دراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك التاكلي للسبيكة (AL -2Cu – 2Mg) في المحلول ألحامضي

زهير طالب خليف الطائي

جامعة بابل / كلية الهندسة /قسم هندسة المواد

الخلاصة :

البحث الحالي تضمن دراسة تأثير درجة الحرارة لمحلول التآكل على السلوك التاكلي لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) باستخدام طريقة الغمر البسيط في محلول حامضي ((3%HCl) كنسبة حجميه) في درجات حرارة مختلفة (30,40,50,60,70,80C°) .تم اعتماد طريقة التغير في الوزن وكذلك استخدام التصوير بالمجهر الضوئي بقوة تكبير (600X) لدراسة طبوغرافية سطح العينات . وقد اختبرت السبيكة في حالات مختلفة (بدون معاملة حرارية، معاملة محلولياً بدرجة (500C°) ولفترة زمنية مقدارها (45min.) ،معتقة اصطناعياً بدرجة (170°C)) ولفترة زمنية مقدارها (3hr.).

أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال دراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك التاكلي للسبيكة في المحلول ألحامضي زيادة واضحة في معدل التآكل مع زيادة درجة الحرارة للمحلول المستخدم وهذه الزيادة تكون مختلفة بالاعتماد على الحالة التي كانت عليها السبيكة ، فقد أظهرت النتائج الفرق في السلوك التاكلي في المحلول ألحامضي للسبيكة تحت نفس الظروف لكن بمعاملات حرارية مختلفة ،حيث امتلكت السبيكة المعاملة محلولياً في درجة حرارة (500C°) أدنى مستويات فقدان الوزن مقارنةً بالحالتين غير المعاملة والمعتقة اصطناعياً ، في حين أظهرت السبيكة غير المعاملة حراريا فقدان كبير في الوزن مع زيادة في معدل التآكل مقارنة بالعينات الأخرى.أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال معادلة و مخططات ارينيس إن معدل التآكل للسبيكة المعاملة محلوليا قد ازداد بمقدار (12) مرة عند زيادة درجة الحرارة من (30) إلى (80) درجة مئوية ، في حين معدل التآكل للسبيكة المعاملة بمعاملة التعتيق قد ازداد بمقدار (24) مرة عند زيادة درجة الحرارة ضمن نفس المعدل السابق ، آما السبيكة الغير معاملة حراريا فقد أظهرت زيادة عالية جدا في معدل التآكل حيث حصلت زيادة بمقدار (180) مرة عند زيادة درجة الحرارة من (30) إلى (80) درجة مئوية.كما أظهرت نتائج مخططات ارينيس إن السبيكة المعاملة حرارية بالمعاملة المحلولية تخضع لعلاقة ارينيس في حين السبيكة الغير معاملة حراريا والسبيكة المعتقة اصطناعيا لاتخضع لعلاقة ارينيس .

The Effect of Temperature On The Corrosion Behavior of (Al-2Cu-2Mg) Alloy In The Acidic Solution .

Zuheir Talib Khulief Al-Tai
Babylon University/College of Eng.
Mat. Eng. Dep.

Abstract:

This study deals with the effect of temperature on the corrosion behavior of Al-2Cu-2Mg) alloy by using simple immersion in acidic solution((3% HCl) by volume) at (30,40,50,60,70,80C°). The weight change method and microscopic examination are used in this study. Alloy without treatment, Solution heat treated at (500C°), Artificial aged at (150C°) are used to complete this study. The result of effects of temperature on the corrosion behavior of alloy in acidic solution showed a continuous increasing in corrosion rate with increase the temperature of solution. The result showed that the solution-treated alloy have the lowest weight losing compared with the untreated and artificial aged alloys where the last one show a mid stat between the other states. In the other hand the results of Arrhenius equation and the Arrhenius plots showed the rate of corrosion of the solution heat treated alloy increase (12) time when increase the temperature from (30C°) to (80C°) , the rate of corrosion of the artificial alloy increase (24) time when increase temperature in the same range above , and the untreated alloy appears high increase in corrosion rate ; the rate of corrosion increase (180) time when increase the temperature from (30C°) to (80C°) . The solution heat treated alloy submit to the Arrhenius equation while the untreated alloy and the artificial alloy not submit to the Arrhenius equation.

المقدمة :

التآكل موضوع واسع ومتشعب بسبب المتغيرات الكثيرة التي يتضمنها حيث يعد مشكلة العصر لما يسببه من خسائر تقدر بملاين بل ببلايين الدولارات ويعرف التآكل بأكثر من صيغة منها انه انحلال بواسطة التفاعل الكيميائي او الكهروكيميائي مع الوسط المحيط به والذي يكون في حالة تماس مباشر معه سواء أكان هذا الوسط المحيط ,المحيط الجوي أم محيطا كيميائيا أخرفي أية درجة حرارة كانت, (Corrosion theory and Corrosion Protection ,EM1110 – 2-3400, Apr – 1995). والعواقب الوخيمة من عملية التآكل أصبحت مشكلة ذات أهمية عالمية فضلا عن ذلك فان في كل يوم من أيام حياتنا نشاهد أن التآكل قد سبب انهيار محطات الطاقة , خسائر مالية , تلوث المنتجات , انخفاض في الكفاءة , صيانة مكلفة , التصميم المفرط المكلف وإعاقة التقدم التكنولوجي .إن زيادة التعقيد في موضوع السيطرة على التآكل تطلب فهم وبيان آليات التآكل وأنواع التآكل وذلك لاستعمال مواد مقاومة للتآكل (Pierre R. Roberge,2000) , وتعتبر سبائك الألمنيوم من السبائك المهمة لما لها من استعمالات واسعة في العديد من حقول التكنولوجيا كالصناعات الفضائية وصناعة السيارات وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لهذه الاستعمالات ككثافتها الواطئة ومقاومتها الجيدة للتآكل وتوصيليتها الحرارية العالية .Vanhile P)

