطلاء الكهربائي المستخدمة في البحث.

والشكلان(2) و(3) يوضحان التصوير بالمجهر الضوئي وبالمجهر الالكتروني الماسح لطبقة الطلاء بالكروم الصلد للفولاذ منخفض الكاربون على التعاقب.



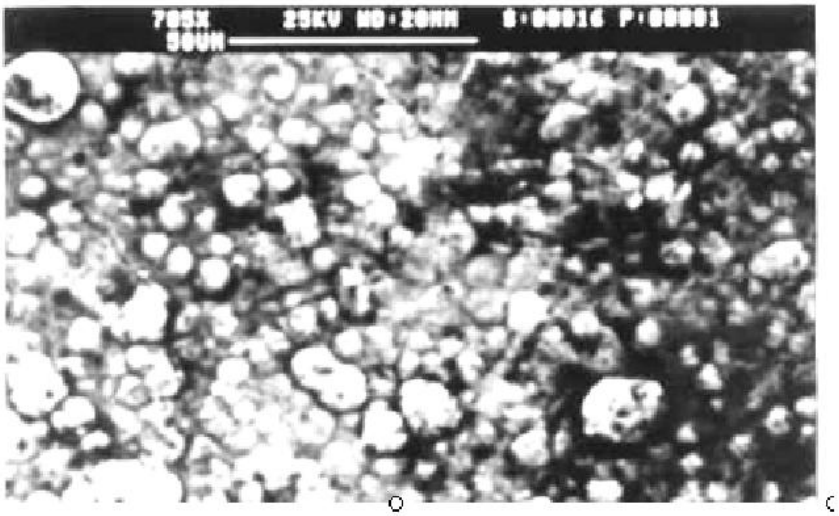
شكل_1_ رسم تخطيطي يوضح خلية الطلاء الكهربائي المستخدمة في البحث



X252

شكل_2_ صورة مجهرية لسطح الطلاء بالكروم الصلد للفولاذ منخفض الكاربون نوع (CK_{15}) (بعد 5 ساعة من عملية الطلاء الكهربائي)

A – بعد 1 ساعة 636X



B- بعد 2 ساعة 705X

شكل_3_ الصور المجهرية المأخوذة بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لسطح الطلاء بالكروم الصلد للفولاذ منخفض الكاربون نوع (CK_{15})

المعاملات الحرارية الكيميائية (الكربنة الصلبة)

أجريت عملية الكربنة الصلبة لعينات الفولاذ منخفض الكاربون المطلي بالكروم الصلد، حيث وضعت العينات في صندوق من الفولاذ المقاوم للصدأ(صندوق الكربنة) ثم احكم غلقه بالطين الحراري بعد ملئه بخليط الكربنة. حيث يتكون الخليط من الفحم النباتي (Charcoal) بنسبة (70%)ومسحوق فحم الكوك(Coke powder) بنسبة (5%) أضافة الى كاربونات الصوديوم ($NaCO_3$) بنسبة (25%) لتجهيز الاوكسجين اللازم لتكوين أول أوكسيد (CO) الذي يولد الكاربون الذري (Atomic carbon)عند تحلله على سطح العينات. تم وضع الصندوق في فرن المقاومة الكهربائية بدرجة حرارة (925 م°) لفترة زمنيه 2 ساعة.

المعاملات الحرارية بعد الكربنة

أجريت عملية تقسية مزدوجة على العينات المطلية بالكروم الصلد والمكربنة (كربنة صلبة) حيث تم التسخين في المرحلة الاولى الى درجة حرارة (880) م° لمدة ربع ساعة بعدها بردت العينات بالماء وذلك لتحسين البنية المجهرية للقلب (Core) الذي تعرض الى افراط في التسخين اثناء عملية الكربنة. لذا تجري عملية تقسية ثانية لظهور الكاربيدات والتي تتم بتسخين الفولاذ الى درجة حرارة (780) م° لمدة ربع ساعة ثم التبريد بالماء. أجريت عملية مراجعة في درجة حرارة (200) م° لمدة ساعة ثم التبريد بالهواء لازالة الاجهادات الداخلية التي تتكون من جراء عملية التقسية.

المواد المستخدمة

تم استخدام فولاذ منخفض الكاربون نوع(Ck_{15}) وحسب المواصفة الالمانيه (DIN17210) لاستخدامه في التطبيقات الصناعية التي تحتاج الى سطح صلد مقاوم للبلى مع الاحتفاظ بقلب طري مقاوم للصدمات. والفولاذ عبارة عن قضبان اسطوانية قطرها (19) ملم وبطول (6) متر . تم اجراء الفحص التركيب الكيمياوي باستخدام جهاز التحليل الطيفي نوع(Spectrometer) ARL, Analysis. والجدول (1) يبين نتائج التحليل الكيميائي للفولاذ منخفض الكاربون نوع(Ck_{15}).

جدول 1،
نتائج التحليل الكيمياوي للفولاذ منخفض الكاربون نوع (Ck15)

العنصر wt%	C%	Si%	*Mn %*	P%	S%
القيمة القياسية	0.12 – 0.18	0.4	0.3 – 0.6	0.035	0.035
القيمة الفعلية	0.14	0.4	0.38	0.02	0.03

٣. الفحوصات والاختبارات
حساب مسامية الطلاء

يمكن حساب مسامية الطلاء من خلال حساب المساحة الجزئيه (Area fraction) التي تشغلها المسامات المتولدة نتيجة لعملية الطلاء. حيث تم اعتبار المسامات كروية الشكل تقريبا من خلال العلاقة التالية [8]:-

المساحة الجزئية للمسامات = مس = مساحة المسامات / المساحة الكلية

$$\text{مس} = \frac{\pi \sum Niri^2}{S} \quad \ldots (1)$$

حيث ان :-
ri : نصف قطر المسامة
Ni: عدد المسامات
S : المساحة الكلية

فحص الخشونة (Roughness Inspection)

تم قياس الخشونة السطحية للعينات بعد أجراء التنعيم (Grinding)لها وقبل الطلاء وكذلك للعينات بعد الطلاء ، ومقارنة ذلك بعد أجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية باستخدام جهاز قياس الخشونة نوع (Perthometer –SGP) دقته (0.001 µm). والجدول (2) يبين قيم الخشونة السطحية للعينات المفحوصة.

جدول 2،
يبين الخشونة السطحية للعينات المفحوصة

Specimen	Ra(µm) (average)	Rt (µm) (max)
Ck_{15} As received	0.08	1.53
CK_{15} As deposited	0.09	1.75

CK_{15} Hard (Cr) + Carburized	0.16	1.88

حساب سمك الطلاء Plating Thickness Calculation

أخذت مقاطع عرضية من العينات المطلية بعد قطعها باستخدام ماكنة القطع نوع (Wire Cutter Machine). وتم تنعيمها باستخدام اوراق تنعيم بدرجات مختلفة (120, 320, 500,1000) على التوالي. بعد ذلك صقلت (Polished) العينات باستخدام قماش صقل خاص مع أستعمال معجون الماس وبحجم حبيبي (1.5) مايكرون بعدها غسلت العينات بالماء والكحول وجففت. ثم أجريت عملية الاظهار (Etching) باستخدام محلول الاظهار النيتال (Nital) المكون من (2%) حامض النتريك مع (98%) كحول مثيلي. ثم تم فحص المقطع العرضي للعينات المطلية بالمجهر الضوئي نوع (Carlzeiss Jena) لحساب سمك الطلاء. وتم استخدام عدسة خاصة تحتوي على مقياس أو تدريج (Scale) مع ترتيبه مايكرومتر خارجية. حيث يتم وضع أو أنطباق المقياس على طبقة الطلاء المراد قياسها ثم ضبط المقياس من الميكرومتر وأخذ القراءة من التدريج الداخلي للعدسة. وكانت نتائج قياس سمك طبقة الطلاء الكروم الصلد على سطح الفولاذ المكربن عند كثافة تيار (40 Amp / dm^2)، ودرجة حرارة محلول الطلاء (50 - 55) م°. والجدول (3) يوضح الزيادة الناتجة في سمك طبقة طلاء الكروم الصلد مع الفترة الزمنية للطلاء.

