تأثير عملية الألمنة على الخواص الميكانيكية للصلب ألسبائكي (305)

صباح نوري محمود *

تاريخ التسلم:2009/8/30
تاريخ القبول:2010/1/7

الخلاصة:

تناول البحث أجراء معاملة حرارية سطحية لتحوير الخصائص الميكانيكية لسطح السبيكة الأساس وهو الصلب السبائكي السبيكة (305) باستعمال واحدة من طرق المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية وهي عملية السمنتة وهي واحدة من طرق الطلاء الانتشاري حيث تمت عملية الطلاء بالألمنيوم بدرجات حرارية (1100,1000,900) ْم وأزمان (10,8,6,4,2) ساعة وقد تم قياس سمك طبقة الطلاء المتكون وأظهرت النتائج إن سمك طبقة الطلاء يزداد بزيادة درجة الحرارة والزمن كما تم قياس الصلادة المايكروية ووجد إن مقدار الصلادة المايكروية يزداد عند الأطراف ويقل كلما اتجهنا نحو القلب وان أفضل مقدار للصلادة حصلنا عليه عند زمن (6) ساعة وللدرجات الحرارية (1100, 1000, 900) ْم وكذلك تم قياس إجهاد الانحناء ووجد إن أفضل قيمة لإجهاد الانحناء حصلنا عليها عند زمن (6) ساعة وللدرجات الحرارية الثلاث .

الكلمات المرشدة : الالمنة ، الانتشار ، السمك ، الصلادة المايكروية ، إجهاد الانحناء

Effect of Aluminizing Process on The Mechanical Properties of Stainless Steel Type (305)

Abstract

The aim of this work is to study the thermal surface treatment by Aluminizing process of stainless steel (305) to modify the mechanical properties of the surface by pack cementation process. The coating process was done with various periods of time (2, 4, 6, 8, 10) hours and temperatures (900 1000 1100)°C. The results showed that the thickness of coating layer was increased with the increment of time and temperature. The microhardness values of coating layer was reduced from the outer surface to the core, also the results showed that the highest microhardness of the coating was obtained at period of (6) hours and temperature of (900, 1000, 1100)°C, also the highest bending stress was obtained at the period of (6) hours and at all temperature.

المقدمة:

إن تعرض المواد المعدنية إلى أوساط ذات درجات حرارية عالية يؤدي إلى تأكلها بسبب الاوكسيد والكبريتيد وطريقة واحدة لحماية هذه السطوح يتم عن طريق تحويرها بواسطة الطلاء الذي أصبح خطوة مهمة وضرورية لتحسين خصائص السطوح في المعادن مثلا مقاومة البلى والتآكل والأكسدة ولهذا أصبح هذا الموضوع مهما للبحث والتطوير على مدى العقود الأخيرة [2,1].

إن المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية هي واحدة من الطرق المهمة لتحسين خواص السطح وذلك عن طريق إشباع السطح الخارجي للمعادن والسبائك بأحد العناصر السريعة الانتشار بطريقة إما بينية بتأثير درجة الحرارة والزمن كالكربنة والنتردة وهي إشباع السطح الخارجي للمعدن أو السبيكة بالكربون أو النتروجين.

إما الطريقة الاستبدالية كالا لمنة والكر منة حيث يتم إشباع السطح الخارجي للمعدن أو السبيكة بأحد العناصر التي تستبدل ذراته مواقع ذرات العناصر المراد إشباعها

* قسم الهندسة الكهروميكانيكية, الجامعة التكنولوجية/بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.28.9.16
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

