تحسين مقاومة التآكل بالتعرية لفولاذ متوسط الكاربون بطريقة الطلاء اللاكهربائي بالنيكل

م.م سندس محمد نوري*

تاريخ التقديم: 2010/6/3
تاريخ القبول: 2010/11/4

الخلاصة

تضمن البحث دراسة تحسين مقاومة التآكل بالتعرية لفولاذ متوسط الكاربون وذلك بطلائه بتقنية الطلاء اللاكهربائي بالنيكل، واستخدم في عملية الطلاء محلول طلاء حامضي (الرقم الهيدروجيني Ph = 4.5) وعند درجات حرارية مختلفة (70 ,75 ,80 ,85 ,90 ˚C) وذلك للحصول على معدلات ترسيب مختلفة للطلاء.

أجريت تجارب التآكل بالتعرية باستخدام جهاز خاص تم تصميمه وتصنيعه استنادا إلى المعيار العالمي [ASTM G73]. حيث استخدم محلول كلوريد الصوديوم بنسبة (3.5 wt %). محلول كلوريد الصوديوم المشابه لماء البحر يكون مشبعاً بغاز ثاني اوكسيد الكربون CO_2 لتكوين وسط أكال وإنتاج وسط حامضي ضعيف Ph = 4 وأضيف رمل السيليكا بنسبة 1wt % كعالق في ذلك الوسط.

بعد انجاز تقنية فقدان الوزن التقليدية, وجد إن معدلات التآكل المقاسة بطريقة فقدان الوزن تقل بزيادة قيم الصلادة والتي تزداد بزيادة درجة حرارة محلول الطلاء مما يدل على تحسين مقاومة الفولاذ للتآكل بعد طلائه لاكهربائيا بالنيكل وعند إجراء معاملات حرارية للعينات المطلية بدرجات حرارية مختلفة (300,400 ,500 ,700 ,800 ˚C)، لوحظ إن معدل التآكل يقل بزيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية وان اقل معدل تآكل تم الحصول عليه هو عند درجة حرارة 800˚C مما يدل على انه تم تحسين مقاومة التآكل ولكن بنسبة اكبر عما كانت عليه قبل إجراء المعاملة الحرارية.

كلمات مرشدة: تحسين مقاومة التآكل بالتعرية, فولاذ متوسط الكاربون, طلاء النيكل اللاكهربائي.

Improving erosion corrosion resistance of medium carbon steel using electro less nickel plating

Abstract

This research devoted to studying improvement resistance for the medium carbon steel to erosion corrosion by coated with electro less nickel plating and used in this coated acid bath (Hydrogen number Ph = 4.5) at deferent temperature (70,75,80,85,90˚C) to obtained deferent deposition rate of coating. The experimental work test were done using special device which was designed and manufactured according to [ASTM (G73)] with certain modifications.

Tests were made on corrosion (3.5wt %) sodium chloride Nacl solution as sea water purged with CO_2 gas as the corrosive media and 1wt % silica sand was added as slurry to that media.

After traditional weight losses technique was achieved, it was found that corrosion rate decrease with increase value of hardness which increase at increase temperature of coating solution. This indicate improvement corrosion resistance of metal. Heat treatment were done to coated specimens at deferent temperature (300,400,500,700,800˚C). It was found that corrosion rate decrease at increase

* قسم هندسة الإنتاج والمعادن ,الجامعة التكنولوجية / بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.29.1.17
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

heat treatment temperature. This indicate improvement corrosion resistance but at higher ratio to that before made heat treatment. Smallest corrosion rate was obtained at temperature 800C˚.

1 - المقدمة

التآكل بالتعرية يعرف بأنه معدل التآكل أو التحلل نتيجة الحركة النسبية بين الوسط الأكال وسطح المعدن وخصوصا إذا كان الوسط حاويا على عوائق رملية ومواد صلبة وصلدة. في حالة التآكل بالتعرية يحدث تأثير كهروكيميائي مصحوبا بتأثير ميكانيكي ناتج من الارتطام للسائل الأكال الحاوي على المواد الصلبة مثل حبيبات الرمل ونواتج التآكل الصلبة التي تبقى على شكل رواسب ومن ثم تنجرف وتصبح على شكل عائق مسببة سوفان أو بليان للمعدن الأساس بعد إزالة الطبقات الواقية المتكونة على سطح المعدن قي حالة المعادن والسبائك ذات طبيعة نشط – خامل. [1]

التآكل بالتعرية يعطي أعلى معدل فقدان بالوزن الناتج من تأثير سببين:-

الأول: التأثير الميكانيكي الذي يزداد بزيادة سرعة الوسط الأكال الحاوي على المواد الصلبة (Slurry) وينتج عنه تجويف (Cavitations) وتكون بشكل حفر أو تجاويف نتيجة للانهيار المفاجئ للفقاعات الهوائية أو البخارية المتكونة على السطح أو يكون الضغط في الفقاعة منخفض جدا وعليه فأنها سوف تنفجر وتنهار مسببة تلف أو بلى لسطح المعدن أو الطبقات الواقية المتكونة على سطح المعدن ومن ثم سطح المعدن الأساس وهكذا بشكل تكراري ومستمر حتى ينهار المعدن. وتآكل بسبب الفعل الارتطامي (Impingement) للسوائل المتحركة بسطح المعدن.