جدول 3،
يوضح تغير سمك الطلاء للعينات مع الفترة الزمنية للطلاء

زمن الطلاء (hr)	سمك الطلاء (μm)
1	25
2	50
3	70
4	105
5	150

اختبار الصلادة المجهرية الدقيقة Micro Hardness

تم قياس الصلادة المجهرية للعينات المطلية بالكروم (AS deposited) والعينات المطلية بالكروم التي تم كربنتها باستخدام جهاز قياس الصلادة فيكرز (Vicker's) بعد اجراء عملية تحضيرية على العينات من تنعيم وصقل. وان الحمل المستخدم كان ثابتا لكل العينات وهو (160) غرام. واظهرت طبقة طلاء الكروم الصلد صلادة تتروح بين (872-905HV) . أما بعد اجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم فقد كانت (1276HV).

اختبار البلى Wear Test

تم استخدام جهاز البلى الانزلاقي الجاف من نوع المسمار على القرص (Pin – on -Disc) لتنفيذ اختبار البلى وعند ظروف مختلفة. وقد تم أختيار دراسة تأثير الحمل المسلط على عينات البحث وكانت ظروف الاختبار كالاتي :-

1- الاحمال المستخدمة N(25,20,15,10,5)
2- زمن الاختبار هو (30 min)
3- صلادة القرص المواجه (counter face) 67HRc
4- بعد العينة عن مركز الدوران (5cm)
5-السرعة الدورانية للقرص (510 r.p.m)

تم حساب معدلات البلى باستخدام الطريقة الوزنية (The Weighting Method) التي تضمنت حساب الفقدان بالوزن . وذلك بوزن العينة قبل الاختبار وبعده بميزان حساس رقمي ذي حساسية (0.0001 غم) من نوع (Mettler AE200) . ونتيجة التغير في الوزن المفقود على مسافة الانزلاق يمكن حساب معدل البلى وتحديده بـ غم / سم وكما موضح في المعادلة الآتية [9] :

$$\text{Wear Rate} = \frac{\Delta W}{2\pi r Nt} \quad \ldots(2)$$

$$\Delta W = W1 - W2 \quad \ldots(3)$$

حيث تمثل:-

ΔW : الفرق بالوزن للعينة قبل الاختبار وبعد الاختبار ، غم
W1 : وزن العينة قبل الاختبار ، غم
W2: وزن العينة بعد الاختبار، غم
r : نصف القطر من مركز العينة إلى مركز القرص، سم
N : عدد دورات القرص ، دورة / بالدقيقة
t: زمن الاختبار ، دقيقة

الفحص والتصوير بالمجهر الضوئي والمجهر الالكتروني الماسح (SEM)

استخدم المجهر الضوئي نوع (MeF_2) وهومجهر الابحاث العام (Universal Research Microscope) لغرض فحص العينات المطلية بالكروم وبدون أي عملية تحضيرية (As deposited). اما العينات المطلية بالكروم التي اجريت لها عملية الكربنة الصلبة فقد تم تحضيرها للفحص المجهري باجراء عمليات تحضيرية من تنعيم وصقل واظهار. وتم بعد اجراء اختبار البلى دراسة وفحص السطح المتضرر نتيجة لهذا الاختبار وبدون اجراء أي عمليات تحضيرية للعينات. كما تم استخدام المجهر الالكتروني الماسح
(Cambridge SEM) نوع (S.240) لدراسة طبوغرافية أسطح البلى وملاحظة الأثار الناتجة عن أختبار البلى.

التحليل بحيود الاشعة السينية Ray Diffraction X- Analysis

أجري التحليل بحيود الاشعة السينية (XRD) لبعض العينات المطلية بالكروم بعد اجراء عملية الكربنة الصلبة لها لمعرفة المركبات والاطوار الناتجة بعد الكربنة الصلبة لطبقة الطلاء ، وذلك باستخدام جهاز الفحص بحيود الاشعة السينية التابع الى الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين نوع

(Philips P / N 1840) وباستخدام هدف نحاسي بطول موجي (Cuk α= 1.54 Aº).

٤. النتائج والمناقشة

نتائج العينات المطلية بعد اجراء عملية الكربنة

تم اجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم الصلد وذلك للحصول على طبقة سطحية مصلدة من كاربيدات الكروم (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) كما اثبتته نتائج الفحص بحيود الاشعة السينية كما مبين في الشكل(12). ومن المعروف ان الطلاء الكهربائي بالكروم الصلد يولد اجهادات شدية (Tensile stresses) على السطح تقلل من الخواص الميكانيكية لطبقة طلاء الكروم. لذا فأن اجراء الكربنة الصلبة لطبقة طلاء الكروم سوف يولد اجهادات ضغطية متبقية(Residual compression stresses) سوف تؤدي الى تحسن في خواص طبقة الطلاء [11].

الصلادة المجهرية الدقيقة

أظهرت طبقة الطلاء بالكروم الصلد قيمة للصلادة عند السطح تتراوح بين (872HV- 907). وقد وصلت الصلادة الى (HV 1276) بعد اجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم. وكان سمك طبقة الطلاء (150) مايكرون بعد اجراء الطلاء لمدة (5) ساعة. حيث يختلف سمك طبقة الطلاء بالكروم الصلد حسب التطبيق الهندسي ويتراوح سمك الطلاء بالكروم الصلد بين (2.5-500) مايكرون [11]. وقد تصل صلادة طبقة الطلاء بالكروم الى أكثر من (1000 HV) . وللحصول على الصلادة المطلوبة يجب التنسيق بين درجة الحرارة وكثافة التيار [2] . ان نتائج سمك الطلاء والتي تم الحصول عليها بتغيير زمن الطلاء وتثبيت كثافة التيار تتفق مع نتائج الباحث (Iwai) [12] من خلال استخدامه لظروف طلاء مماثلة لظروف طلاء البحث الحالي. والشكل (4) يوضح التغير في سمك الطلاء بالكروم الصلد على سطح الفولاذ منخفض الكربون مع الفترة الزمنيه للطلاء.

التركيب المجهري بعد الكربنة الصلبة والمعاملات الحرارية اللاحقة

ان اجراء الكربنة للفولاذ منخفض الكاربون يؤدي الى الحصول على تركيب مجهري مكون من طور المارتنسايت الدقيق (Martensite) مع وجود شبكة كاربيدية من السمنتايت تختفي عند التوغل الى داخل العينة مما يدل ان الطبقة السطحية قد تشبعت بالكاربون ولعمق معين جراء عملية الكربنة [13,5].. ان تحرير عنصر الكاربون بالحالة الذرية من الوسط المكربن ومن ثم تلامس ذرات الكاربون على سطح الفولاذ المطلي بالكروم الصلد. ثم يتم تغلغل ذرات الكاربون داخل طبقة الطلاء واتحادها مع الكروم لتكوين كاربيدات الكروم بالعمليات الانتشارية والتي ادت الى زيادة سمك الطبقة المصلدة. ومن خلال ملاحظة الشكل (5) الذي يوضح التركيب المجهري للعينات الطلاء بعد الكربنة وتكوين كاربيدات الكروم من نوع (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) والتي تعد من الكاربيدات الضخمة (Massive Carbides). كذلك يلاحظ وجود الشقوق (Cracks) في البنية المجهرية لطبقة طلاء الكروم نتيجة لعملية الكربنة الصلبة.