(and Tosto S.,1992 . وقد باتَ معروفاً أن لسبائك الألمنيوم مزايا متفردة وخصائص تتبنّاها صناعات الفضاء ،ولعل عمليات الاصلاد بالترسيب او التعتيق من سماتها الرئيسية ألتي تنتشر تفصيلاتها التقليدية في مراجع عديدة, ويسود كثيراً من مراكز البحوث العالمية حالياُ تزاحم محموم لتطوير وإدراك آليات وفلسفة حصول الناكل في سبائك الالمنيوم, وقد قدمت دراسات وبحوث عديدة تهدف إلى دراسة التآكل في سبائك الألمنيوم ومن هذه الدراسات , في عام 2000 قام (Eiji Akiyama , K . Asami ,2000) بدراسة زيادة مقاومة التآكل لسبائك الألمنيوم باستخدام بعض الإضافات من عناصر السبك , تمت الدراسة على سبائك (Al – Ti) و(Al – Cr) ومن اجل تحسين مقاومة التآكل لهذه السبائك تم إضافة عنصر سبك ثالث اليها مثل (Ni,Mo) الى سبائك (Al – Ti) و(Al – Cr) , كذلك تم دراسة تاثير (Mg) على السلوك التاكلي للسبيكة (Al-Ti) في محلول يحتوي الكلوريدات. جرت الدراسة باستخدام محلول حامضي (1M HCl) للسبائك (Al-Ti-Ni ,Al-Cr-Ti ,and Al-Cr-Mo) كذلك استخدام (0.075M Na2B4O7+0.3M H3BO3+0.5M NaCl) للسبيكة (Al-Ti-Mg) جرت الاختبارات جميعها في درجة حرارة المختبر , أظهرت النتائج التأثير الواضح للعناصر المضافة على مقاومة التآكل عن طريق زيادة التيار الكاثودي والانودي والبعض الآخر زاد من إستقرارية الغشاء الخامد.

عام 2001 قام (D. A. Little and J. R. Scully ,2001) بدراسة التآكل الموقعي والتآكل الإجهادي (SCC) لنوعين من سبائك (Al-Cu-Mg-Ag) وهي (C415 - C416) , تمت الدراسة باستخدام ألمنيوم نقي (99.99) مع السبائك المذكورة أعلاه حيث تم استخدام سبائك مجهدة وأخرى غير مجهدة وفي أوساط مختلفة من (NaCl) وبتركيز (0.06 M – 0.006) .أثبتت النتائج أن الجهد الحرج للسبيكة (C415) و (C416) في حالة المراجعة يكون اقل من الحالة التي تكون فيها السبائك كمحلول جامد ولكنه أعلى من حالة الألمنيوم النقي (99.99) , كذلك فان هذا الجهد يقل كلما زادت الفترة الزمنية للتعتيق.

في عام 2002 قام (D.Bengtsson Blucher, J. E. Svensson and L.G. Johansson (2002 , بدراسة التاكل الجوي للالمنيوم في وسط من (NaCl) تحت تاثير درجة الحرارة ووجود ثاني اوكسيد الكربون . تمت الدراسة باستخدام المنيوم من نوع (AA1070) ,حيث تمت الدراسة في درجات حرارية مختلفة (4, 10 ,22 ,38 ,50, 60 C°) حيث تم تعريض العينات إلى وسط تأكلي يتكون من (14-70 mg/cm^2 NaCl) , أظهرت النتائج حصول فرق في السلوك التاكلي للسبيكة مع درجة الحرارة ففي درجة حرارة (4 C°) كان تأكل الألمنيوم جدا قليل , أما في درجات الحرارة (10,22,38 C°) معدل التآكل بغياب ثاني اوكسيد الكربون يكون اكبر

بمقدار (5-20) مرة من معدل التآكل إذا كان الوسط الجوي يحوي على (350 ppm) من ثاني اوكسيد الكربون , امافي درجات الحرارة الأعلى من (38 C°) معدل التآكل مع وجود النسبة ذاتها من ثاني اوكسيد الكربون يزداد بشكل متذبذب مع درجة الحرارة ويكون معدل التآكل ثابت مع درجة الحرارة في حالة عدم وجود ثاني اوكسيد الكاربون , إما في درجة الحرارة 60 C°) (يأخذ معدل التآكل في حالة وجود وعدم وجود ثاني اوكسيد الكاربون نفس القيم والتصرف . في عام 2002 قام (H. N. Mcmurray, G.- Williams and S. O. Driscoll ,2002) بدراسة التأثير التثبيطي للكرومات باستخدام تغطيات من (SrCrO4) على السلوك التكلي للسبيكة (AA2024T3) , جرت الاختبارات في وسط حامضي (HCl) المائي حيث جرت الدراسة في ($0.5\ mol\ dm^{-3}$) محلول مائي من (HCl) وفي درجة حرارة (20 C°) ورطوبة (93%RH) جرت الاختبارات لفترات زمنية مختلفة (9.24h,12h,23.30h,30.41h,37.4h,46.17h,54.22h) وفي تراكيز مختلفة (0%,1vol%,5vol%) , أظهرت النتائج الاختلاف الواضح في التأثير التثبيطي في محلول (HCl) بالاعتماد على فترة التعرض وكذلك التراكيز المستخدمة . في عام 2003 قام (Ingrid Rink and D. Martin Knotter,2003) بدراسة ظاهرة (Passivation) للألمنيوم وسبيكة الألمنيوم نحاس في محاليل حامضية مائية وهذه الدراسة تعتمد على تأكل الألمنيوم أو سبيكة الألمنيوم نحاس في درجات الحرارة المختلفة , تمت الدراسة باستخدام ألمنيوم نقي وسبيكة ألمنيوم نحاس والتي تحوي على (0.4% Cu) العينات المستخدمة تغمر في محلول يتكون من المحاليل المختلفة المستخدمة حيث تم استخدام عدد من المحاليل منها (DSP) والذي يتكون من (8.4%H2SO4,3.8%H2O) , (DS,XDS) والذي تتكون من 8.4%,5%) (H2SO4 على التوالي و (DSPH)والذي يتكون من (8.4% H2SO4,0.5%H3PO4) جرت الاختبارات لقياس معدل النقر أو الحفر أو الإزالة لمعدن الألمنيوم , تمت الدراسة بإجراء الاختبارات على الألمنيوم وسبيكة الألمنيوم في الماء المقطر وفي درجة حرارة (75 C°) , أما الأوساط الحامضية فتمت الدراسة للألمنيوم في درجات حرارية مختلفة 45 , 35 C°, 30 C°) (C° بالاعتماد على نوع المحلول المستخدم فمثلا (DSPH) في درجات حرارة (35,45 C°) , (XDS) في درجات (30,45 C°) أما سبيكة (0.4% Cu , Al) فتمت في درجات (35,45 C° وبالاعتماد على المحلول المستخدم أيضا فمثلا (DSPH,XDS,DS) فتمت الدراسة بدرجة حرارة (45 C°) اما المحلول (DSP) فتمت الدراسة بدرجة حرارة (35 C°) ,اضهرت النتائج أن معدل النقر للألمنيوم وسبيكة ألمنيوم نحاس هو ليس مقدار ثابت خلال الفترة الزمنية ,وان معدل تأكل الألمنيوم يعتمد على معدل ذوبا نية اوكسيد الألمنيوم وليس على معدل

التأكسد . أما البحث الحالي يهدف إلى دراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك التاكلي لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) والمنتجة بطريقة السباكة في وسط حامضي وباستخدام طريقة الغمر البسيط باستخدام حمام مائي وفي درجات حرارية مختلفة (30,40,50,60,70,80C°), وتم الاستعانة والاستفادة من مخططات وقانون ارينيس (Arrhenius Plots) لبيان تأثير درجات الحرارة على السلوك التاكلي للسبيكة .تمت الدراسة لحالات مختلفة للسبيكة تضمنت السبيكة بدون المعاملة المحلولية , بعد إجراء المعاملة المحلولية , بعد إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي للسبيكة.