والثاني: التأثير الكهروكيميائي الناتج من تحلل المعدن بسبب الحركة النسبية بين سطح المعدن والمائع (السائل أو الغاز) المساعد على التآكل .[2, 3, 4]

يتميز التآكل بالتعرية عند حصوله بتكوين أخاديد أو تموجات أو ارتفاعات وانخفاضات على سطح المعدن أو على شكل حذوه الفرس ويكون لها شكلا اتجاهه هو نفس اتجاه حركة الوسط وباتجاه الارتطام والجرف ويسمى في بعض الأحيان (اتجاه النيازك المذنبة). [5]

إن أنواع الأجهزة والمعدات التي تتفاعل مع موائع متحركة تتعرض إلى التآكل بالتعرية ومثال ذلك وصلات الأنابيب مثل الوصلات المرفقية (Elbows) والانحناءات, وكذلك الصمامات والمضخات والنفاثات والنابذات(Cenrtry fugals) والخضاضات (Agitators) وأنابيب المبادلات الحرارية مثل المسخنات والمكثفات وريش المحركات الطور بينية والمنافث (Nozzles) والأجهزة المعرضة إلى الرش فإنها تتعرض لمثل هذا النوع من التآكل. أما الأوساط التي تؤدي إلى حصول تآكل التعرية فهي عديدة وتشمل الغازات المختلفة والمحاليل المائية والسوائل العضوية والمعادن المنصهرة. إن الدقائق الصلبة العالقة في السوائل والتي تدعى (الرادغ) Slurries تؤثر بشكل كبير وسئ في سطح المعدن في هذه الحالة. [6]

إن احد أهم الحلول العملية للحد من مشكلة التآكل بالتعرية هو استخدام الطلاء وخصوصا عندما تكون طبقة الطلاء من النوع الصلد والمقاوم للتآكل. وعليه تم اختيار طلاء النيكل لمقاومته العالية للتآكل. الطلاء اللاكهربائي بالنيكل خالي من المسامات مقارنة بالطلاء الكهربائي بالنيكل وقابليته على الترسيب بصورة متجانسة على الأجزاء التي يتم طلاؤها وهناك العديد من المنتجات التي لا يمكن أن يجري عليها الطلاء الكهربائي أما بسبب أشكالها المعقدة أو عدم انتظام سطحها في حين يمكن أن يجري عليها طلاء لاكهربائي منتظم ومتجانس في كافة أجزائه. ويمكن للطلاء اللاكهربائي بالنيكل أن يستخدم بديلا لمعدن الطلاء للعديد من المعادن والسبائك الثمينة في الكثير من الأجزاء مثل الصمامات وقطع تركيب الأنابيب والمضخات وضاغطات الهواء وأوعية التفاعل. ومثال على ذلك استخدامه في الخزانات التي تستخدم لخزن ونقل الحوامض الشحمية والتي يمكن طلاؤها

لاكهربائيا بالنيكل طالما إنها لا تساعد على أكسدة الشحوم. إن المقاومة الممتازة لسبيكة النيكل– فسفور للمهاجمة بالحوامض تساعد على منع تلوث الأجزاء عند استخدامها في خزانات الخلط مثل السيارات الحوضية والمرشحات والمبادلات الحرارية.[7]

هدف البحث Aim of the work

تم اختيار الطلاء اللاكهربائي بالنيكل لمقاومته العالية للتآكل. يكون تركيب طبقة الطلاء شبه زجاجي مشابه إلى تركيب المعادن المزججة (Metallic glass) التي تمتاز بمقاومتها للتآكل أكثر من السبائك المتعددة البلورات (Polycrystalline) لأنها خالية من الحدود البلورية ولا تحتوي على أطوار منفصلة. إن الحدود البلورية ووجود الشوائب تمثل مواقع مناسبة لحدوث التآكل.

2-الجزء العملي Experimental work

تم استخدام المعدن الأساس من الفولاذ المتوسط الكاربون نوع ($44Cr_2$) حسب المواصفة (DIN 1.3561) والتحليل الكيميائي للفولاذ مبين في الجدول (1).

اجري التحليل في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية والجهاز المستخدم نوع (Spectromax) موديل 2009.

2- 1 تحضير العينات لعملية الطلاء

تم تقطيع العينات بأبعاد (mm 20×10) وتم ثقب إحدى حافاتها بثقب قطره 2.4 mm لغرض تعليق العينات في محلول الطلاء. تم إجراء التنعيم الرطب باستخدام الماء وورق التنعيم وبدرجات نعومة مختلفة 1000,500,320,220. أما عملية الصقل فقد تمت باستخدام قماش خاص لصقل العينات ومحلول من مسحوق الالومينا. تم غسل العينات بالماء ثم جففت بالهواء الساخن.

2- 2 التغطيس ألحامضي

استخدم لهذا الغرض محلول حامض الهيدروكلوريك بتركيز 37% وبنسبة حجميه 30% من الحجم حيث وضعت فيه العينات لمدة 30 ثانية, تغسل العينات بالماء المقطر ثم تجفف بالهواء الساخن.

بعد الانتهاء من تحضير العينات تم وزن العينات قبل إجراء عملية الطلاء مباشرة باستخدام ميزان كهربائي حساس نوع (Denver) دقته $\pm$ 0.1 mg

2 - 3 التنظيف بالتغطيس القاعدي

تم استخدام محلول يتكون من:

1 – هيدروكسيد الصوديوم بنسبة حجميه 75%

2 – كاربونات الصوديوم بنسبة حجميه 25%

وتم غمر العينات في محلول التنظيف عند درجة حرارة 70C˚ ولمدة 15 min , بعدها تم غسلها بالماء الجاري لإزالة بقايا المحلول القاعدي يلي ذلك غسل العينات بالماء المقطر.

2- 4 عملية الطلاء

تم استخدام طريقة الطلاء ألحامضي باستخدام المحاليل التالية: [8]

- كبريتات النيكل ($NiSO_4.7H_2O$) 21 غم / لتر
- هايبوفوسفات الصوديوم (NaH_2PO_2) 24 غم / لتر
- حامض اللاكتيك ($C_3H_5O_3$) 24 غم / لتر
- حامض البروميك ($HBrO_3$) 2.2 غم / لتر

وقد ثبت الرقم الهيدروجيني (الدالة الحامضية) لمحلول الطلاء عند Ph = 4.5 وقد أجريت عملية الطلاء عند درجات حرارية مختلفة (70,75,80,85,90˚C) لمدة ساعتين.