بالعنصر الجديد كإشباع الفولاذ بالألمنيوم أو الكروم أو التيتانيوم [4,3] . عملية الألمنة هي واحدة من هذه الطرق والتي تقوم بإنتاج طبقة من اوكسيد الألمنيوم Al_2O_3 والتي يجب إن تكون مستمرة لتحد من انتشار الأوكسجين أو المواد المعدنية داخل السبيكة الأساس حيث يمتلك هذا المركب كمية كافية من الألمنيوم والعديد من الخصائص الميكانيكية الجيدة والتي تحمي المعدن عندما يتعرض إلى أوساط ذات درجات حرارية عالية حيث أنها تشكل جداراً واقياً لحماية المعدن الأساس [3,2,1] . توجد عدة طرق تستخدم في طلاء المعادن بالألمنيوم منها التغطيس الساخن والمساحيق الصلبة والطلاء ألعجيني الساخن . و تتم عملية الألمنة لمدى من درجات الحرارة يتراوح بين (800 - 1200) ْم حيث إن سمك الطلاء والخصائص الميكانيكية الأخرى تعتمد على مقدار التغير بالزمن ودرجة الحرارة للألمنة وكذلك تعتمد أيضا على ظروف عملية الطلي. وهناك العديد من التطبيقات العملية لألمنة الفولاذ منها التطبيقات الكهربائية والبتر وكيميائيه وكذلك المراجل البخارية (البويلر) [6,5,4].

الجانب العملي:

1. المادة الأساس:

تمت الدراسة على المادة الأساس وهي مادة الفولاذ ألسبائكي من نوع مجموعة الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي نوع (305AISI) وقد كانت على شكل قضبان بطول 100 سم وقطر 1.5سم وقد اجري فحص التركيب الكيمياوي باستعمال جهاز التحليل الطيفي (spectrometer) والموجود في شركة نصر العامة للصناعات الميكانيكية وكما مبين في الجدول رقم (1) الذي يتضمن التركيب الكيمياوي للمعدن وفقا للمواصفة العالمية (305AISI).

2. مادة الطلاء:

يتكون خليط الطلاء المستخدم من مسحوق الألمنيوم بنسبة 20%وكلوريد الامونيوم (عامل منشط) 4% واوكسيد الألمنيوم 76% وقد تمت عملية مزج مكونات الخليط وهي بحالتها الصلبة جيدا باستخدام خلاط الميكانيكي يمتلك سرعة دوران ثابتة ولمدة 1 دقيقة للحصول على أفضل خلط لمكونات المزيج وبعدها تمت عملية الطلاء للفترات الزمنية (10,8,6,4,2) ساعة وللدرجات الحرارية (1100,1000,900)م.

3. تقطيع العينات:

تم تقطيع عينات الاختبارات باستخدام الكوسرة وحسب المواصفة القياسية الخاصة بالجهاز المستخدم في الاختبار وكما هو موضح لاحقا ثم تم إجراء عملية التنظيف للعينات باستعمال ورق التنعيم بدرجات مختلفة (1000،500،320،220،120، 1200) على التوالي ثم غسلت العينات بالماء والكحول لإزالة المواد العالقة والدهون للحصول على سطح ملائم لإجراء عملية الطلاء.

4. عملية الطلاء:

تمت عملية الطلاء بواسطة استخدام فرن من نوع carbolite ويصل إلى درجة حرارة 1200 ْم كحد أقصى لتنفيذ عملية الطلاء .تم تنفيذ عملية الطلاء بوضع العينات المراد طلاؤها داخل جفنه خزفية ثم تحاط بمسحوق الألمنة من جميع الجوانب ويتم إغلاق الجفن بواسطة الطابوق الناري ثم بعد ذلك تدخل إلى الفرن وبعد بلوغ الفرن الدرجة الحرارية المطلوبة (حرارة الألمنة) .. يتم حساب وقت الطلاء من لحظة بلوغ الفرن الدرجة الحرارية المطلوبة وعند الانتهاء من عملية الطلاء تترك العينة في الفرن لتبرد بصورة بطيئة ونتيجة للتبريد البطئ يكون قلب الصلب للنموذج المطلي اقل صلادة من السطح.بعد الانتهاء من عملية الطلاء يتم تنظيف العينات من اثأر المسحوق وذلك باستعمال الفرش السلكية ثم القطنية لغرض تهيئتها للاختبارات المطلوبة.