الجزء العملي :

تمت هذه الدراسة باستخدام سبيكة الألمنيوم – نحاس – مغنيسيوم (Al-2Cu-2Mg) المنتجة بطريقة السباكة , والجدول (1) يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة. تم تحضير السبيكة بالأسلوب التالي وهو الأسلوب الذي اتبعه العديد من الباحثين (صبري ,أسراء قحطان ,2000 , العمار, جميل حبيب غازي ,2002 ,الزبيدي , باسم محيسن محمد ,2004) في تحضير مثل هكذا سبائك , حيث وزنت قطع من الألمنيوم وحسبت الكميات المقابلة لها من عناصر السبك للحصول على النسب الوزنية المطلوبة مع الأخذ بنظر الاعتبار حالة التأكسد التي تحصل للعناصر أثناء السبك لذا فقد أضيفت كمية إضافية من العناصر ذات قابلية التأكسد الأكبر(المغنيسيوم).ولغرض الصهر استخدم مسخن (Heater) ذو بوتقة صهر سيراميكية يعمل في نطاق درجة حرارة (RT-1000ºC) .جرت عملية الصهر والسباكة كالآتي:-

1-صهر قطع من الألمنيوم النقي.

2-إضافة عناصر السبك والتي تكون ملفوفة برقائق الألمنيوم لمنع تأكسدها عند تماسها مع المنصهر ، حيث تضاف كالأتي: – تضاف برادة النحاس أولاً ثم يجري تحريك المنصهر بشدة للحصول على التجانس بعدها يضاف مسحوق الخارصين وتجرى نفس العملية يليه إضافة رقائق المغنيسيوم مع تحريك المنصهر بواسطة أداة سيراميكية لتلافي تلوث المنصهر بأي عنصر غير العناصر المطلوبة تستمر عملية التحريك لمدة ملائمة حسب كمية المادة المسبوكة ((5-4) دقائق في هذه الحالة) للحصول على أفضل تجانس للمنصهر .

3-يسكب المنصهر في القالب المعد سلفاً وهو على شكل اسطوانة فولاذية سخنت إلى درجة حرارة بحدود (300-400ºC) لتلافي إنجماد المنصهر قبل دخوله القالب ولتلافي عيوب السباكة.ولكون قطر القالب بحدود (15mm) فقد استخدم قمع من السيراميك لتسهيل عملية سكب المنصهر داخل القالب.

أجريت بعد ذلك معاملة المجانسة بوضع المسبوكات داخل حاوية مملؤة بمسحوق الألو مينا لتقليل التأكسد ووضعت بدورها في فرن من نوع (Sola Basic S.B Lindberg) يعمل في مجال درجات حرارة (200-1200ºC) واستخدمت درجة حرارة مقدارها (500ºC) وزمن مكوث مقداره ثلاث ساعات ، بعد فترة المكوث برَدت العينات تبريداً بطيئاً إلى درجة حرارة الغرفة .ثم قطعت إلى عينات ذات أبعاد مختلفة ,وقد تم تهيئة السبيكة على هيئة أقراص ذات إبعاد مختلفة والجدول (2) يوضح أبعاد العينات المستخدمة والحالة التي كانت عليها العينة والوسط الذي تم إجراء الاختبارات فيه .تمت هذه الدراسة باستخدام طريقة الغمر البسيط وتتلخص هذه الطريقة بغمر عينة موزونة وذات مساحة معلومة من السبيكة في الوسط التاكلي لفترة معلومة من الزمن ثم وزنها بعد مضي هذه الفترة وذلك بعد رفعها من الوسط التاكلي وغسلها جيدا بالماء المقطر والكحول بقصد تجفيفها, يحسب الفرق في وزن المعدن قبل وبعد غمره في الوسط التاكلي ممثلا الكمية الذائبة نتيجة لعملية التآكل حيث تم إجراء هذا الاختبار في درجات حرارية مختلفة , 30) (40 ,50 , 60 ,70 ,80 C° وباستخدام الحمام المائي نوع Jacob White ,Jw- England) (, ولحالات مختلفة للسبيكة تضمنت السبيكة بدون المعاملة المحلولية , بعد إجراء المعاملة المحلولية , بعد إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي للسبيكة . ومن اجل توضيح تأثير درجة الحرارة على السلوك التاكلي لسبيكة تم الاستعانة والاستفادة من قانون ومخططات ارينيس Arrhenius) (لقياس سرعة التفاعل الكيميائي العام (سرعة التآكل) . ولغرض إجراء اختبارات التآكل والفحص المجهري فقد أجريت عملية تهيئة العينات ، وبدأت بعملية التنعيم باستخدام ورق تنعيم من أو كسيد الألمنيوم , بعدها أجريت عملية الصقل باستخدام جهاز الصقل الميكانيكي نوع (HERGON-mp200V) , واستخدم في العملية مسحوق الألو مينا والماء, كما أجريت عملية الغسل والتجفيف بالهواء الساخن بين كل عملية تنعيم أو صقل وأخرى.