2- 5 إجراء عملية الطلاء

تم إجراء عملية الطلاء اللاكهربائي بتهيئة محلول الطلاء المحضر في وعاء من الزجاج (Pyrex) سعته (1 Liter) بعد ذلك تم وضع الوعاء الحاوي على محلول الطلاء داخل حمام مائي (Water bath) وتم تحريك المحلول باستخدام خلاط مغناطيسي (Magnetic Stirrer) لمدة ساعتين. إن محاليل الطلاء المستخدمة لكل عمليات الطلاء تم تحضيرها آنيا قبل إجراء عملية الطلاء مباشرة.

2- 6 المعاملة الحرارية

إن أهم العوامل المؤثرة على مقاومة التآكل للطلاء اللاكهربائي بالنيكل هي المعاملة الحرارية اللاحقة لعملية الطلاء. لذا أجريت معاملة حرارية لعينات مطلية بالنيكل عند درجات حرارية مختلفة (300,400,500,600,700,800˚C) لمدة ساعة واحدة داخل الفرن ثم أجريت عملية التبريد في الهواء .تم اختيار عينات مطلية عند درجة حرارة 90˚C ,لأنها تعطي أعلى قيم للصلادة وأعلى معدلات ترسيب وكان سمك الطلاء 35 µm , وتم قياسه باستخدام جهاز

SEIDNER
7940 RIEDLINGEN
W-GERM
1.5V
BADY 1EC LR 14

في قسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية.

2- 7 تحضير العينات للفحص ألمجهري والصلادة

استخدم المجهر الضوئي نوع (Carl zeiss) في قسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية لغرض تصوير العينات قبل و بعد إجراء عملية الطلاء والمعاملة الحرارية وكذلك بعد تعريضها إلى محلول ملحي (ماء البحر) وحدوث تآكل بالتعرية وذلك لمعرفة التغيرات الحاصلة في البنية المجهرية لطبقة الطلاء نتيجة حدوث التآكل بشكل واضح. استخدم في عملية الإظهار محلول النايتل (98% كحول + 2% حامض النتريك) .

تم قياس الصلادة المجهرية micro (hardness) للعينات المطلية بالنيكل باستخدام جهاز الصلادة المجهرية وبحمل مقداره (100) غم ولغرض إعطاء سطح نظيف وواضح تم صقل العينات قبل إجراء فحص الصلادة.تم قياس الصلادة في قسم هندسة الإنتاج والمعادن في الجامعة التكنولوجية.

2- 8 اختبار التآكل بالتعرية

لغرض دراسة مقاومة التآكل لطبقة الطلاء تم استعمال الجهاز المبين في الشكلين(2) و(3) وهو جهاز مصنع محليا وتضمن مبدأ عمل الجهاز الخطوات التالية:

1- تهيئة وتحضير العينات الخاصة بالاختبار وإيجاد الوزن الابتدائي لها.
2- تهيئة وإعداد مستلزمات الربط بالجهاز (جهاز التآكل بالتعرية).
3- تهيئة المحلول المتكون من عائق رملي بنسبة 10% وهو رمل الارضمة (من الرمال العراقية الزجاجية العالية السليكا SiO2) ومحلول ماء البحر 3.5% كلوريد الصوديوم + ماء مقطر.
4- جهاز قياس الحامضية (Ph meter) وقنينة غاز ثاني اوكسيد الكربون CO_2.
5- ربط العينة بالجهاز ضمن الموقع المحدد لها.
6- تهيئة الصمامات وبعدها يتم تشغيل الجهاز.
7- ضبط قوة الضخ وتكون بمعدل جريان (Q = 36 L/ min) وضغط 1bar ودرجة حرارة مقاربة لدرجة حرارة الغرفة.
8- تم حساب الزمن من اللحظة الأولى لتصادم المحلول العائق بالعينة بعدها تم إخراج العينة بعد الفترة الزمنية المحددة لها تم تنظيفها من نواتج التآكل باستخدام فرشاة ناعمة وغسلها وتجفيفها ثم توزن العينة باستخدام الميزان الحساس.
9- كررت العملية في عدة مراحل وفي كل مرحلة يكون زمن الاختبار (15) دقيقة وتتم في ستة مراحل وفي كل مرحلة يتم حساب معدل التآكل وبعدها تم حساب معدل التآكل النهائي ولفترة زمنية (90) دقيقة.

بعد انتهاء الاختبار تم تنظيف العينات من نواتج التآكل باستخدام فرشاة ناعمة وبعدها غسلت بالماء الجاري ثم جففت بالفرن وتركت لتبرد وتم وزنها بميزان كهربائي حساس يقيس إلى حد أربعة أرقام عشرية والدقة ±0.0001 وذلك لحساب الفقدان بالوزن وعلى فترات متساوية كل 15 دقيقة ولفترة 90 دقيقة.

وتم حساب معدل التآكل بالتعرية باستخدام طريقة فرق الوزن بوحدات (mdd) (ملي غرام لكل ديسمتر مربع لكل يوم) وذلك باستخدام القانون الآتي : [9]

$$C.R = \frac{W0 - W1}{AT}$$

mdd = mg per dm^2 per day

حيث أن:-

C.R - معدل التآكل (Corrosion Rate)

W_0 - وزن العينة قبل الاختبار (ملغم)

W_1 - وزن العينة بعد الاختبار (ملغم)

A - المساحة السطحية للعينة المعرضة للتآكل (سم٢)

T - زمن التعرض (يوم)