5. الاختبارات:

5-1 عينات قياس سمك الطلاء:

إن العينات الخاصة بقياس السمك فقد كانت بقطر(1) سم وطول (2) سم بعد إجراء عملية الطلاء تم أجراء عملية التنعيم لها

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

وبعدها تمت عملية الصقل ثم غسلت بالماء والكحول وبعد ذلك تم تجفيفها باستعمال الهواء الحار لتلافي تأكسد سطح العينة إما عملية الإظهار فقد أجريت باستعمال محلول النايتل بتركيز (5%) حسب المواصفة (ASTM407) ثم تم قياس سمك طبقة الطلاء باستخدام المجهر الضوئي المربوط إلى الحاسبة الالكترونية حيث تم اخذ عدة قراءات من مناطق مختلفة للطلاء وعلى طول حافة العينة ثم اخذ المعدل لهذه القراءات وهي تمثل سمك الطلاء وكما موضح بالشكل رقم (3).

5-2عينات اختبار الصلادة المايكروية:

إما بالنسبة لاختبار الصلادة المايكروية حيث كان قطر العينة (1) سم وطولها (2) سم لقد تم اخذ ثلاث قراءات من على سطح العينة وبالنقاط (A,B,C) وكما موضح بالشكل رقم (1) حيث كانت المسافة بين (A,B) و(C.B) بحدود 4ملم. تم إجراء اختبار الصلادة المايكروية بطريقة فيكرز وحسب القانون الأتي:

$$Hv=1.8544P/(dav)^2$$

Hv : صلادة فيكرز (كغم/ملم²)
P : الحمل المسلط (كغم)
dav : متوسط قطر الأثر (ملم)

5-3عينات اختبار إجهاد الانحناء

بالنسبة لاختبار إجهاد الانحناء فقد تم استخدام عارضة صغيرة بطول (100) ملم وعرض (25) ملم وسمك (10) ملم محملة في وسطها ومحمولة قرب نهايتيها وقد تم حساب إجهاد الانحناء حسب المعادلة التالية [7].

$$b\sigma=3pL/2wt^2$$

σb إجهاد الانحناء (كغم/ملم²)
P الحمل المسلط (كغم)
L طول العينة (ملم)
W عرض العينة (ملم)
t سمك العينة (ملم)

النتائج والمناقشة:

إن تشكيل غطاء من اوكسيد الألمنيوم ذا نوعية عالية الجودة على عينات الصلب ألسبائكي(305) تكسب السطح خصائص ميكانيكية عالية وهذا ما لاحظناه من إجراء هذا البحث حيث إن هذا النوع من الصلب هو من نوع الصلب المقاوم للصدأ الاوستنايتي والذي يمتلك خصائص ميكانيكية عالية وكلفة إنتاج واطئة ولكنة بنفس الوقت يمتلك مقاومة أكسدة ومقاومة كبريتيد وتأكل حار ضعيفة عند الدرجات الحرارية العالية 350-770°م وللاستفادة من الخصائص التي يمتلكها فانه يستعمل في المشاريع الكهربائية والبتروكيمياوية والتي تتطلب مقاومة تأكل لدرجات الحرارة العالية للسطح حيث إن المركبات السبائكية المتكونة بعد إجراء عملية الالمنة والتي تستند إلى Fe3AL وFeAL تكون مقاومة جيدة للكبريتيد والأكسدة عند الدرجات الحرارية العالية [2.4].

نتائج فحص سمك الطلاء:

من خلال ملاحظة النتائج العملية الخاصة بقياس سمك الطلاء نرى إن مقدار السمك يزداد بزيادة درجة الحرارة والزمن ولجميع الدرجات الحرارية (1100,1000,900) °م وللازمان (10,8,6,4,2) ساعة والجدول رقم (2) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها ومن رسم العلاقة بين سمك الطلاء والزمن وكما في الشكل رقم (2) تبين إن السمك للطلاء يزداد بزيادة الزمن بثبوت درجة الحرارة حيث كانت الزيادة بالنسبة للعينة المطلية بدرجة حرارة 900°م من 50الى 135 مايكرو متر بنسبة زيادة 170% وللفترة من (2-10) ساعة إما بالنسبة للعينة المطلية بدرجة حرارة 1000°م فقد كان مقدار الزيادة من 83الى165 مايكرو مترو بنسبة زيادة 98% وللفترة من(2-10) ساعة إما العينة المطلية بدرجة حرارة 1100°م فقد كانت الزيادة من 98الى 180 مايكرو متر وبنسبة زيادة 87.5% وللفترة نفسها. إن أكثر زيادة في السمك حصلنا عليها وللدرجات الحرارية الثلاث فقد كانت عند زمن 10ساعة ودرجة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

حـــرارة 1100م حيـــث كانـــت (180) مايكرو متر حيث إن زيادة السمك ضرورية لزيادة مقاومة التأكسد والتآكل وهذا ما أثبته العديد من الباحثين حيث أنهم عملوا علـــى أنواع مختلفة من الفولاذ [6, 9,8, 10].
إن هذه الزيادة في السمك تعتمد على قابلية انتشار ذرات الألمنيوم خلال السبيكة لتساعد في نمو سمك طبقة الطلاء ويمكن الاستدلال على التغير بالتركيز الذي يسبب الانتشـــار وحسب قانون فك الأول:

$J = - DdC/dx$ (قانون فك الأول)

J عدد الجزيئات المنتشرة مـــن التركيـــز العالي إلى التركيز الواطئ في الثانيـــة لوحدة المساحة.

C تركيز جزيئات المذيب ويعبر عنها بعدد الجزيئات لوحدة الحجم .

D معامل الانتشار . ووحداته م²/ثا.

ولكن الزيادة في السمك وخلال الـــدرجات الحرارية العالية تولد بعض الهشاشة فـــي طبقة الطلاء وقد لاحظنا ذلك من انخفاض قيم الصلادة المايكروية وكما هو موضـــح لاحقا ، والتي بدورها تقلل من أهمية عملية الطلاء كلها حيث أنها تقلـــل مـــن أهميـــة استخدامها في التطبيقات المناسبة للفـــولاذ وتتولد هذه الهشاشة في طبقه الطلاء نتيجة لتولد الانخلاعـــات والشـــقوق والإعاقـــات الصغيرة في الدرجات الحراريـــة العاليـــة وكذلك لتكون مركبات هشـــة مـــن أهمهـــا الكبريتات وذلك لوجود بعـــض العناصـــر كالكبريت في السبيكة الأساس وللتخلص من الهشاشة في طبقة الطلاء فان التبريد البطئ للعينة بعد عملية الطلاء مهم للتقليـــل مـــن الاجهادات المتولدة [5] .

نتائج قياس الصلادة المايكروية:

من ملاحظة نتائج قياس الصلادة المايكروية ومن الجدول رقم (2) نرى إن قيم الصلادة المايكروية تتغير من إطراف العينة كلمـــا اتجهنا نحو القلب حيث إن الصلادة تكـــون في الإطراف اكبر مما هي عليه في القلـــب وكما موضح في الشكل (4) والسبب فـــي ذلك يعود إلى تركيب الأطوار المتكونة مثلا Fe AL , Fe3AL,FeAL2 حيث يعتقد إن تركيز المركب Fe3AL يكون كبيـــراً عند السطح ويقل كلما اتجهنا إلى المركـــز وبما إن صلادة هذا المركب عاليـــة فمـــن المتوقع إن تقل صلادة طبقة الطلاء كلمـــا اتجهنا إلى المركز وأيضـــا علـــى طبيعـــة السبيكة Fe- AL المتكونة وكذلك علـــى التغيرات التي تحدث في التركيب الـــداخلي للسبيكة Fe-AL والتي تغير فـــي البنيـــة البلورية والتي بدورها تغير في الخـــواص وفي الأطوار المتكونة خلال عملية الطلاء [8،5،1] كما إن قدرة الألمنيوم على اختراق سطح السبيكة خلال عملية الانتشار تـــؤثر أيضا في الصـــلادة المايكرويـــة للطبقـــة المتكونة [10] حيث إن أفضل قيم للصلادة المايكروية حصلنا عليها عند زمن(6) ساعة وللدرجات الحرارية كافة حيث كانت قيمتها عند درجة حرارة900م (308,230,290) كغم/ملم2 وسمك 95 مايكرو متـــر وعنـــد درجـــة1000م كانـــت (348,270,336) كغم/ملم2 وسمك 113 مايكرو متر إما عند درجة 1100م فقد كانت (396,308,388) كغم/ملم2 وسمك 130 مايكرو متـــر إمـــا مقدار الصلادة المايكروية عند زمن أعلى من (6) ساعة يبدأ بالنزول فعند زمـــن 10 ســـــاعة ودرجـــــة 900م تصـــــبح (252,201,266) كغـــم/ملـــم2وســـمك 135مايكرو متر وعند 1000م فتصـــبح (278,214,288) كغم/ملم2 وسمك 278 مايكرو متر إمـــا عنـــد 1100م فتصـــبح (283,215,290) كغـــم/ملـــم2 وســـمك 189مايكرو متر حيث نلاحـــظ إن زيـــادة السمك يرافقها هبوط في مقـــدار الصـــلادة المايكروية ويعود السبب في ذلك إلى تشبع سطح المعدن الأســـاس بـــالألمنيوم عنـــد الدرجات الحرارية العالية مما يؤدي إلـــى تولد أطوار هشة مثل FeAL3,Fe2AL5 وكذلك الشقوق الصغيرة والمسامات والتي بدورها تؤدي إلى حصول هشاشة في طبقة الطلاء المتكونة مما ينجم عنها هبوط فـــي مقدار الصلادة المايكروية وهذا ما توصـــل إليه بعض الباحثين [6,5] .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

نتائج قياس إجهاد الانحناء

الجدول رقم (3) يظهر النتائج التي تم الحصول عليها ونلاحظ إن مقدار إجهاد الانحناء يزداد بزيادة درجة الحرارة والزمن وأعلى قيمة إجهاد حصلنا عليها عند زمن (6) ساعة ولجميع الدرجات الحرارية حيث كانت على التوالي (11.657,9.693,8.257) كغم/ملم^{2}ويعود السبب في ذلك إلى الزيادة في انتشار الألمنيوم داخل المعدن مما يؤدي إلى تشويه الشبكة البلورية تشوها لدنا وهذا التشوه يولد اجهادات داخلية في هذه المنطقة وتتولد الاجهادات من عدم التلاؤم ما بين الذرات المنتشرة (الألمنيوم) وذرات الشبكة الأصلية (صلب سبائكي) وبالتالي تحيط هذه الاجهادات بالانخلاعة فتمنع من حركتها ولهذا تزداد صلابة المعدن وكذلك من استحداث أطوار من المركبات السبائكية ذات قيم الصلابة العالية . أما عند زمن أعلى من (6) ساعة وللدرجات الحرارية الثلاث فان قيم إجهاد الانحناء تبدأ بالانخفاض ويعود السبب في ذلك إلى تأثير تغيير التركيب البلوري في الخواص وفي الأطوار المتكونة [8] حيث أن إعادة التبلور والنمو الحبيبي يؤدي إلى نمو حبيبات جديدة على حساب الحبيبات القديمة المشوهة وكذلك تغيير التركيب ألمجهري للمعدن يجعله اضعف من الحالة الأولى وهذا يعني انه كلما كبرت الحبيبة قلت مقاومة المعدن للإجهاد الخارجي والعكس صحيح.