اختبارات التآكل :

من اجل دراسة تأثير درجة الحرارة على السلوك التاكلي للسبيكة (Al–2Cu–2Mg), تم إجراء اختبار التآكل للسبيكة بدون إجراء المعاملات الحرارية وفي درجات حرارية مختلفة , بعد إجراء المعاملة المحلولية قبل إجراء اختبار التآكل في المحلول ألحامضي وفي درجات حرارية مختلفة , حيث جرت المعاملة الحرارية بوضع العينات في الفرن بدرجة 500ºC ولفترة زمنية (45min) ثم أخمدت بالماء البارد وبسرعة كبيرة جداً. السبيكة بعد إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي حيث أجريت معاملة التعتيق الاصطناعي للعينات قبل إجراء اختبارات التآكل في درجة (170 ºC) باستخدام فرن من نوع (MLW) ولفترة زمنية (3 hr.) , لكن قبل إجراء هذه المعاملة أجريت المعاملة المحلولية والإخماد في الماء وحسب الشروط السابقة . ثم جرت بعد ذلك اختبارات التآكل

في الوسط ألحامضي (3% HCl) حجما وفي درجات حرارية مختلفة من اجل المقارنة بين الحالات المختلفة للسبيكة , ومن اجل توفير درجة الحرارة المطلوبة تمت الدراسة باستخدام حمام مائي نوع (Jacob White ,Jw- England) يعمل ضمن درجات حرارة (30,40,50,60,70,80C°) وذلك للتحكم بدرجة حرارة المحلول وتغيرها إلى الدرجة المطلوبة , حيث جرت عملية تهيئة العينات قبل إجراء اختبارات التآكل وكما ذكر اعلاة , بعد ذلك تم حساب المساحة السطحية للعينات قبل الاختبارات , كذلك تم حساب وزن العينات قبل إجراء اختبارات التآكل في الوسط ألحامضي بالاستعانة بميزان حساس (Sartorius) ألماني الصنع وبدقة (±0.0001). بعد ذلك جرت اختبارات التآكل في المحلول ألحامضي , حيث تم غمر العينات في المحلول لفترات زمنية محددة حيث تم تثبيت عامل الزمن وتركيز المحلول على عامل درجة الحرارة , أما الدرجات الحرارية المستخدمة فهي (°C 80, 70, 60, 50, 40, 30) مئوية إذ تغمر العينة في المحلول الحامضي في الحمام المائي وبدرجة حرارة معينة ولمدة نصف ساعة ,ثم جرى بعد ذلك استخراج العينات من المحاليل وغسلت بالماء المقطر وجففت باستخدام المجفف الكهربائي , تم بعد ذلك حساب وزن العينات بعد عملية الغمر في المحاليل , ثم حساب التغير بالوزن لوحدة المساحة وتم اخذ عدة قراءات ثم جرى رسم العلاقة بين التغير في الوزن لوحدة المساحة المقابل لكل درجة حرارة بعده تم الاستعانة بمخططات ارينيس (Arrhenius Plots) لبيان تأثير درجة الحرارة على السلوك التاكلي للسبيكة .

اختبار الفحص المجهري :

اجري اختبار الفحص المجهري لدراسة طبوغرافية سطح العينات المغمورة في المحاليل المستخدمة ولجميع الحالات التي كانت عليها السبيكة , وباستخدام المجهر الضوئي نوع union) (ME-3154 المجهز بكاميرا رقمية مرتبطة بالكومبيوتر أمكن من خلالها التقاط صور للسطح بقوة تكبير (600 X) , بعد مشاهدتها على شاشة العرض الخاصة بالكومبيوتر.

النتائج والمناقشة :

الشكل (1) يوضح السلوك التاكلي لعينة من السبيكة غير معاملة حراريا مغمورة في محلول حامضي يتكون من (3%HCl) كنسبة حجميه في درجات حرارية مختلفة (30,40,50,60,70,80C°), يبدو واضحا من الشكل ازدياد الوزن المفقود مع زيادة درجة الحرارة للمحلول المستخدم ويزداد الفقدان بالوزن بشكل كبير بعد درجة الحرارة(50C°) حيث يظهر الفرق الواضح في هذه الزيادة عن الدرجات الحرارية الأقل(30,40C°) حيث تكون الزيادة في الوزن المفقود شبه خطية مع زيادة درجة حرارة محلول التآكل , إن حصول التآكل في هذه الحالة يعزى

إلى حصول التآكل التنقري في هذه السبيكة , إن من أسباب التآكل التنقري الحاصل في هذه السبيكة كونها متعددة الأطوار حيث تعمل الأطوار شبه المعدنية (S , θ) عمل الكاثود بينما يعمل الطور (α) عمل الآنود الذي يتأثر تأثراً بالغاً بالوسط التاكلي (HCl) (R.G.Buchheit, R.K.Boger, M.W.Donohue ,2001)

ويوضح الشكل (2) مخطط ارينيس لمعدلات التآكل لسبيكة غير معاملة حراريا مغمورة في المحلول ألحامضي عند درجات حرارية مختلفة .ويلاحظ من خلال الشكل زيادة في معدل التآكل بشكل كبير حيث إن معدل التآكل قد ازداد من (0.0002 g/cm^2.hr.) إلى (0.036 g/cm^2.hr) عند زيادة درجة الحرارة من (30) إلى (80) درجة مئوية أي بمقدار(180) مرة تقريبا وهذا ما تنص علية معادلة ارينيس حيث إن معدل التآكل يزداد بزيادة درجة الحرارة , حيث إن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة معدل تفاعل اغلب التفاعلات الكيميائية والتآكل هو تفاعل كيميائي بين المعدن ومحيطه ومثله مثل كل التفاعلات الكيميائية فان معدل التآكل يزداد بزيادة درجة الحرارة.طبوغرافية سطح العينة غير المعاملة حراريا قبل التعرض إلى المحلول التآكل موضحة بالشكل (3) في حين طبوغرافية السطح للعينة ذاتها بعد التعرض لمحلول الغمر عند درجة حرارة (80C°) موضحة بالشكل(4) ,ويلاحظ من خلال الشكل (4) حصول التآكل التنقري على السطح وظهور النقر بشكل عنيف وعشوائي مقارنة مع سطح العينة قبل التعرض إلى محلول التآكل. .الشكل (5) يوضح السلوك التاكلي لعينة من السبيكة معاملة محلوليا بدرجة (500C°) ولمدة (45min.) في محلول حامضي في درجات حرارية مختلفة (30,40,50,60,70,80) ويلاحظ من خلال الشكل زيادة في الوزن المفقود مع زيادة درجة الحرارة للمحلول المستخدم وهذه الزيادة تكون خطية تقريبا من الدرجات الحرارية الأولى(30,40,50C°) ويأخذ بالزيادة مع زيادة درجة الحرارة المستخدمة ويلاحظ إن مقدار الوزن المفقود في هذه الحالة يختلف عن الحالة الأولى , إن هذا الاختلاف في السلوك التاكلي بين السبيكة غير المعاملة والسبيكة المعاملة محلولياً يعود إلى ذوبان الترسبات مثل (θ (Al_2Cu) ,S(Al_2Cu Mg)) التي كانت موجودة في السبيكة غير المعاملة عند المعاملة المحلولية وتحول السبيكة إلى طور أحادي مفرط الإشباع هو (α_{ss}) وبما أن التآكل الحاصل في السبيكة متعددة الأطوار (التآكل الكلفاني) يختلف عن التآكل الحاصل في السبيكة مفردة الطور لذا حصل هذا الاختلاف لذا يكون ميل السبيكة اكبر إلى التآكل العام منه إلى التآكل التنقري وبهذا يكون معدل الفقدان في الوزن منتظماً تقريباً , لكن هذه الحالة لا تستمر حيث أن أيونات النحاس التي تنزل إلى المحلول نتيجة التآكل العام ما تلبث أن تعود إلى الترسب على سطح الألمنيوم نتيجة اختزالها وهذا بدوره يؤدي إلى حصول تماس ثنائي بين معدنين يختلفان في جهدهما الكهربائي في وسط تآكلي , والذي يتسبب في تآكل تنقري أو أي نوع آخر من