مسامية الطلاء Plating Porosity

تعد المسامية احدى عيوب الطلاء لأنها تعمل على تقليل مقاومة التآكل علاوة على انها تقلل من الخواص الميكانيكية الاخرى كمقاومة الكلال للجزء المطلي بالكروم. وتتكون المسامات (Pores) نتيجة لعيوب موضعية (Localized defects) تتشكل في مرحلة سابقة قبل الطلاء والتي تتضمن [1]:-

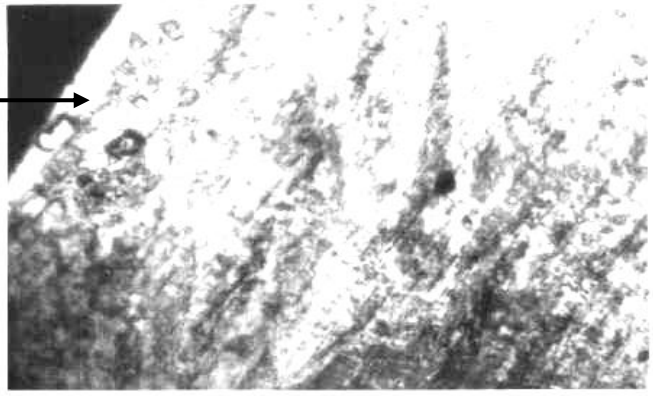
1- شوائب السطح (Surface Inclusion) في السبيكة الأساس.
2- عيوب السطح والتي تتضمن الاخاديد (Crevices) والشقوق (Cracks) والنقر (Pits) والخدوش (Scratches).

وتنسب هذه العيوب الانفة الذكر الى عمليات التنظيف والتغطيس (Pickling)، وعمليات التشكيل على البارد كالدرفلة (Rolling). كما تساهم قدرة عملية الطلاء في تغطيتها للسطح (Cover Surface) في التأثير على المسامية. وبالرغم من مساوئ المسامية الا ان التركيب المسامي (Porous Structure) من الممكن ان يكون ذو فائدة وذلك في تطبيقات البلى والتي تتطلب تزييت (Lubrication) وخاصة في اسطوانات المحركات. ان التركيب المسامي لطبقة الطلاء يسهم في زيادة قابلية الترطيب (Wettabillity) اذ تحتفظ طبقة الطلاء بالمزيت بعد اجراء التزييت الأولي (Initial Lubrication) [2].

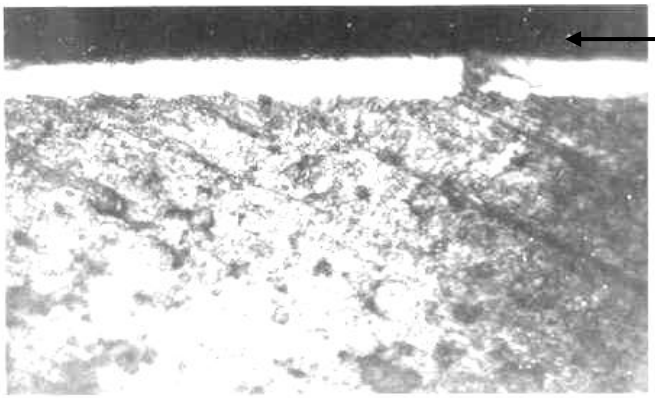
ويلاحظ من الشكل (6) والذي يوضح التغير في المسامية الجزئية للمسامات مع سمك طبقة الطلاء بالكروم الصلد. اذ يلاحظ ان المساحة الجزئية للمسامات تزداد بزيادة سمك الطلاء حيث بلغت النسبة المئوية للمسامات(6.5 %)،عند سمك طلاء (150) مايكرون للفولاذ منخفض الكاربون نوع(Ck_{15}).

الصلادة المجهرية الدقيقة

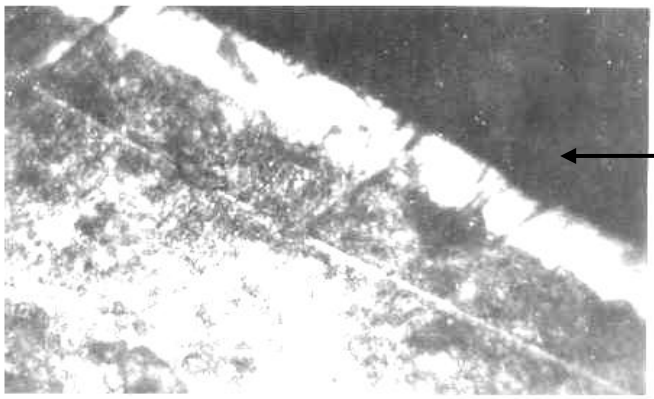
يلاحظ من الشكل (7) بأن قيمة الصلادة عند السطح كانت (1276 HV) للفولاذ منخفض الكاربون بعد اجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم. بينما كانت قيم الصلادة الدقيقة (701 HV) للفولاذ منخفض الكاربون بعد اجراء الكربنة الصلبة والمتبوعة بالتقسية والمراجعة. ويعزى هذا الارتفاع في قيم الصلادة الى تكوين كاربيدات الكروم وكذلك كاربيد الحديد (Fe_3C) في ارضية مارتنسايتية [6]. ويلاحظ الزيادة الحاصلة في عمق الطبق المصلدة (Case depth) ، اذ بلغت (0.6)ملم للفولاذ منخفض الكاربون بعد اجراء الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم الصلد، بينما بلغت (0.5) مايكرون عند اجراء الكربنة فقط للفولاذ منخفض الكاربون. وهذا يعود الى ارتفاع نسبة الكاربون وبالتالي زيادة العمليات الانتشارية وتكوين كاربيدات الكروم. وهذه النتائج تتفق مع ما قام به الباحث (Cameron) [14] ،اذ اشار الى ان اضافة عناصر السبك في عملية الكربنة تؤدي الى تكوين كاربيدات معقدة مثل كاربيدات الكروم.