مناقشة النتائج Results and Discussion

بعد إجراء عملية الطلاء اللاكهربائي بالنيكل للفولاذ متوسط الكاربون لوحظ إن قيم الصلادة المجهرية تزداد عند زيادة درجة حرارة محلول الطلاء وان أعلى قيمة تم الحصول عليها هي عند درجة حرارة 90˚C وكانت 520 Hv وكما مبين في شكل (4) لان درجة الحرارة هي من العوامل المهمة التي تؤثر على عملية الطلاء وان معدل الترسيب يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة وقد لوحظ إن اغلب محاليل الطلاء تستخدم عند درجات حرارية عالية وذلك للحصول على معدلات ترسيب عالية. [10]

شكل (5) يبين العلاقة بين الصلادة ومعدل التآكل للعينات المطلية بالنيكل حيث لوحظ كلما تزداد قيم الصلادة فان معدل التآكل يقل مما يدل على زيادة مقاومة المعدن للتآكل ولكن هذه الزيادة تكون بنسبة اقل عما كانت عليه قبل إجراء المعاملة الحرارية شكل (6) يوضح البنية المجهرية للعينة المطلية بالنيكل والمعرضة للتآكل قبل إجراء المعاملة الحرارية.

حسب ما أشار إليه عدد من الباحثين [11, 12] بان التركيب بعد إجراء عملية الطلاء هو أما دقيق التبلور (microcrystalline) أو غير متبلور (amorphous) وهو عبارة عن طبقات من محلول جامد فوق درجة الإشباع من الفسفور المذاب في بلورات دقيقة جدا من النيكل وهذا التركيب هو الذي يمنح طبقة الطلاء مقاومة التآكل العالية يلاحظ في شكل (7) التصوير المجهري لعينة مطلية بالنيكل اللاكهربائي.

وكذلك فان وجود الفسفور وهو عنصر لا فلزي يؤدي إلى تكوين طبقة سطحية خامدة (Passive Layer) وواقية من التآكل ويلاحظ من الشكل (8) إن قيم الصلادة تزداد بزيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية ضمن المدى 300- 400˚C بعدها تبدأ قيم الصلادة تقل عند زيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية وان أعلى قيمة تم الحصول عليها هي عند درجة حرارة 400˚C وكانت Hv= 815 حيث اثبت الباحث [13] عند درجة حرارة أعلى من 200˚C يبدأ ترسيب فوسفيد النيكل (Nickel Phosphide) وعند درجة حرارة 300 – 400˚C يتكون خليط من النيكل البلوري وفوسفيد النيكل (Ni_3 P) وعند محتوى فسفور قليل يكون التركيب فوسفيد النيكل في أساس من النيكل وعند زيادة محتوى الفسفور يكون الأساس فوسفيد النيكل ويكون صلد وهش.

عند درجة حرارة أعلى من400˚C يتم حدوث إعادة تبلور ونمو حبيبي وكلما يزداد حجم الحبيبات فان صلادة الطلاء المترسب سوف تقل تدريجيا.

عند درجة حرارة 600˚C يتم انتشار النيكل في المعدن الأساس (الفولاذ) ويحصل نتيجة الاختراق السريع للحدود البلورية مما يؤدي إلى تكوين بلورات من الحديد ذات حدود بلورية غنية بالنيكل وان منطقة الانتشار Ni (– Fe) سوف يزداد سمكها تدريجيا مع زيادة زمن التلدين.

في الوقت نفسه فان الفسفور سوف ينتشر إلى السطح ويتفاعل مع الأوكسجين الموجود ليكون $0P_2O_5$ لذا فان معدل التآكل يزداد بزيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية أي أن مقاومة التآكل للفولاذ سوف تقل إلى حد درجة حرارة 400˚C بعد ذلك ينخفض معدل التآكل وكما مبين في شكل (9).

إن انخفاض مقاومة التآكل بسبب وجود فرق بين معامل التمدد الحراري لكل من طبقة الطلاء (النيكل) والمعدن الأساس (الفولاذ) وان حدوث التمدد أثناء التسخين والتقلص أثناء التبريد سوف يؤدي إلى حدوث تشققات دقيقة جدا في طبقة الطلاء ولكنها غير عميقة وغير نافذة ولاتصل إلى المعدن الأساس حسب ما أكده الباحث [14] حيث يلاحظ في

شكل (10) زيادة المناطق المعرضة للتآكل بالتعرية.

وعند المدى الحراري 500-800 ˚C يقل معدل التآكل بزيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية, ويعزى ذلك كما اشار اليه الباحث [15] إلى حدوث نمو بلوري وان دقائق فوسفيد النيكل المترسب تصبح ذات حجم بلوري اكبر من الدقائق المترسبة عند درجة حرارة 400˚C وهذا طبيعي إذ يزداد حجم البلورات بزيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية, بالإضافة إلى زيادة قوة التلاصق بين المعدن الأساس وطبقة الطلاء نتيجة تكوين طبقة انتشارية من النيكل والحديد (Ni-Fe).

وإن سمك هذه الطبقة الانتشارية (Ni-Fe) يزداد مع زيادة زمن المعاملة الحرارية, وعندما تصل درجة حرارة المعاملة الحرارية الى أعلى من600˚C تصبح هذه الطبقة متماسكة وذات مطيليه عالية ومقاومة للتآكل.

إما عندما تزداد درجة الحرارة إلى أعلى من 700˚C سوف يتم تكوين طبقة انتشارية بينية كبيرة والتي تمنع اختراق الوسط ألتآكلي إلى المعدن الأساس, إن انتشار النيكل في الفولاذ يحصل بواسطة الاختراق السريع للحدود البلورية وهذا النوع من الانتشار يؤدي إلى تكوين بلورات من الحديد ذات حدود بلورية غنية بالنيكل وهذه المناطق (الحدود البلورية) هي التي تمنح طبقة الانتشار المقاومة العالية للتآكل, حيث يلاحظ في شكل (11) قلة المناطق المعرضة للتآكل بالتعرية مما يدل على زيادة مقاومة الفولاذ للتآكل بالتعرية .