التآكلات الموضعية للمعدن الأكثر نشاطاً وهو الألمنيوم (R.G.Buchheit,R.K.Boger,M.W.Donohue,2001,R.G.Buchheit, R.K.Boger,2002) ويوضح الشكل (6) مخطط ارينيس لمعدلات التآكل للسبيكة المعاملة معاملة محلوليه مغمورة في المحلول ألحامضي عند درجات حرارية مختلفة ونجد إن معدل التآكل في هذه الحالة قد ازداد من (0.0002) إلى (0.0024) أي بمقدار (12) مرة تقريبا وهذه الزيادة هي اقل من الحالة السابقة . طبوغرافية سطح العينة المعاملة محلوليا بدرجة (500Cº) ولمدة (45 min.) قبل التعرض إلى محلول التآكل موضحة بالشكل (7) في حين طبوغرافية السطح للعينة ذاتها بعد التعرض لمحلول التآكل عند درجة (80C°) موضحة في الشكل (8) حيث يتبين من خلال الشكل (8) حدوث التآكل التنقري على السطح بفعل ايونات الكلوريد التي لها القابلية على التغلغل وإلحاق التلف بطبقة الاوكسيد على السطح , ويلاحظ من الشكل إن التآكل منتظم مقارنة مع الحالة الأولى . الشكل (9) يوضح السلوك التاكلي لعينة من السبيكة معتقة اصطناعيا بدرجة (170C°) ولفترة زمنية مقدارها (3hr.) في محلول حامضي في درجات حرارية مختلفة (30,40,50,60,70,80C°) ويلاحظ من خلال الشكل زيادة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة درجة حرارة محلول التآكل وهذه الزيادة تكون كبيرة لغاية درجة حرارة (60) ثم يأخذ مقدار الوزن المفقود بالاستقرار تقريبا مع زيادة درجة الحرارة من (60) إلى (80) درجة مئوية, إن ظهور أطوار وسطية (مثل S' , S'') في السبيكة نتيجة التعتيق الاصطناعي لمدة (3hrs.) أدى إلى تشجيع كل من نوعي التآكل العام الذي يحصل أكثر في السبيكة أحادية الطور والتآكل التنقري الذي يحصل في السبيكة متعددة الأطوار , ولكون (S',S'') أطوار وسطية وليست أطوار حقيقية مثل ($S(Al_2CuMg)$) لذا فإنها لا تعمل على تحويل التآكل بصورة تامة إلى تآكل تنقري و بذلك يكون التآكل مختلطاً. ويوضح الشكل (10) مخطط ارينيس لمعدلات التآكل للسبيكة المعتقة اصطناعيا مغمورة في المحلول ألحامضي عند درجات حرارية مختلفة ونجد إن معدل التآكل في هذه الحالة قد ازداد من (0.0002) إلى (0.0048) أي بمقدار (24) مرة تقريبا وهذه الزيادة هي أعلى من الحالة السابقة واقل من الحالة الأولى السبيكة الغير معاملة حراريا,والسبب في زيادة معدل التآكل مع زيادة درجة الحرارة يمكن أن يعزى إلى أن التآكل هو عملية كهر وكيميائية , كذلك فان التآكل هو تفاعل كيميائي يخضع لنفس المعادلات الثرموديناميكية حيث نلاحظ أن معدل التآكل يزداد مع زيادة درجة الحرارة ولكن بسلوك يختلف من حالة إلى أخرى . طبوغرافية سطح العينة المعتقة اصطناعيا بدرجة (170C°) ولمدة (3hr.) قبل التعرض إلى محلول التآكل موضحة بالشكل (11) في حين طبوغرافية السطح للعينة ذاتها بعد التعرض لمحلول التآكل عند درجة (80C°) موضحة في الشكل(12) , ويلاحظ من الشكل (12)

حصول عملية التآكل على سطح المعدن والذي يشمل تقريبا جميع أجزاء السطح وبشكل غير متجانس كذلك يبدو بشكل واضح التآكل التنقري وبكثافة عالية للنقر وبإحجام وأقطار مختلفة نتيجة التآكل الحاصل على سطح العينة وهو التآكل المختلط وكما وضح سابقا .الشكل (13) يوضح السلوك التاكلي للسبيكة في محلول في درجات حرارية مختلفة ولحالات مختلفة (السبيكة غير معاملة حراريا , سبيكة معاملة محلوليا والسبيكة المعتقة اصطناعيا) ويلاحظ من خلال الشكل أن العينات الثلاثة يكون مقدار الفقدان بالوزن متساوي عد الدرجات الحرارية الأولى (30,40C°) , لكن عند زيادة درجة الحرارة عن القيم المذكورة سوف يزداد مقدار الوزن المفقود للعينات الثلاثة مع زيادة درجة الحرارة ولكن بمعدل مختلف لكل حالة . وهذا ما يلاحظ من الشكل (14) الذي يوضح مخطط ارينيس لمعدلات التآكل للسبيكة في محلول في درجات حرارية مختلفة ولحالات مختلفة للسبيكة , حيث يلاحظ أن معدل التآكل متساوي للعينات الثلاثة عند الدرجات الحرارية في حين يزداد معدل التآكل مع زيادة درجة الحرارة , يلاحظ أن السبيكة في الحالة المعاملة محلولياً تمتلك مستويات أدنى لفقدان الوزن من الحالات الأخرى وهذا لاحتوائها على طور أحادي كما ورد سابقاً.

الاستنتاجات:

1- زيادة درجة الحرارة يعمل على زيادة معدل التآكل في السبيكة بشكل عام.

2- الحالة التي تكون السبيكة عليها تلعب دورا مهما في تحديد زيادة معدل التآكل مع زيادة درجة الحرارة.

3- السبيكة المعاملة محلوليا تمتلك أدنى مستويات فقدان الوزن مقارنة بالحالات الأخرى للسبيكة مع زيادة درجة الحرارة للمحلول ألحامضي المستخدم .