A - بعد 1 ساعة X 252

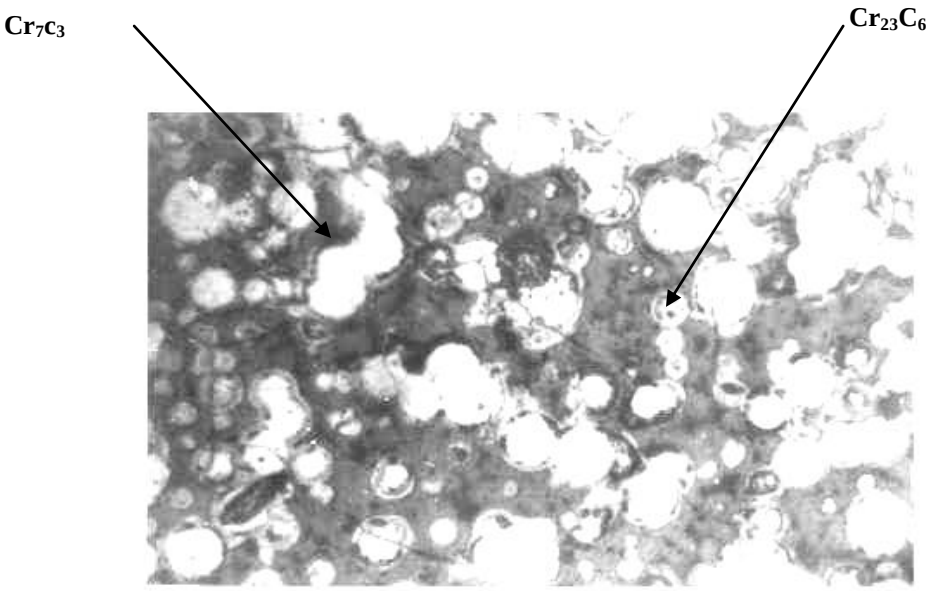


B - بعد 2 ساعة X 252

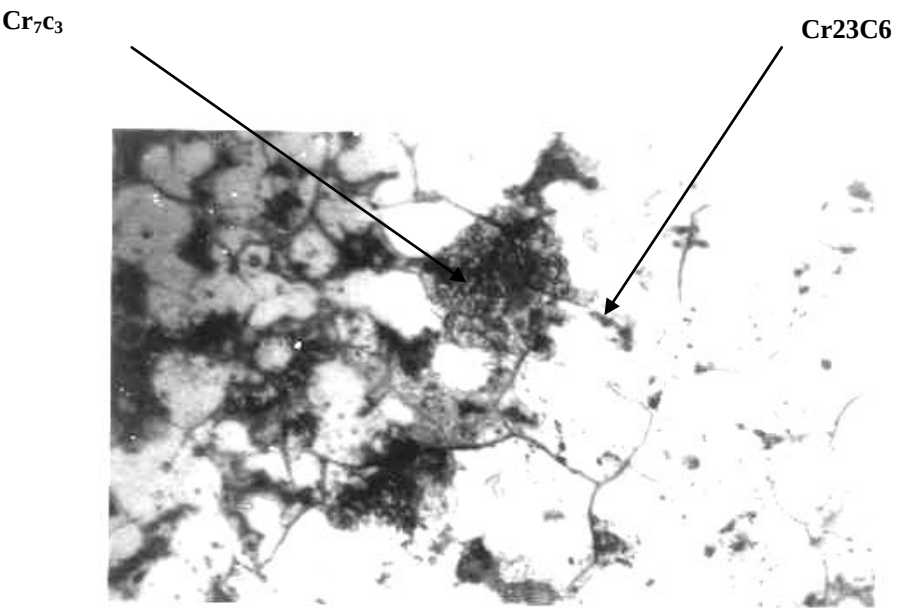


C - بعد 3 ساعة X 252

شكل_4_ الصور المجهرية التي توضح التغير في سمك طبقة طلاء الكروم الصلد على سطح الفولاذ منخفض الكاربون نوع (CK_1)

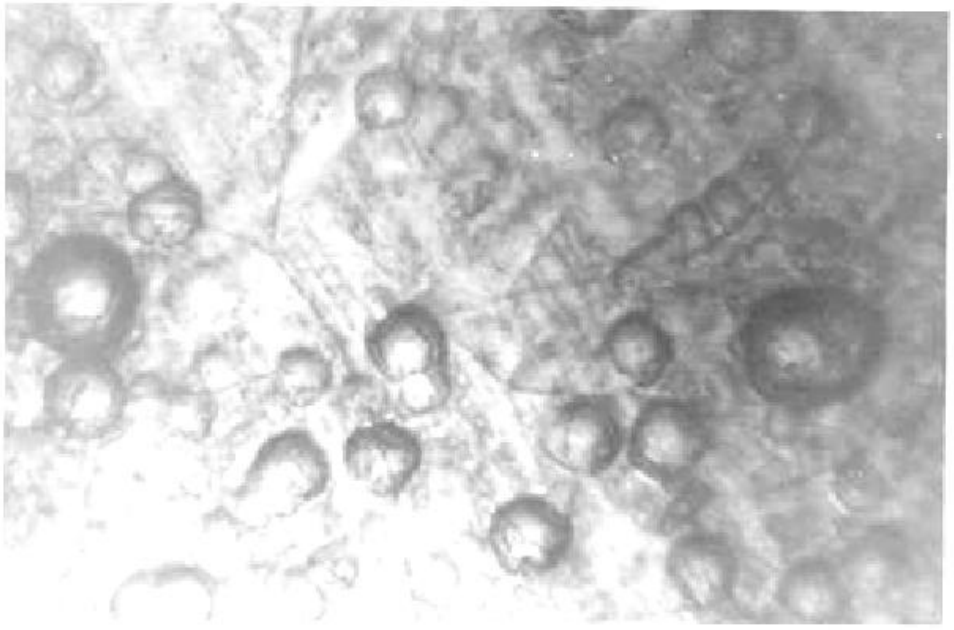


X 160 - A

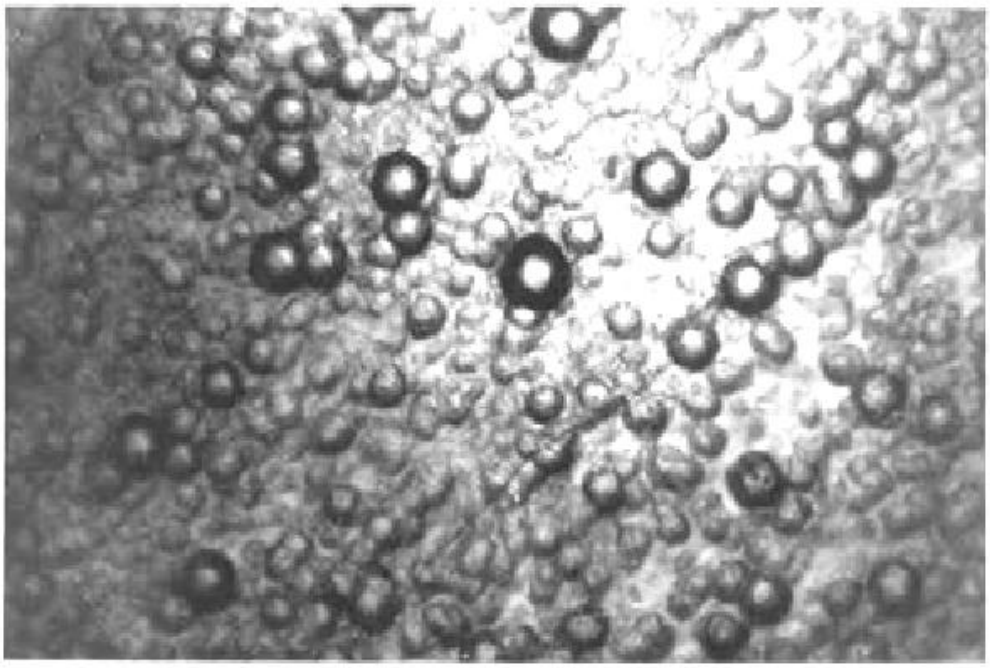


X 160 - B

شكل_5_ صور البنية المجهرية لعينة مطلية بالكروم بعد أجراء الكربنة الصلبة للفولاذ منخفض الكاربون (Ck_{15})، A - سمك الطلاء (25µm) B - سمك الطلاء (50 µm)