يبين الشكل (12), تأثير التآكل بالتعرية للفولاذ قبل إجراء عملية الطلاء حيث لوحظ أثار تشبه تقريبا حذوه الفرس وهي صفة مميزة للتآكل بالتعرية وتكون مرتبة باتجاه جريان الوسط الأكال وتكون عميقة لان المعدن تعرض للتعرية من قبل حبيبات الرمل والتي تعتبر المادة المعرية أو الأكالة (Erosive) في الوسط الأكال وهذا يطابق نتائج البحث والباحث .[2]

الاستنتاجات Conclusion

1- تزداد صلادة العينات عند إجراء عملية الطلاء اللاكهربائي بالنيكل وكذلك عند زيادة درجة حرارة محلول الطلاء وان أعلى قيمة تم الحصول عليها عند درجة حرارة 90 ˚C
2- عند إجراء معاملات حرارية بدرجات حرارية مختلفة فان صلادة العينات المطلية بالنيكل تزداد ضمن المدى 300-400 ˚C بعدها تبدأ صلادة العينات تقل عند زيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية وان أعلى قيمة للصلادة تم الحصول عليها هي عند درجة حرارة 400 ˚C.
3- يقل معدل التآكل عند زيادة صلادة العينات المطلية وقد حصل تحسين في مقاومة التآكل للفولاذ المتوسط الكاربون بلغت نسبة % 63 مقارنة بالعينة قبل إجراء عملية الطلاء.
4- يزداد معدل التآكل عند زيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية للعينات المطلية ضمن المدى 300 - 400˚C بعدها يبدأ يقل عند زيادة درجة حرارة المعاملة الحرارية وقد بلغ مقدار التحسين في مقاومة التآكل 79% عند درجة حرارة 800 ˚C مقارنة بالعينة غير المعاملة حراريا.

المصادر

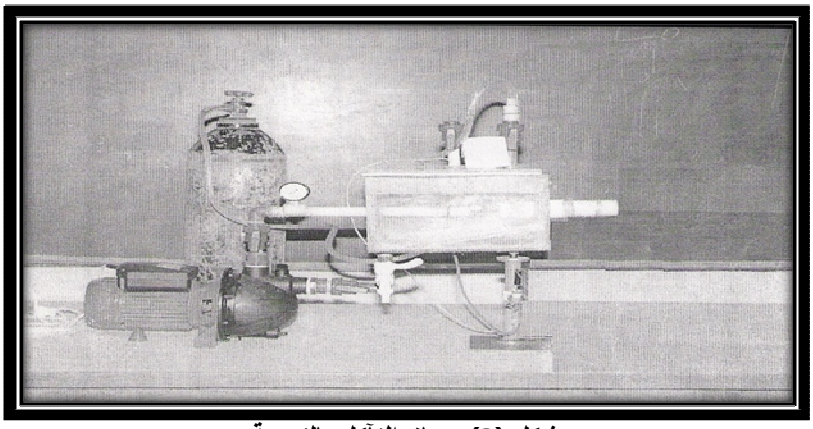
[1]. رحمة الله , حسين باقر "هندسة التآكل وحماية السطوح", مطابع التعليم العالي في الموصل, 1986.
[2]. محمد عبد اللطيف, "تخمين التعرية والتآكل بالتعرية في للأنبوب الفولاذي", رسالة ماجستير, الجامعة التكنولوجية, قسم هندسة الإنتاج والمعادن, 2007.
[3]. J. Postiet thwaite, sinesic, “Erosion-Corrosion in single and multiphase flow”, corrosion hand book, Corrosion and Multiphase Technology, second edition, 2000.
[4]. Han, Lin, J.H, Kuo, J.J, He, J. L& shih, h. c, ”The cavitation-erosion phenomenon of chromium nitride coatings deposited using cathodic arc plasma deposition on steel”, surface and coatings technology, Vol. 161, 2002.

[5]. MARSG. FONTANA, NORBERT D. GREEN, "Corrosion Engineering", Mc Graw-Hill, Inc., second Edition, 1982.
[6]. V.Ashworth, Global," corrosion consultants", UK, Corrosion Industrial problems, treatment and control techniques, KFAS proceedings series , Volume 29, 1987.
[7]. Puchi Cabrera and M.H. Staia, L.,Gill, L Jimenez, A.C. CASTOO "Evaluation of the effect of Ni-P coating on the corrosion resistance of the aluminum 7075 TG alloy, Revista de metalurgia, Vol. 44, No.1, 2008.
[8]. "Metals Hand book", Ninth edition, Wear-Cote International, Inc., Volume 5, American society for metals, 1982.
[9]. Annual book of ASTM standers, Laboratory Immersion corrosion testing of metals, Volume 03.02, 1988.
[10].X. Changgeng, H. Xinmin, D. Zonggang and W. Yan wen, "The properties of electroless Ni –P and Ni-P-Sic", plating and surface finishing, Vol.6,1989.
[11]. M. sadeghi, P.D. Longfield and C.E.Beer, "Effects of heat treatment on the structure, corrosion resistance and stripping of electroless nickel coatings", M&T chemicals Ltd, Ruislip Technical center, 1983.
[12]. R. Raicheff and V. Zaprianova, "corrosion resistance of electroless nickel coating" J. Mater. Sci. lett .19 (2000).
[13]. Konrad parker, "Effects of heat treatment on the properties of electroless nickel deposits", plating and surface finishing, Vol. 68, No.129, 1981.
[14]. GARY Arthur Napert, "Fatigue performance of electroless nickel coatings on stainless steel gas turbine compressor rotors", Thesis of M.Sc in Aeronautics and Astronautics, United States coast Guard August 39, 1990.
[15]. J.TW Jappes, B Ramamoorthy, PK Nair, "Effect of process parameters on efficiency and performance of electroless nickel-phosphorous deposits", IEI Journal-MM, Vol.85, October 2004.