4-معدل التآكل يزداد بمقدار(180) مرة للسبيكة الغير معاملة حراريا في حين السبيكة المعاملة محلوليا يزداد معدل التآكل بمقدار (12) مرة أما السبيكة المعتقة اصطناعيا يزداد بمقدار (24) مرة عند زيادة درجة الحرارة من (30C°) إلى (80C°) .

5- السبيكة المعاملة محلوليا تخضع لقانون ارينيس لان العلاقة فيها تكون خطية .

6-لا تخضع السبيكة الغير معاملة والسبيكة المعتقة اصطناعيا إلى قانون ارينيس .

المصادر :

أسراء قحطان," تحسين مقاومة التآكل لسبيكة ذات أساس ألمنيوم – نحاس", رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد, جامعة بابل ,2000.

باسم محيسن محمد , " زيادة مقاومة سبائك الألمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء لدرجات الحرارة العالية ", رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد, 2004 .

جميل حبيب غازي, " تحسين الاستقرارية الحرارية لسبائك الألمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء", رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد ,2002 .

Corrosion theory and Corrosion Protection ,EM1110 – 2-3400, Apr – 1995 , http : // www.tankspan.com / safety – miscellaneous.htm1.

D.A.Little and J. R. Scully, "An Electro Chemical Framework to Explain the Inter-granular Stress Corrosion Path of two Al–Cu–Mg–Ag Alloys , C415 and C416" , PDF, 2001.

D.Bengtsson Blucher, J.E.Svensson and L. G. Johansson," The NaCl – Induced Atmospheric Corrosion of Aluminum; the Influence of Carbon Dioxide and Temperature", PDF ,2002 .

Eiji Akiyama, K. Asami and other, "Enhancement of Corrosion Resistance of Amorphous Aluminum alloys by Alloying Additions", pdf, 2001

H.N .Mcmurray, G. Williams and S. O. Driscoll , "Chromate Inhibition of Filiform Corrosion on Organic Coated AA2024T3 Aluminum Alloy Investigated using a Scanning Kelvin Probe" , PDF .2002 .

Ingrid Rink and D. Martin Knotter, "Passivation of Aluminum and Aluminum – Copper Alloys in Aqueous Acids", PDF, 2003.

N.Barrngton & M.Black, "Aerospace materials and manufacturing processes at the millennium" On the web: http:// bookmark physics.iop.org/full books/0750307420/ cantorch 01.pdf.

R.G.Buchheit, R.K.Boger, M.W.Donohue, "Copper Dissolution Phenomena in Al-Cu and Al-Cu-Mg Alloys", 2001. On the web:http//www.mse.ohio-stst.edu/%7Ebruedigm/RGB02.pdf

R.G.Buchheit, R.K.Boger, "Cu Redistribution and Surface Enrichment Due to Dissolution of Al-Cu Alloys", 2002. On the web:http//www.mse.ohio-stst.edu/%7Ebruedigm/RGB03.pdf

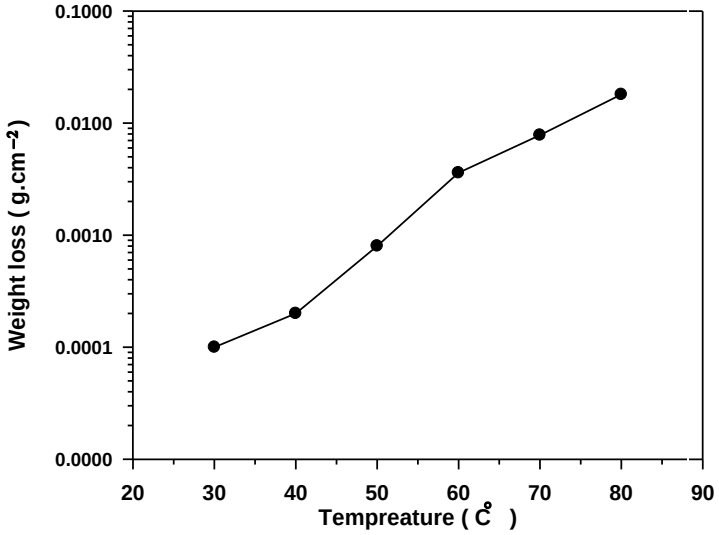
Pierre R. Roberge , " Hand book of Corrosion Engineering ", 1st Ed., 2000.
Vanhile P. and Tosto S. ," Surface and Coatings Technology ", N (80),PP(295-303),1992.

الجدول (1). التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة

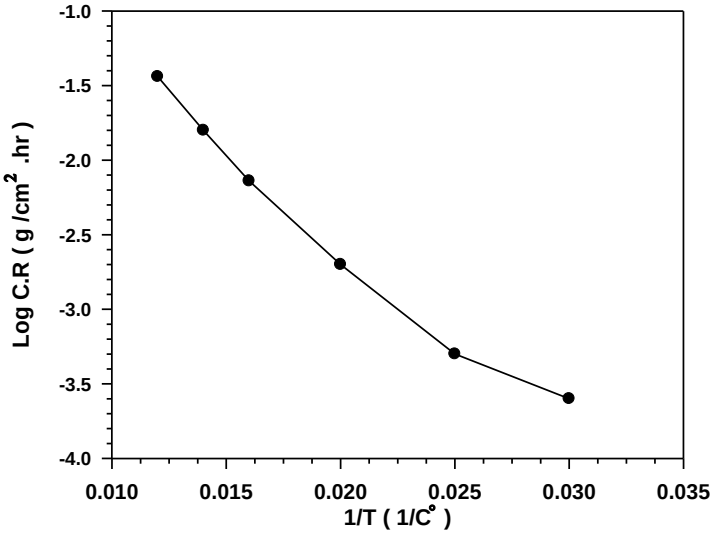
ALLOY	Al	Cu	Mg
Al -2Cu – 2Mg	96 % wt	2 % wt	2 % wt

الجدول (2) أبعاد العينات المستخدمة والحالة التي كانت عليها العينة والوسط الذي تم إجراء الاختبارات فيه .