الاستنتاجات:

من خلال هذه الدراسة تم الحصول على النتائج التالية

1. إن الزمن الأمثل ودرجة الحرارة المثلى للحصول على أفضل سمك وأفضل خصائص ميكانيكية لألمنة الفولاذ المقاوم للصدأ نوع (305) هو عند زمن (6) ساعة ودرجة حرارة 1100ه م .
2. يزداد سمك طبقة الطلاء بزيادة درجة الحرارة والزمن .
3. يزداد مقدار الصلادة المايكروية لمدى معين من درجات الحرارة والزمن وبعدها يبدأ مقدار الصلادة المايكروية بالهبوط وان الزمن الأمثل هو (6) ساعة وللدرجات الحرارية كافة.
4. يمكن التحكم بمقدار سمك الطلاء ومقدار الصلادة المايكروية عن طريق التحكم بالعوامل المؤثرة في عملية الطلاء منها درجة الحرارة والزمن والتركيب الكيمياوي لفلز الطلاء والسبيكة (305).
5. يزداد مقدار إجهاد الانحناء لمدى معين من درجات الحرارة والزمن وبعدها يبدأ بالهبوط وان أفضل قيمة حصلنا عليها لجهد الانحناء عند زمن (6) ساعة ولكل الدرجات الحرارية.

المصادر

[1] Rajendran R., Venkataswamy S., **"Effect of process parameters in hot dip aluminizing of medium carbon steel"** , Chennai 600 044,India, F6006SC13.

[2] Houngninou C., Chevalier S., Larpin J.P., **"Synthesis and characterization of pack cemented Aluminide coating on metals"**Applied Surface Science

[3] Bolten W., **"Engineering materials Technology"**, 3rd Edition, Better work Greed Britain, 1998.

[4] Zheng Minhui ,Rapp Robert A., **"Simultaneous Aluminizing and Chromizing of Steels to Form (Fe, Cr)3Al Coatings",** Oxidation of Metals, Vol. 49, Nos. 112, 1998.

[5] Yajiang LI , Juan Wang , **"Fine structures in Fe_3Al alloy layer of a new hot dip aluminized Steel",** Bull .mater sci. ,vol. 25, No.7, December 2002, pp. 635-639.

[6] Yajiang Li, Juan Wang, Huiqiang, **"XRD and TEM analysis of Fe_3Al alloy layer on the surface of the colorized**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

steel", materials research Bulletin 36 (2001) 2389 2394).

[7] هيران أيان جون، ترجمة د. وجيه محمد الدخاخيني، "مقاومة المواد"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، الطبعة الثانية،1990.

[8] جلال شه ونم رشيد ," **المنة صلب منخفض الكربون وسلوكه إثناء التأكسد عند درجات الحرارة العالية**" الجامعة التكنولوجية، قسم هندسة الإنتاج والمعادن، رسالة ماجستير، 1984.

[9] Kee. Hyun, Kim, Van-Daele, Benny, Van-Tendeloo, Gustaaf and Jong-kyu, Yoon, **"Observations of Intermetallic Compound Formation of Hot Dip Aluminized steel"** Materials Science Forum Vols.519-521 (2006) pp. 1871-1875.

[10] Awan G. H., Ahmed F., Ali L. Shuja M. S., and Hasan F.,**"Effect of coating - thickness on the formability of Hot Dip Aluminized steel".** Pak.J. Engg. & Appl. Sci., Vol.2 Jan.2008.

جدول رقم (1) التركيب الكيمياوي للمعدن الأساس

Mat.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Tested	0.12	0.35	1.05	0.019	0.02	18.24	10.6
Standard	0.12	0.75	2	0.045	0.03	17-19	10.5-13

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

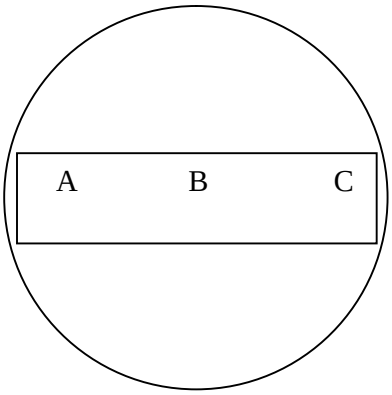
الجدول رقم (2) يوضح نتائج اختبارات السمك والصلادة المايكروية لثلاث درجات حرارية