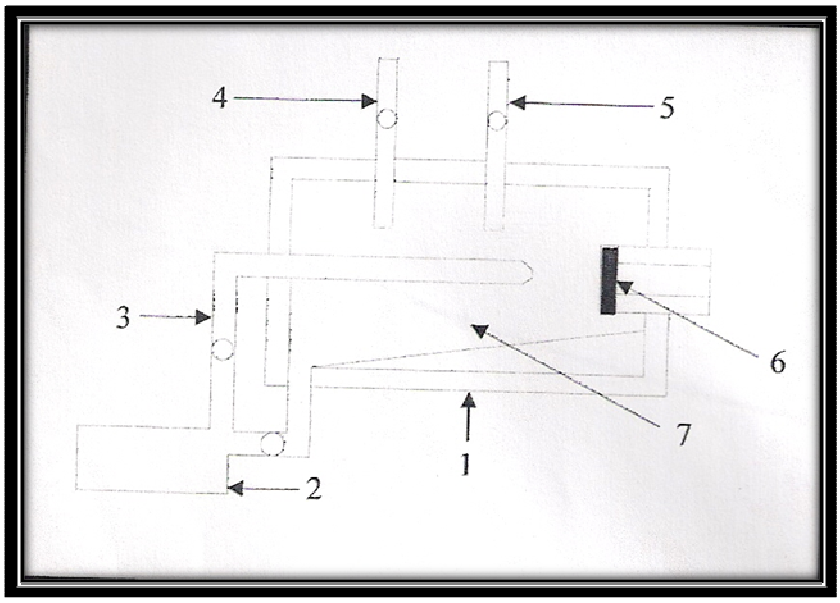
جدول (1) يبين التركيب الكيميائي للمعدن الأساس Wt%

C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu
0.43	0.35	0.035	0.035	0.8	0.09	0.95	0.031	0.200	0.144
W	Sn	Co	Al	Fe					
0.04	0.001	0.01	0.01	Rem.					

شكل (1) التصوير ألمجهري للمعدن الأساس قبل عملية الطلاء (يتكون من برلايت +فرايت) قوة التكبير 125X

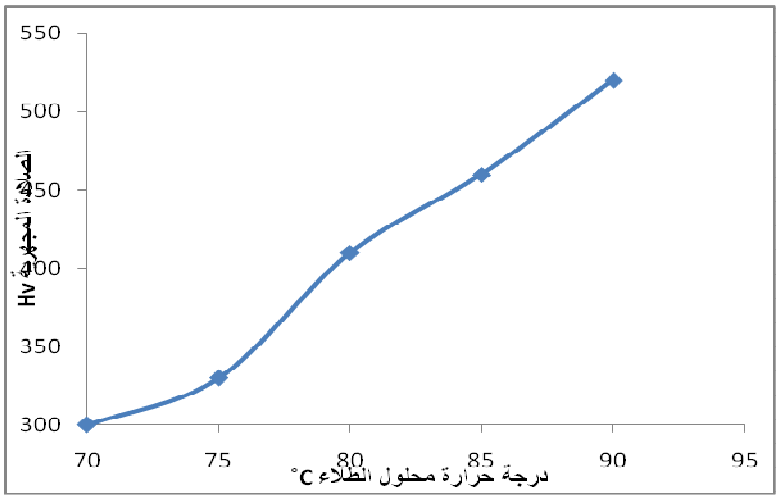


شكل (2) جهاز التآكل بالتعرية

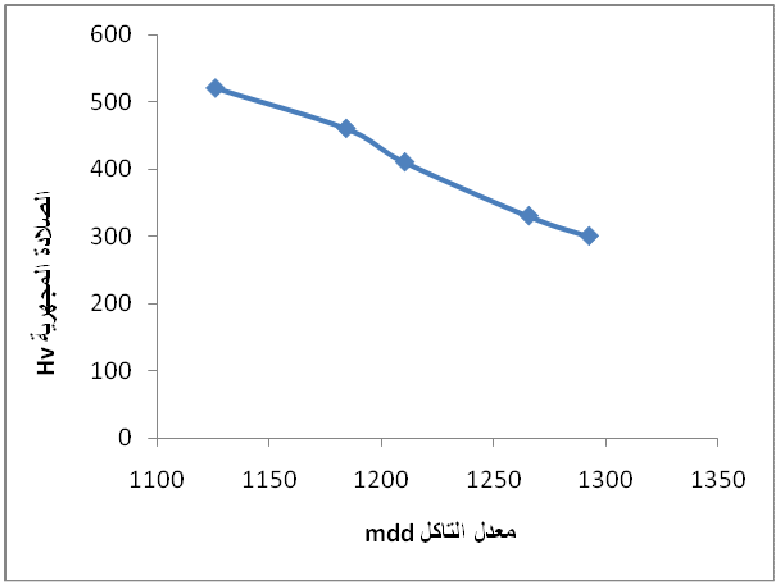


1	Tank Perspex (plastic) Tank
2	1 H.P Motor
3	P.V.C PIPE
4	Outlet gas pipe
5	Inlet gas pipe
6	Metal specimen
7	Effective Media