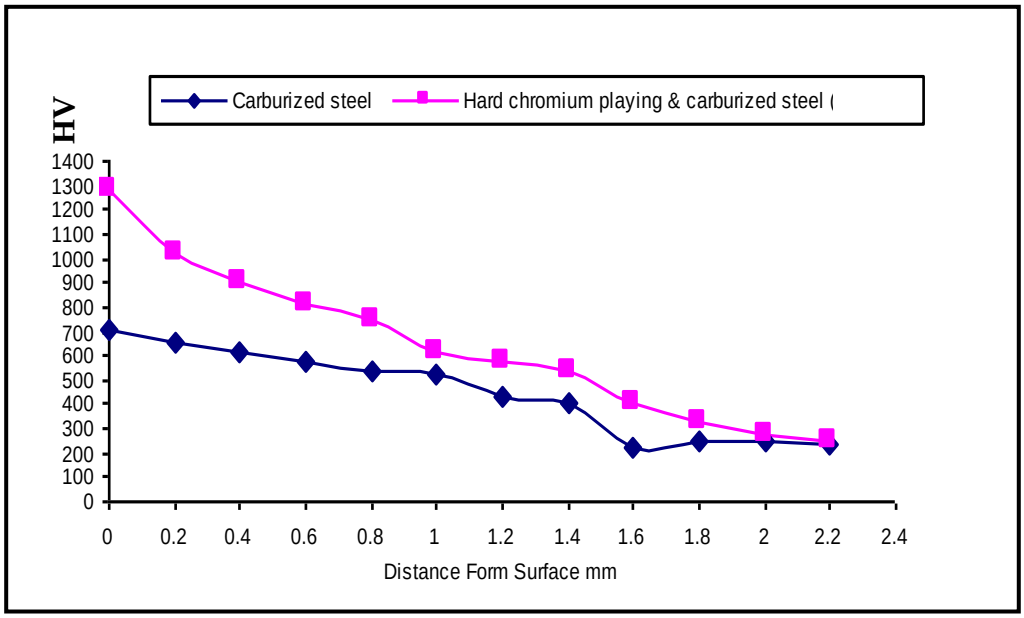


A - بعد 1 ساعة X 400

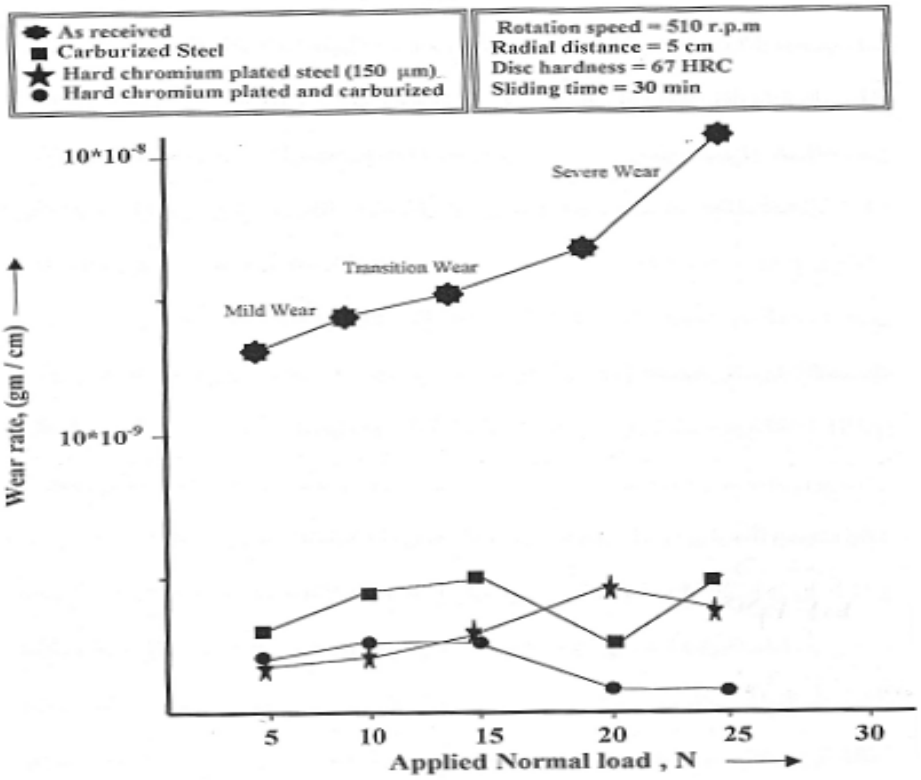


B - بعد 5 ساعة X 400

شكل_6_ الصور المجهرية التي توضح زيادة المساحة الجزئية للمسامات مع زيادة زمن الطلاء بالكروم الصلد على سطح الفولاذ منخفض الكاربون نوع (CK_{15})



شكل_7_ نتائج الصلادة المجهرية للفولاذ منخفض الكاربون نوع CK_{15} المطلي بالكروم (لمدة 5 ساعة) ثم تمت كربنته



شكل_8_ تأثير الحمل العمودي المسلط على معدل البلى الأنزلاقي الجاف للفولاذ منخفض الكاربون نوع CK_{15} المطلي بالكروم (لمدة 5 ساعة) ثم تمت كربنته

دراسة نتائج أجراء اختبار البلى الانزلاقي الجاف

4.6.1 دراسة تاثير الحمل العمودي المسلط على معدل البلى

تم دراسة تأثير الحمل العمودي المسلط على معدل البلى لعينات الفولاذ كما استلمت وبعد طلائها بالكروم الصلد وكذلك بعد اجراء الكربنة الصلبة بدرجة حرارة (925) م° لفترة زمنيه (2)ساعة لعينات الطلاء باستخدام سرعة انزلاقية (Sliding Speed) مقدارها (2.198 m / sec). وتم استخدام خمسة احمال في هذا البحث هي (25,20,15,10,5 N) لبيان تأثيرها على معدل البلى مع بقاء المتغيرات الأخرى ثابتة. ويلاحظ من خلال الشكل (8) بأن معدل البلى لعينة الفولاذ منخفض الكاربون بحالتها المستلمة يزداد مع زيادة الحمل المسلط والسبب انه بزيادة الحمل المسلط يزداد التشويه اللدن (Plastic Deformation) الحاصل لقمم النتوءات السطحية للعينة مما يؤدي الى زيادة مساحة التلامس الحقيقية بين السطحين المنزلقين [15]. اذ ان عملية التصاق النتوءات لسطحي التلامس تعتمد أعتماداً كبيراً على مقدار الحمل المسلط، فعندما يكون الحمل المسلط قليلاً فأن الاتصال يحصل فقط عند اعلى قمم النتوءات السطحية. لذلك سوف يكون ضعيفاً لأنه اثناء عملية الانزلاق تتكون طبقة رقيقة من الاوكسيد تعمل بمثابة غشاء سطحي واق (Protective Surface Film) يغطي اسطح الانزلاق مما يؤدي الى قلة حصول التلامس ما بين السطحين المنزلقين ومنع حصول الاتصال المعدني المباشر ما بين نتوءاتهما السطحية. وبهذا سوف تكون القوة اللازمة لقص وفصل الترابط الحاصل ما بين نتوءات السطحين اقل من قوة ترابط ذرات المعدن نفسه وبالتالي ينتج عن ذلك انخفاض معدل البلى [16]. اما عند زيادة الحمل المسلط فيحدث تكسر لغشاء الاوكسيد وذلك بسبب هشاشيتها اذ انه يقذف خارج السطوح الانزلاقية المحتكة لكل من العينة والقرص اثناء عملية الانزلاق مما يؤدي حصول اتصال معدني (Metallic Junction) قوي فيما بينها يجعل القوة اللازمة لقص نتواءتهما المتصلة اعلى من قوة ترابط ذرات معدن العينة نفسها، مما يؤدي ذلك الى خلع وفصل دقائق معدنية من سطح العينة مؤدياً بالنتيجة الى زيادة معدل البلى.