رقم العينة	درجة الحرارة (°م)	الزمن (ساعة)	السمك (مايكرومتر)	الصلادة المايكروية HV		
1	بدون طلاء			170	168	172
2	900	2	50	143	90	150
3		4	88	202	140	210
4		6	95	308	230	290
5		8	110	247	180	255
6	1000	10	135	252	201	266
7		2	83	155	101	165
8		4	98	223	164	234
9		6	113	348	270	336
10		8	128	264	201	180
11		10	165	278	214	288
12	1100	2	96	169	106	180
13		4	108	225	165	233
14		6	130	396	308	388
15		8	155	275	202	267
16		10	180	283	315	290

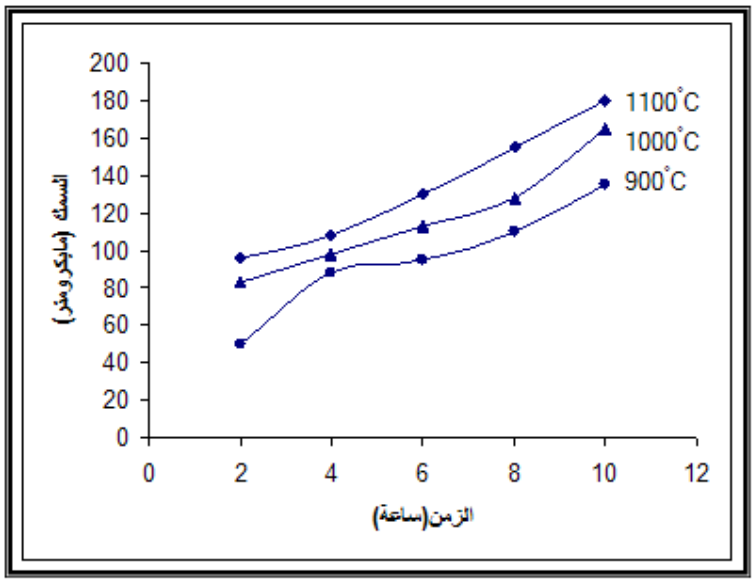
الجدول رقم (3) يوضح نتائج اختبار إجهاد الانحناء لثلاث درجات حرارية

رقم العينة	درجة الحرارة (م)	الزمن (ساعة)	إجهاد الانحناء(كغم/مم^2)
1	بدون طلاء		10.08
2	900	2	5.40
3		4	8.40
4		6	13.80
5		8	10.80
6		10	12.06
7	1000	2	6.06
8		4	9.84
9		6	16.20
10		8	12.06
11		10	12.84
12	1100	2	6.36
13		4	9.90
14		6	18.48
15		8	12.12
16		10	12.9

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل رقم (1) يوضح مواقع اختبار الصلادة المايكروية

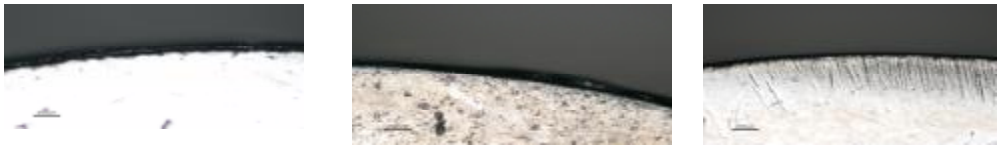


الشكل رقم (2) يوضح العلاقة بين الزمن والسمك لثلاث درجات حرارية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1100˚C/2h | 1000˚C/2h | 900˚C/2h