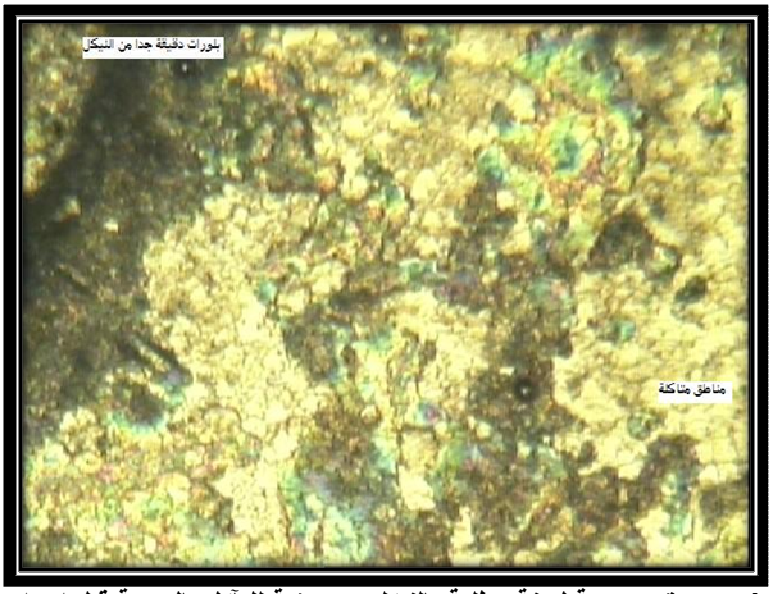
شكل (3) الرسم التخطيطي لجهاز التآكل بالتعرية



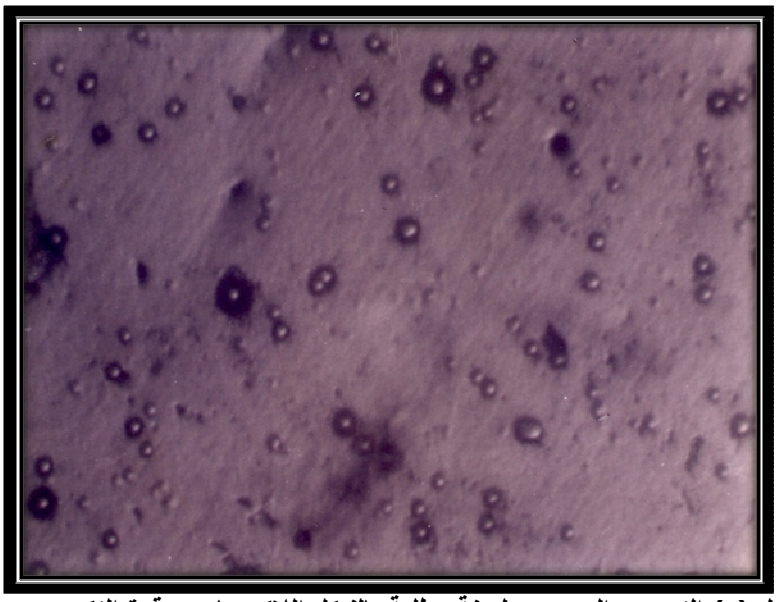
شكل (4) العلاقة بين درجة حرارة محلول الطلاء °C والصلادة المجهرية Hv



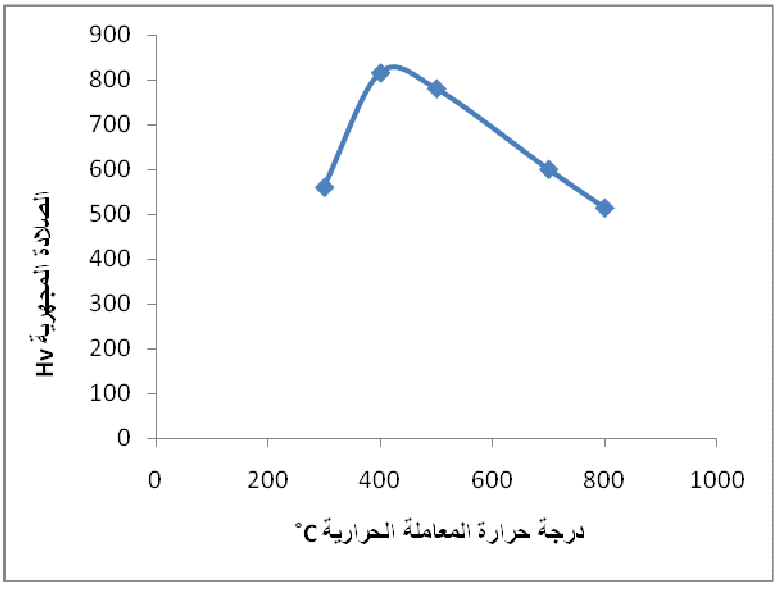
شكل (5) العلاقة معدل التأكل mdd والصلادة المجهرية Hv قبل إجراء المعاملة الحرارية



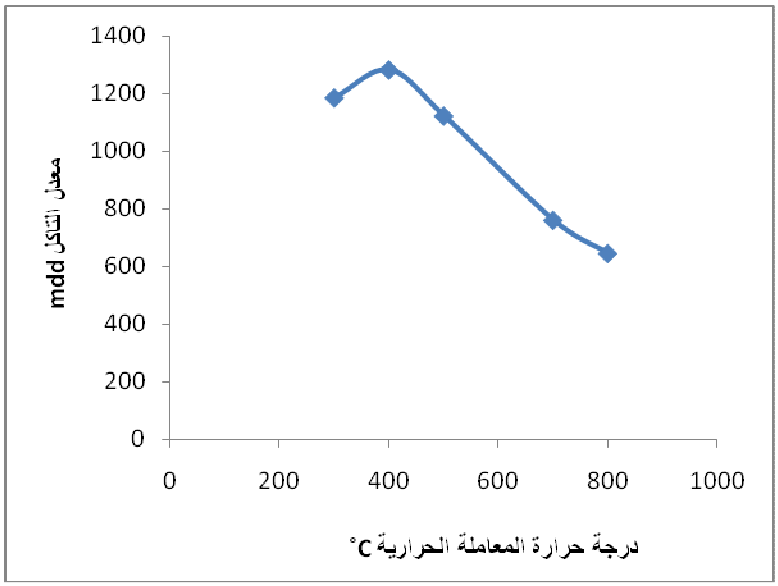
شكل (6) صورة مجهرية لعينة مطلية بالنيكل ومعرضة للتآكل بالتعرية قبل إجراء معاملة حرارية. قوة التكبير 125X