ويتضح من الشكل (8) حصول البلى الاوكسيدي عند الاحمال القليلة والتحول من آلية البلى الطري (Mild Wear) الى البلى الشديد (Severe Wear). وتتفق هذا الزيادة في معدل البلى للفولاذ منخفض الكاربون مع ما اشار اليه الباحث (Eyre) [17] من ان زيادة الحمل المسلط تؤدي الى ازدياد معدل البلى.

ويتضح من الشكل (8) التحسن الواضح في مقاومة البلى للفولاذ منخفض الكاربون عند اجراء الكربنة وبدرجة حرارة (925) م° ولمدة (2) ساعة وطلائه بالكروم الصلد كهربائياً وكذلك عند اجراء الكربنة لعينات طلاء الكروم الصلد.

ان كربنة الفولاذ ومن ثم معاملته حرارياً (التقسية والمراجعة) ادت الى خفض معدل البلى بسبب تكوين شبكة من السمنتايت (Fe_3C) في ارضية مارتنسايتية. بينما اظهرت العينات المطلية بالكروم الصلد والمكربنة كربنة صلبة في درجة (925) م° ولمدة (2) ساعة تحسناً افضل في مقاومة البلى مقارنة بالعينات المكربنة فقط. ويعزى ذلك الى ارتفاع صلادة طبقة الكروم الصلد وتكوين شبكة من كاربيدات الكروم نوع ($Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3) مع تكوين بنيه مارتنسايتيه والتي ينتج عنها زيادة الصلادة للطبقات السطحية ومن ثم أنخفاض معدل البلى مع ازدياد الحمل المسلط حتى يصل مرحلة يبدا عندها الطلاء بالتقشر (Spelled off) ومن ثم انهيار الطلاء وارتفاع كبير في معدلات البلى [1]. لذا فأن العامل الحاسم هنا هو سمك طبقة الطلاء بالكروم الصلد فعند زيادة هذا السمك تزداد مقاومة البلى او ما يصطلح عليه بقابلية تحمل الطلاء (Durability). لذا فقد كانت نتائج معدلات البلى للعينات المطلية بالكروم ذات سمك (150) مايكرون هي الافضل من بين المجاميع الاخرى. وعند فحص العينات المتأثرة بالبلى بعد الاختبار بالمجهر الضوئي لوحظ وجود دقائق أوكسيدية ملتصقة بالسطح وهي تمثل حطام البلى الأوكسيدي وكما موضح في الشكل(9) .

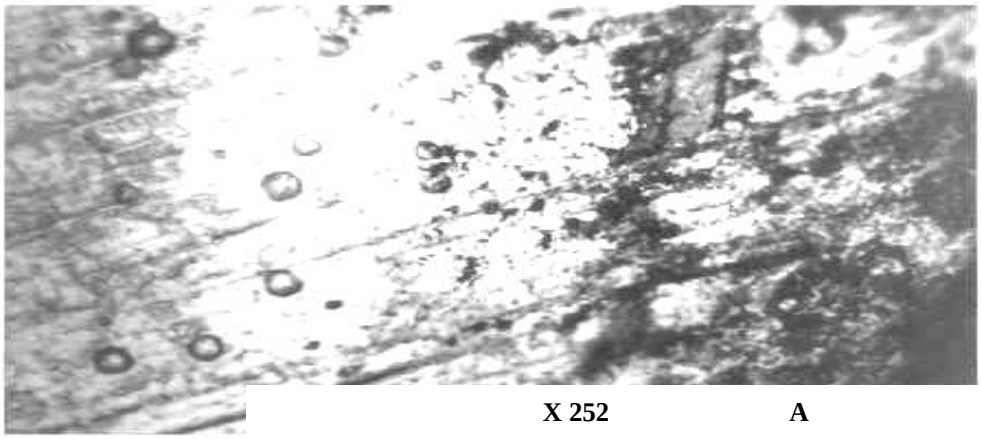
4.6.2 دراسة طوبوغرافية اسطح البلى

لقد تم دراسة السطح المتضرر من البلى ولاحمال مختلفة وحالة عينات مختلفة. حيث تبين الصور الفوتوغرافية المأخوذة بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) اتجاه خطوط البلى مع تكوين حطام البلى. ان تكون الشقوق التي تكون عمودية على اتجاه الانزلاق والتقائها مع بعضها البعض ومع خطوط البلى مما سبب انفصال وخلع طبقات رقيقة من سطح العينة مكونة بذلك دقائق حطام البلى كما موضح في الشكل (10)، والذي يبين التشوه الحاصل لسطح عينة الفولاذ منخفض الكاربون بحالتها المستلمة مع ظهور الحفر والاخاديد في سطح العينة وعند تسليط حمل (25N). اما الشكل (11) فيوضح تكون طبقة من حطام البلى لطبقة الطلاء والتي تعمل على خفض معدل البلى في حالة العينات المطلية بالكروم الصلد.

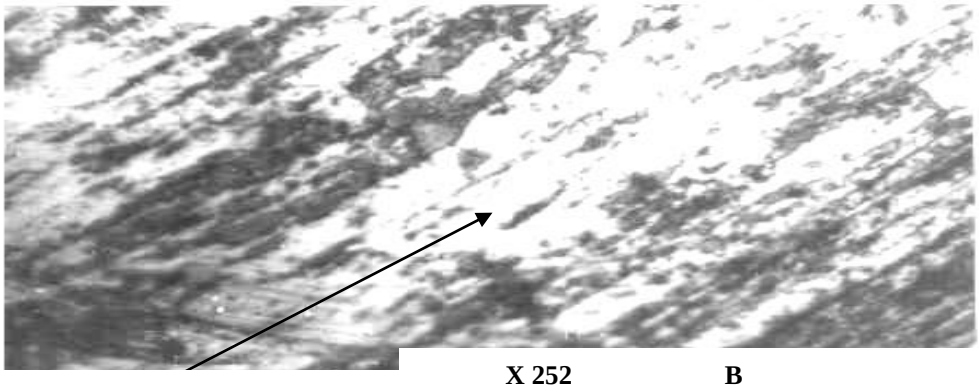
بينما يلاحظ أن السطح المتأثر بالبلى للفولاذ المكربن كربنة صلبة فقط يكون اقل تشوها مقارنة بالتشوه الحاصل في الفولاذ المستلم، اذ تكون الاخاديد المتكونة مع اتجاه الانزلاق.