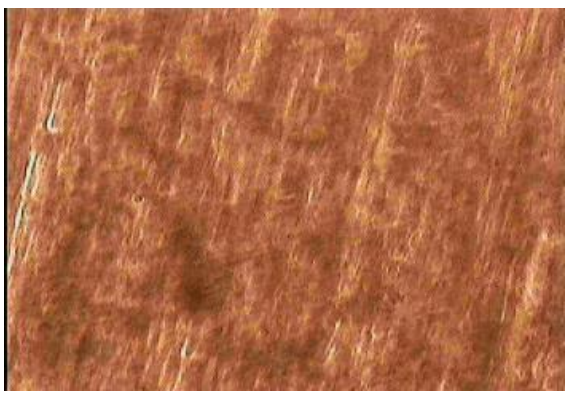
حالة السبيكة	قطر العينة	سمك العينة	قطر الثقب	وسط الاختبار
غير معاملة حراريا	15 mm	2 mm	1 mm	3% HCl
المعاملة محلوليا	15 mm	1.5 mm	1 mm	3% HCl
المعتقة اصطناعيا	15 mm	1.5 mm	1 mm	3% HCl



الشكل (1) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) لعينة غير معاملة حراريا.

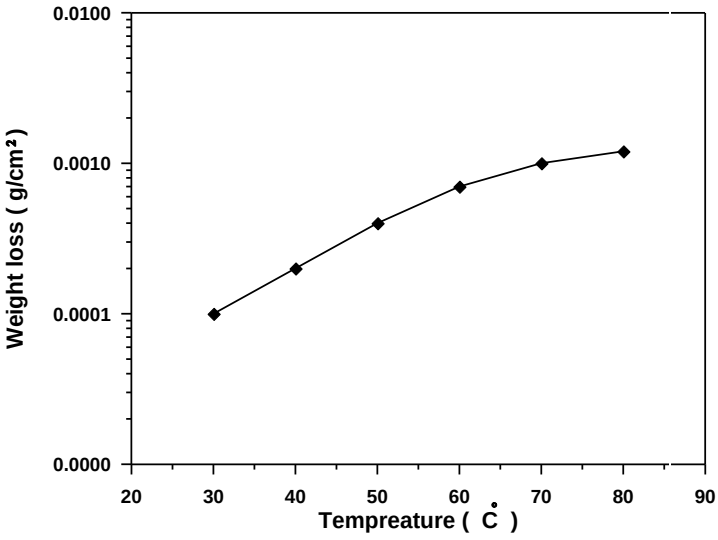


الشكل (2) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) لعينة غير معاملة حراريا.

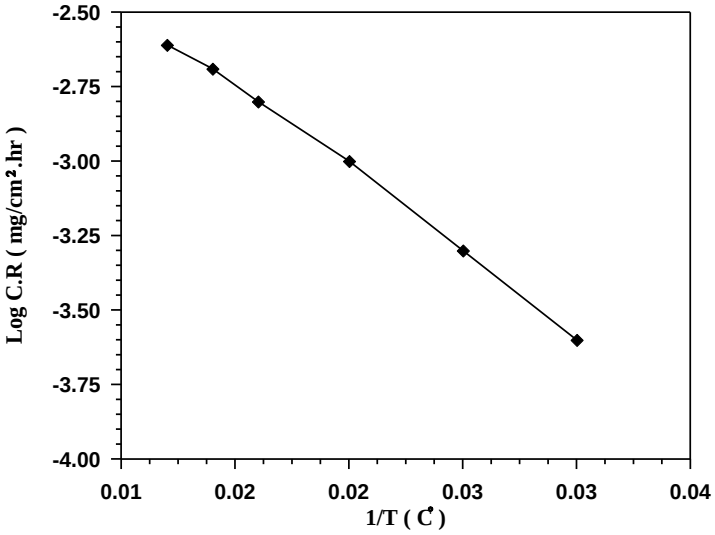


الشكل (3) طبوغرافية سطح عينة غير معاملة حراريا بقوة تكبير (600X)

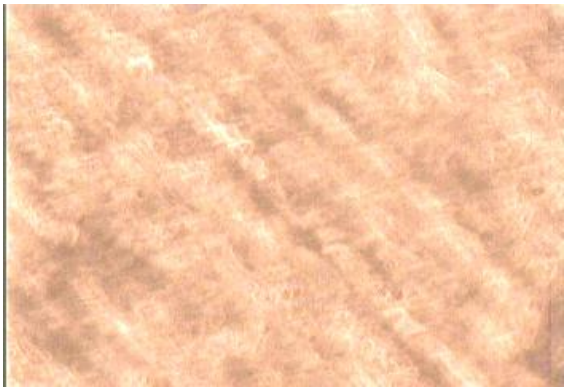
الشكل (4) طبوغرافية سطح عينة غير معاملة حراريا معرضة لوسط التاكلي (3%HCl) فى درجة حرارة (80C°)



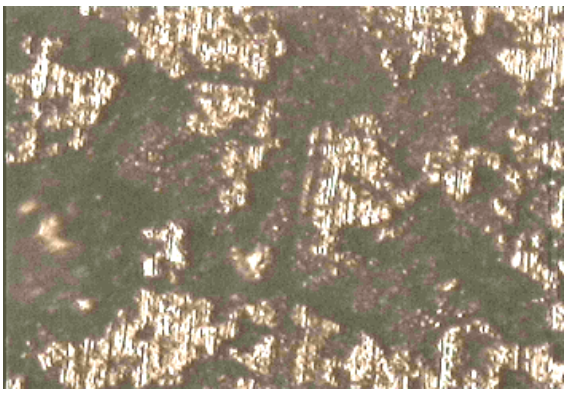
الشكل (5) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) لعينة معاملة محلوليا بدرجة (500C°)



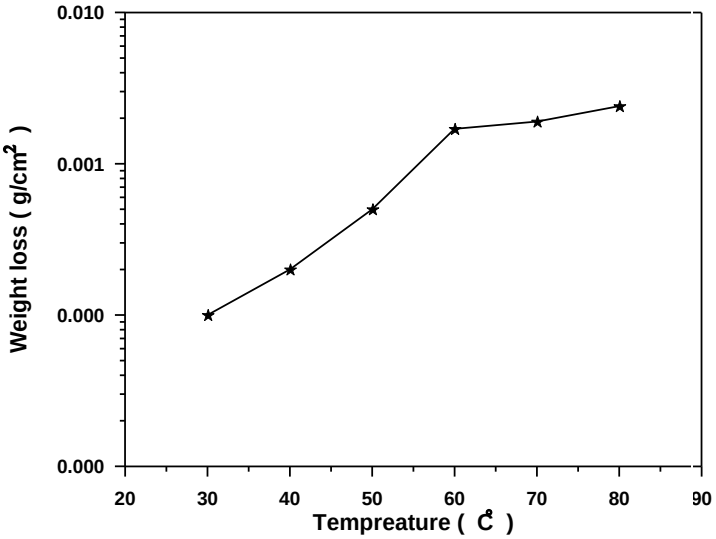
الشكل (6) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) لعينة معاملة محلوليا بدرجة (500C°).