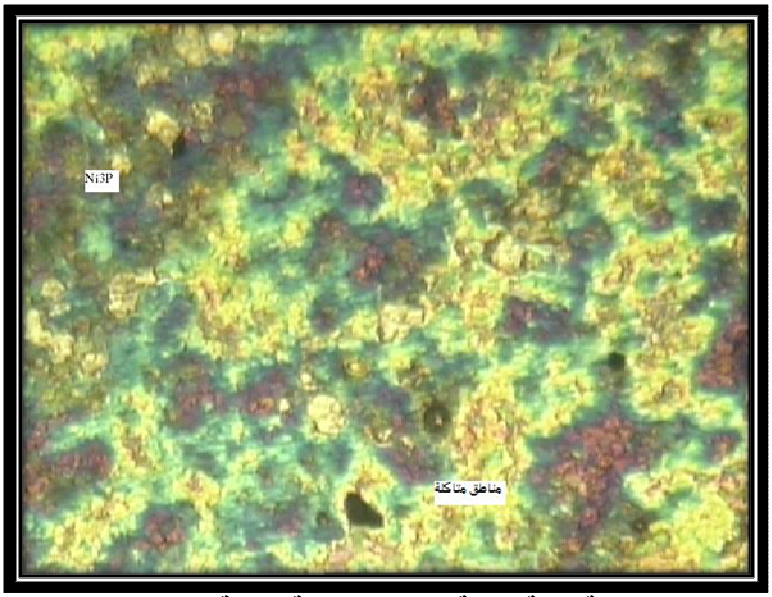
شكل (7) التصوير المجهري لعينة مطلية بالنيكل اللاكهربائي . قوة التكبير 125X



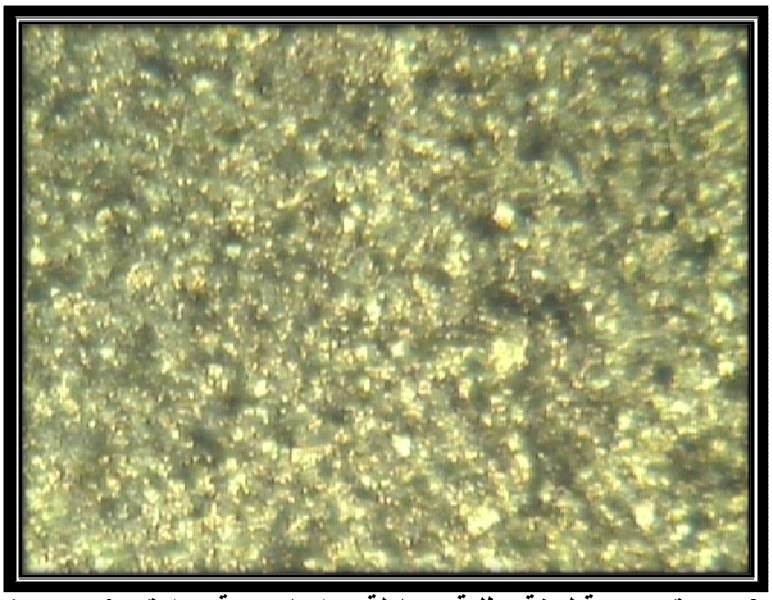
شكل (8) العلاقة بين درجة حرارة المعاملة الحرارية للعينات المطلية بالنيكل °Cوالصلادة المجهرية Hv



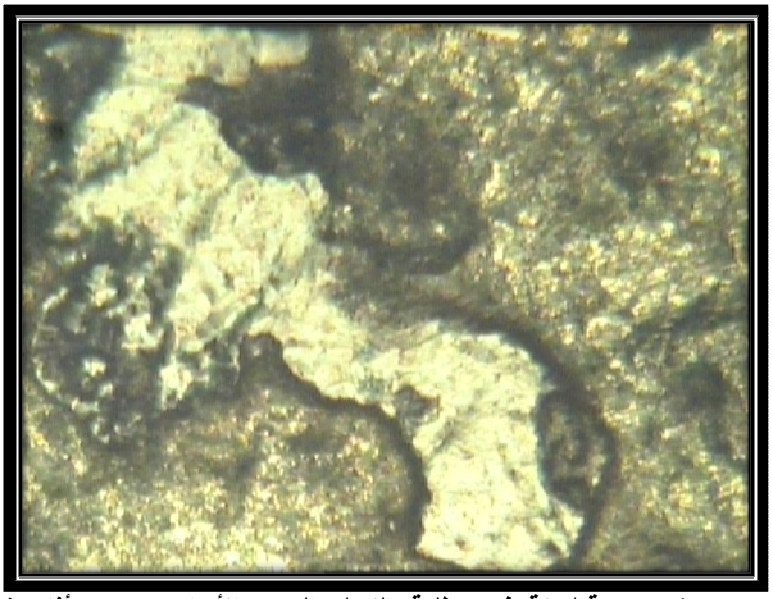
شكل (9) العلاقة بين درجة حرارة المعاملة الحرارية لعينة مطلية بالنيكل °C ومعدل التآكل mdd



شكل (10) صورة مجهرية لعينة مطلية بالنيكل ومعاملة بدرجة حرارة 400°C توضح مقدار الزيادة في المناطق المعرضة للتآكل بالتعرية . قوة التكبير 125X



شكل (11) صورة مجهرية لعينة مطلية ومعاملة حراريا بدرجة حرارة 800°C توضح مقدار النقصان في المناطق المعرضة للتآكل بالتعرية . قوة التكبير 125X



شكل (12) صورة مجهرية لعينة غير مطلية بالنيكل (المعدن الأساس) تبين أثار تشبه حذوة الفرس تقريبا. قوة التكبير 125X