٥. الاستنتاجات Conclusions

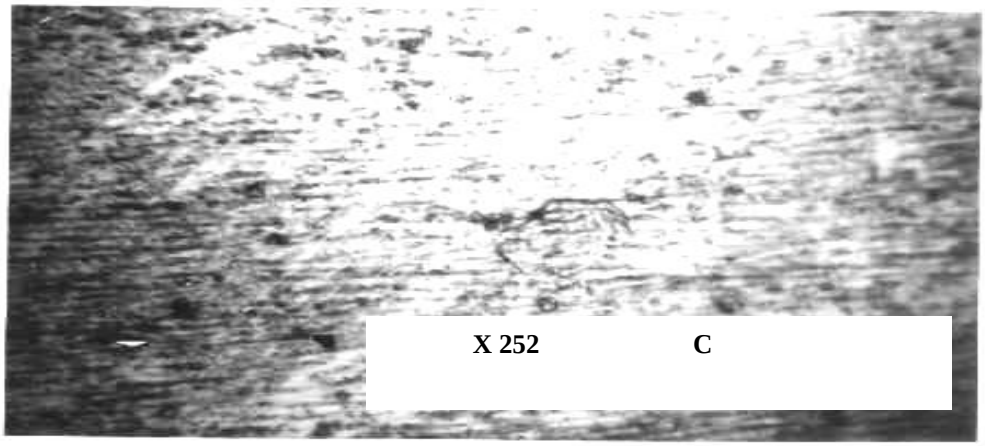
١. أظهرت نتائج الفحص بحيود الأشعة السينية (XRD) تكون كاربيدات الكروم(Cr_7C_3, $Cr_{23}C_6$) ضمن طبقة الطلاء بعد أجراء الكربنة الصلبة والمتبوعة بالتقسية والمراجعة.
٢. زيادة عمق وصلادة الطبقة المصلدة للفولاذ المطلي بالكروم الصلد والمكربن كربنة صلبة أدت الى أنخفاض معدل البلى بمقدار أكبر مقارنة بالفولاذ المكربن فقط وعند جميع الأحمال المسلطة في أختبار البلى.
٣. سلوك البلى للعينات المكربنة فقط والعينات المطلية بالكروم والمكربنة يختلف عما هو عليه في حالة الفولاذ بحالته المستلمة أذ تظهر ثلاث مناطق في منحني (الحمل المسلط- معدل البلى) البلى الطري والبلى الانتقالي والبلى الشديد في حالة الفولاذ المنخفض الكاربون بحالته المستلمه.
٤. أدت عملية الكربنة الصلبة للعينات المطلية بالكروم إلى تحسن كبير في مقاومة البلى يعادل (94 %) مقارنة بالفولاذ منخفض الكاربون بحالته المستلمه.