1100˚C/4h | 1000˚C/4h | 900˚C/4h



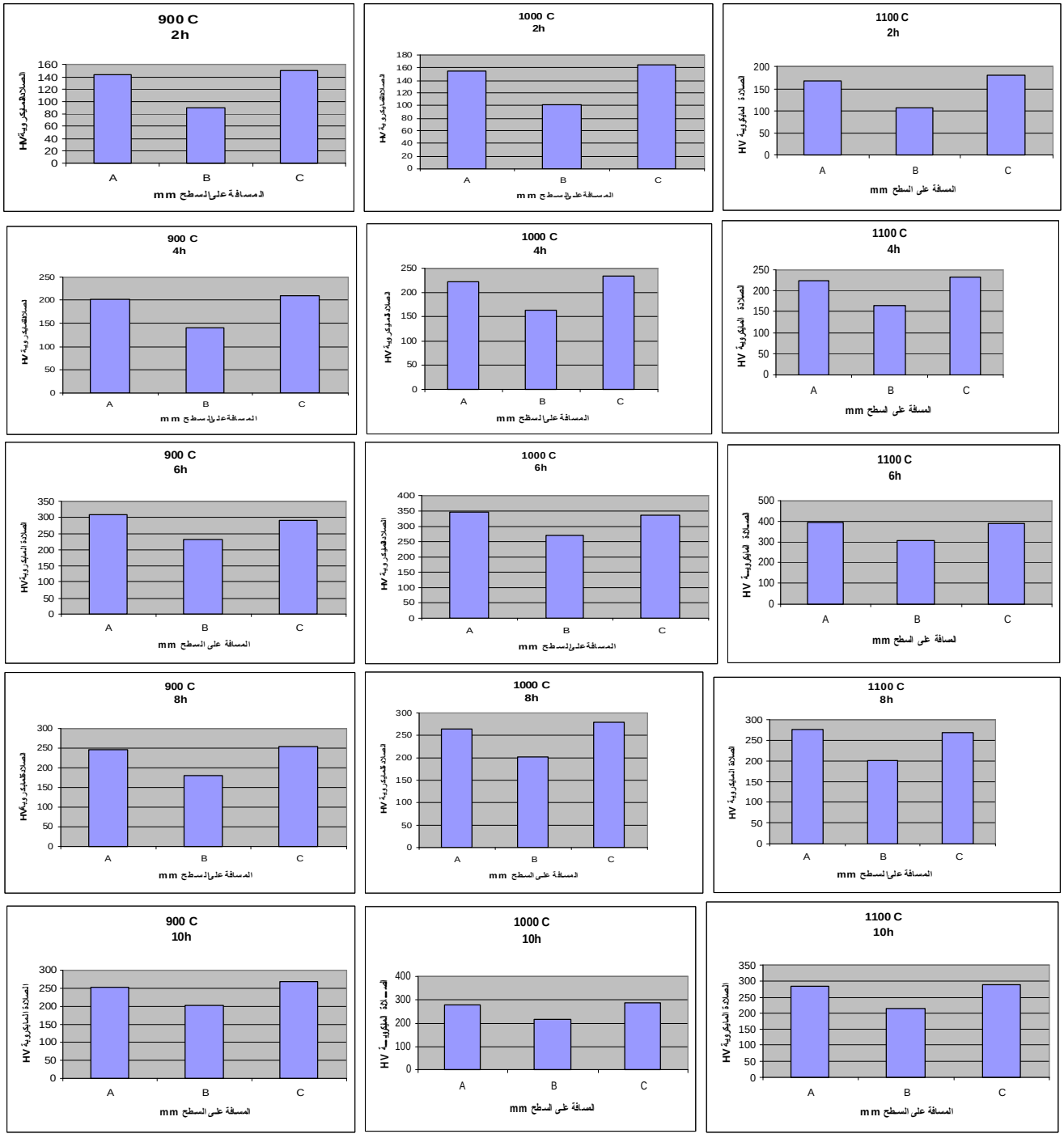
1100˚C/6h | 1000˚C/6h | 900˚C/6h

1100˚C/8h | 1000˚C/8h | 900˚C/8h

1100˚C/10h | 1000˚C/10h | 900˚C/10h

الشكل (3) يوضح التصوير ألمجهري لسمك طبقة الطلاء للعينات المطلية للدرجات الحرارية الثلاث وللفترات الزمنية (10,8,6,4,2)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



الشكل رقم (4) يوضح العلاقة بين مقدار التغير في الصلادة المايكروية مع تغير المسافة على سطح العينة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com