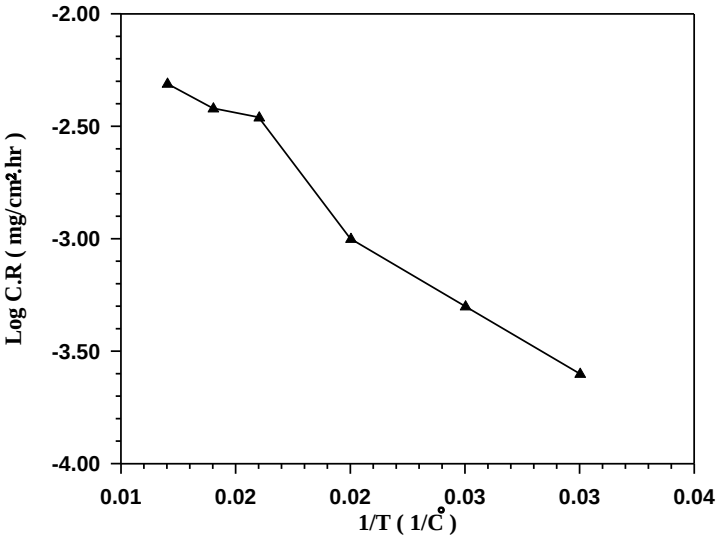
الشكل (7) طبوغرافية سطح عينة معاملة محلوليا بدرجة (500C°) بقوة تكبير (600X)



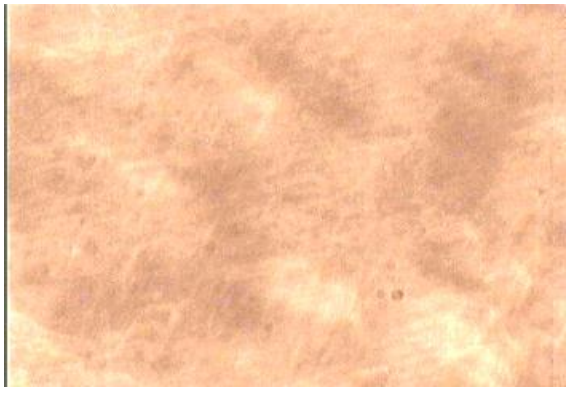
الشكل (8) طبوغرافية سطح عينة معاملة محلوليا بدرجة (500C°) معرضة لوسط تآكلي (3%HCl) في درجة حرارة(80C°) بقوة تكبير (600X)



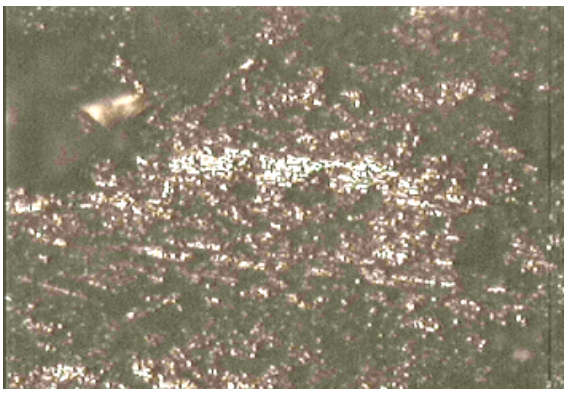
الشكل (9) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) لعينة معتقة اصطناعيا بدرجة (170C°)



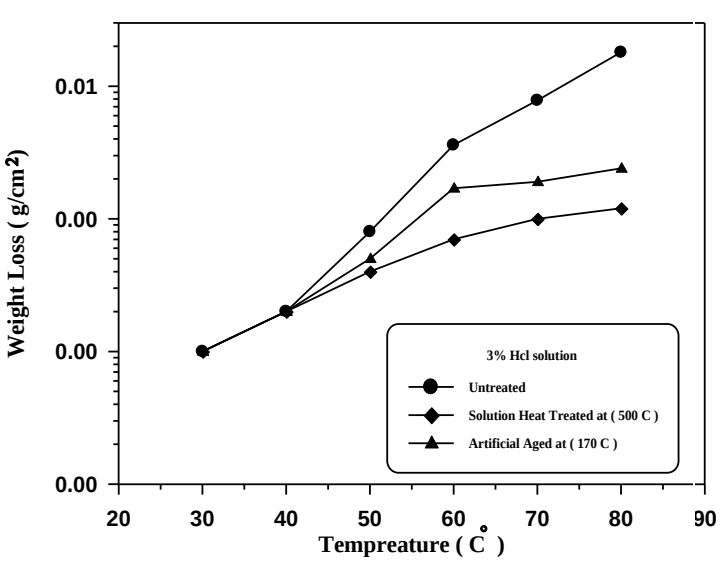
الشكل (10) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) لعينة معتقة اصطناعيا بدرجة (170C°).



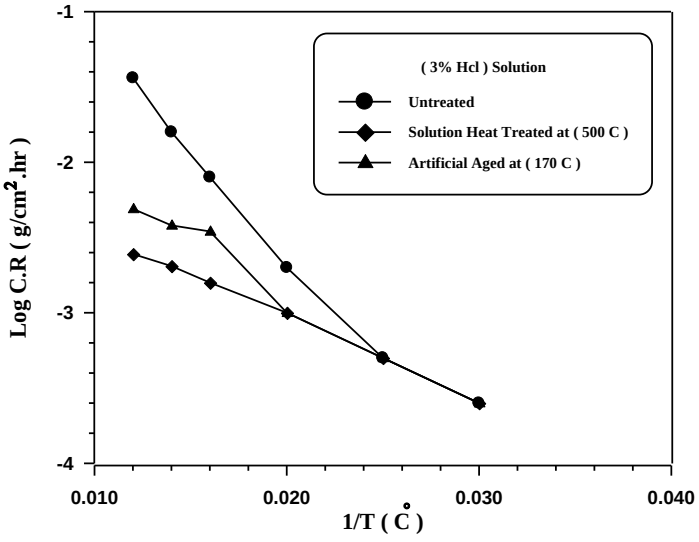
الشكل (11) طبوغرافية سطح عينة معتقة اصطناعيا بدرجة (170C°) بقوة تكبير (600X)



الشكل (12) طبوغرافية سطح عينة معتقة اصطناعيا بدرجة (170C°) معرضة لوسط تآكلي (3%HCl) في درجة حرارة(80C°) بقوة تكبير (600X)



الشكل (13) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl)



الشكل (14) العلاقة بين لوغاريتم معدل التآكل ودرجة حرارة الوسط التاكلي (3%HCl) .