X 252 A

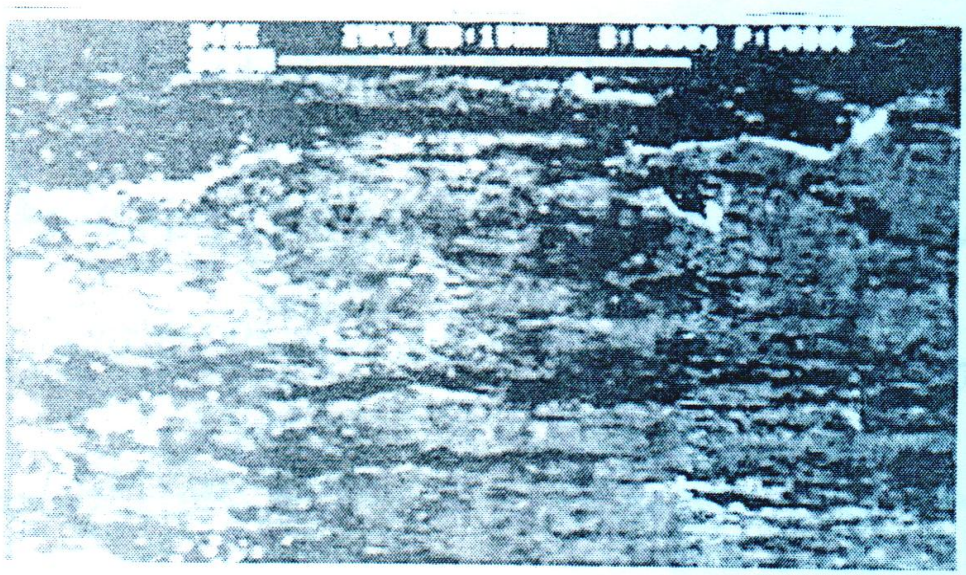


X 252 B

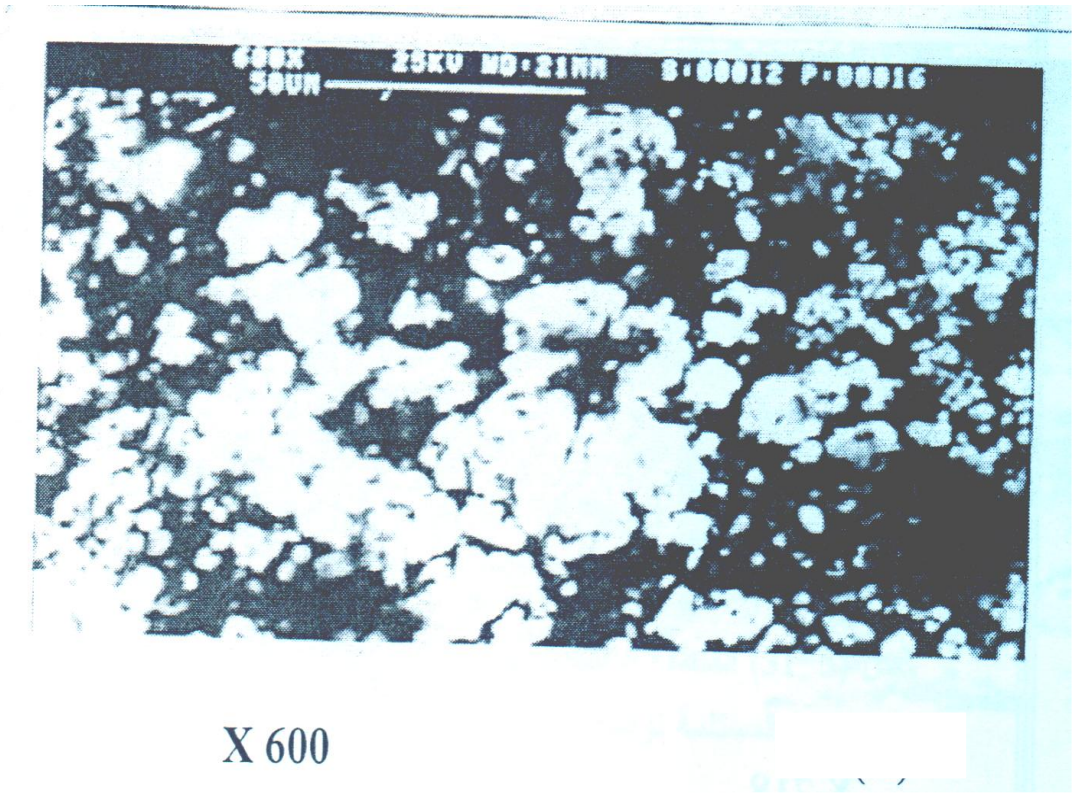


X 252 C

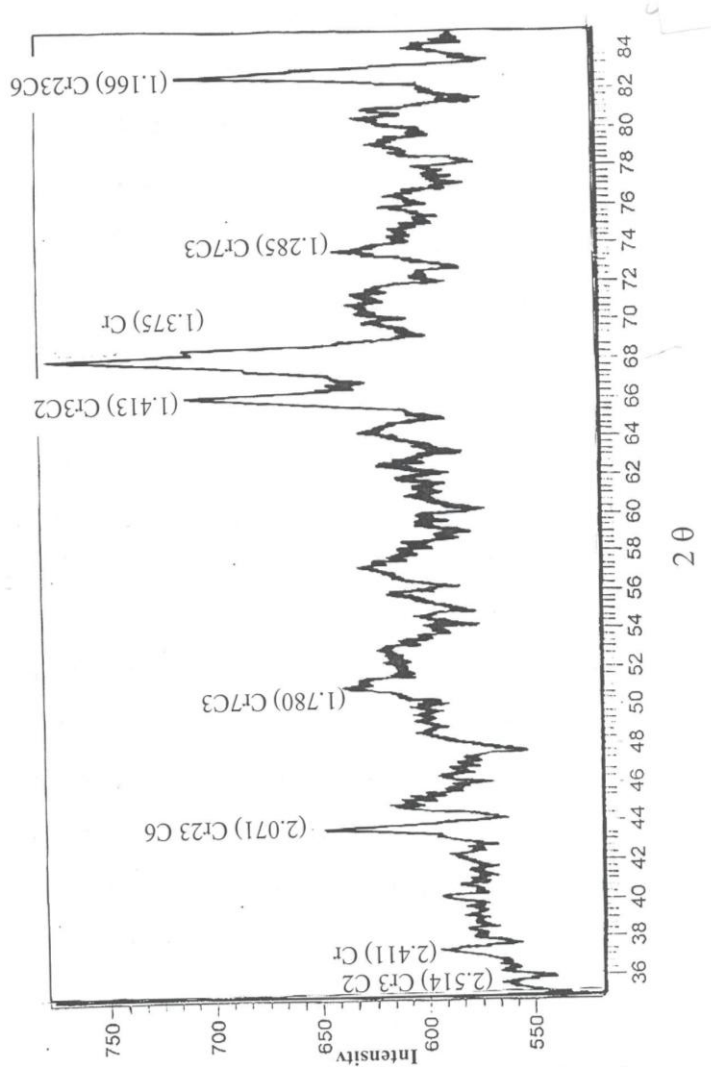
شكل_9_ المنطقة المتأثرة بالبلى لطبقة طلاء الكروم سمك (150) مايكرون وزيادة التشويه مع زيادة الحمل لعينة الفولاذ منخفض الكاربون، A – الحمل (15N) B – الحمل(20N) C – الحمل(25N)



شكل_10_ المنطقة المتأثرة بالبلى للعينة الفولاذ منخفض الكاربون بحالتها المستلمه توضح الاخاديد والحفر عند حمل (25N)



شكل_11_ المنطقة المتاثرة بالبلى لطبقة طلاء الكروم الصلد حيث يلاحظ تكون طبقة من حطام طبقة الطلاء عند حمل (20N) لعينة فولاذ منخفض الكاربون نوع(CK_{15}).



شكل_12_ يبين نتائج حيود الاشعة السينية للفولاذ منخفض الكاربون المطلي بالكروم (بسمك 25 مايكرون) ثم تمت كربنته

٥. المصادر

[1] Strafford K.N, "Coatings and Surface Treatment for Corrosion and Wear Resistance",1st Edition, Ellis Harwood Limited, England,1984,PP.1-4,PP.62-73.

[2] Hyman Chessin, "Hard Chromium Plating", Metals Handbook, Vol.5 Surface Cleaning, Finishing, and Coating) ,9th Edition1982, PP.170-187

[3] Wells T.C. "A Review of Surface Treatments and Coatings", Surfacing Journal, Vol.9, No.4, 1978, PP.2-9.

[4] For every problem,Asolutions Metcor inc.560boul.Arthur-sauve,saint-Eustache J7R 5A8 Web:www.metocor.biz. 2002.

[5] www.internet ,"Surface Hardening of Steel", Seven Club of Great Britain ,L7C Home ,Blatechat ,Edited April 9 ,2003.

[6] Muna K. Abbas and Khairia S.Hassun, "Effect Carburizing Medium on Fatigue Strength for Low Carbon Alloy Steel", Proceeding of the Fifth Jordanian International Mechanical Engineers Association ,2-4 April ,2004.

[7] Ahmed S. Abbas, "Hard Chromium Electroplating and Improvement the and

Metallurgy", University of Technology ,Baghdad ,Iraq, 2002.

[8] Eman S. Naeem, M.Sc. Thesis, "Study of the Porosity of Different Coating Systems of Low Carbon Steel", Department of Production Engineering and Metallurgy, University of Technology ,Baghdad ,Iraq,1990.

[9] U. N. I. D. O., "Advances in Material Tech ", Monitor Vienna International Center, Austria, 1990, pp.9-11.

[10] Solov'eva Z.A. and Adzhiev B.U., "Internal Stresses of Chromium Coatings Measured During Electro deposition", Journal of Surface Technology, Vol.23, No. 1, 1984.

[11] Nabil Zaki, "Chromium Plating" Products Finishing Directory", http://WWW.Pfonline.com /articles / pdf 0016. Htm /2000, PP.1-10.

[12] Iwai Y. , "Effects of Hard Chromium Plating on Cavitations Erosion", Journal of Wear, Vol.128, No.2, 1988, PP.189-190.

[13] Thelining K.E.,"Steel and Its Heat Treatment", 2nd Edition,1984, PP.449-453.

[14] Cameron T. B. "A Perspective on the Performance of Carburized Gear Steel", Society of Automotive Engineers, 1985, PP.1921-1928.

[15] 15- Halling J., "Principles of Tribology", Published by the Macmillan Press Limited (London), 1979, PP.94 –100, PP.105 –109.

[16] Mikell P. Groover, "Fundamentals of Modern Manufacturing Materials Processes and Systems, John, Wiley & Sons, Inc., 1999.

[17] Eyre T.S, "Wear Characteristic of Metals", Tribology International, 1976, PP.203-212.

Hard Chromium Electroplating and Improvement the Properties by the Thermo Chemical Treatments (Solid Carburizing) of Low Carbon Steel

Muna Khedier Abbas Amin Dway Thamir Ahmed Salloum Abbas

Department of Production Engineering and Metallurgy/ University of Technology

Abstract

In this research the hard chromium electroplating process, which is one of the common methods of overlay coating was used, by using chromium acid as source of chromium and sulphuric acid as catalyst since the ratio between chromic acid and sulphuric acid is (100 : 1) consequently. Plating process was made by applying current of density (40 Amp / dm^2) and the range of solution temperature was (50 – 55^oC) with different time periods (1-5 hr). A low carbon steel type (Ck_{15}) was used as substrate for hard chromium electroplating. Solid carburization was carried out for hard chromium plating specimen at temperature (925^oC) with time duration (2 hr) to be followed with quenching and tempering. The phase analysis was conducted by using X– ray diffraction. The examination results show that the chromium carbides in plating layer were ($Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3). The microhardness of hard chromium plating specimen was measured, and the results show that the high hardness was about (907HV). After solid carburization the hardness values increase and the results show that the higher hardness for chromium plating layer on low carbon steel surface was (1276 HV).

Wear apparatus type (Pin on Disc) was used to study dry sliding wear properties of low carbon steel (As received) and hard chromium plating specimens and solid carburized. The effect of applied normal load on wear rate was studied with weighting method using five normal loads (5, 10, 15, 20, 25 N) at constant sliding speed (2.198 m / sec). The results reveal that the wear rate increases with the increasing of applied normal load. A good improvement in wear resistance was noticed for hard chromium plating specimens as compared with substrate specimen. It was also seen that, the improvement in wear resistance was (94%) as compared with substrate metal when carburizing treatment is carried out on hard chromium plating specimens.