العوامل المؤثرة في السلوك التآكلي لخليطة ألمنيوم صناعية

د. محمود الحناوي[1] و م. شيرين أبو سكة[2] و م. جلاء اليونس[2]

الملخص

تضمن البحث الحالي دراسة تأثير درجة حرارة محلول التآكل وكذلك زمن غمر العينات في المحلول في السلوك التآكلي لخليطة ألمنيوم تستخدم في صناعة أجزاء الآلات الغذائية باستخدام طريقة الغمر البسيط في محلول حمضي كنسبة حجمية 3%HCl و5% HCl في درجات حرارة مختلفة °C(30،40،50،60،70،80). اِعتُمدتْ طريقة الوزن المفقود، وكذلك استخدام التصوير بالمجهر الضوئي لدراسة سطح العينة، وقد وُضعتْ العينات في الحمض مدداً زمنية مختلفة (0.5–1–1.5–2) ساعة. أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال دراسة تأثير درجة الحرارة في السلوك التآكلي للخليطة في محلول HCl زيادة واضحة في معدل التآكل مع زيادة درجة حرارة المحلول المستخدم من درجة الحرارة 30 درجة مئوية إلى درجة الحرارة 80 درجة مئوية؛ وهذه الزيادة تكون شبه خطية، وكذلك تم التوصل إلى أنه بازدياد زمن غمر العينة في المحلول الآكال HCl بين 0.5 إلى 2 ساعة يزداد معدل التآكل للسبيكة المستخدمة. كما أظهرت النتائج أنه بازدياد تركيز المحلول الحمضي الممدد (HCl) يزداد أيضاً معدل التآكل.

الكلمات المفتاحية: معدل التآكل، السلوك التآكلي، الغمر البسيط، الوزن المفقود، المحلول الحمضي.

[1] مدرس، [2] مهندس، قسم هندسة التصميم الميكانيكي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية.

Effects of Temperature Acidic Solution Concentration and Time on the Corrosion Behavior of an Industrial Aluminum Alloy

Dr. Mohmod henawe[(1)]; Eng. Sheren Abouskh[(2)]; and Eng. Jalaa Alyuones[(2)]

Abstract

This study deals with effects of corrosive solution temperature and time of simple immersion in the solution on the corrosion behavior of aluminum alloy used in the manufacture of food machinery parts using simple immersion method in acidic solution (3%HCl-5%HCl by volume) at different temperatures (30-40-50-60-70-80)^{o}C.

The weight loss method is adopted and microscopic examination is used to study surface of the sample. The samples are immersed in solution for different times, these times are (0.5-1-1.5-2 hours). The results have shown a continuous increase in corrosion rate with increase the temperature of used solution from 30^{0}C to 80^{0}C and this increase is almost linear. It is also concluded that the corrosion rates of used alloy increase when the immersion time increase from 0.5 to 2 hours. In addition, the rates of corrosion raise when the (HCl) acidic solution concentration increase.

Keywords: Corrosion rate, Corrosion behavior, Simple immersion, Weight loss method, Acidic solution.

[(1)]Prof., [(2)] Eng., Department of Mechanical Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria

1- مقدمة:

إن التآكل موضوع واسع ومتشعب بسبب المتغيرات الكثيرة التي يتضمنها، إذْ يعدُّ مشكلة العصر لما يسببه من خسائر تقدر بملايين الدولارات. يعرف التآكل بأكثر من صيغة بأنه انحلال بواسطة التفاعل الكيميائي أو الكهروكيميائي مع الوسط المحيط به الذي يكون في حالة تماس مباشر معه سواء أكان هذا الوسط المحيط به هو المحيط الجوي أو محيطاً كيميائياً آخر في أي درجة حرارة كانت، والعواقب السيئة من عملية التآكل أصبحت مشكلة ذات أهمية عالمية، فضلاً عن ذلك نشهد في كل يوم من أيام حياتنا نشهد أن التآكل قد سبب انهيار محطات الطاقة وخسائر مالية وتلوث المنتجات وانخفاضاً في الكفاءة وصيانة مكلفة وإعاقة التقدم التكنولوجي. إن زياده التعقيد في موضوع السيطرة على التآكل تتطلب فهم آليات التآكل وبيانها وأنواع التآكل؛ وذلك لاستعمال مواد تقلل التآكل[1].

وتعدُّ سبائك الألمنيوم من السبائك المهمة لما لها من استعمالات واسعة في العديد من حقول التكنولوجية؛ كصناعة الطائرات وصناعة قطع السيارات، وقطع المحرك، وأجزاء حيوية أخرى، وفي خطوط النقل الكهربائية لتوزيع الطاقة الكهربائية وفي المصارف الحرارية للأجهزة الالكترونية، مثل: الترانزستورات، ووحدات المعالجة المركزية، وفي أغراض البناء والتشييد، مثل: مواد التسقيف، والنوافذ، والأبواب، والستائر ؛ وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لهذه الاستعمالات ككثافتها المنخفضة ومقاومتها الجيدة للتآكل، وتوصيليتها الحرارية العالية [2].

يُسبب التآكل تأثيراً سطحياً في المعدن يظهر بشكل شقوق أو خدوش أو خشونة أو غيرها، وكذلك يسبب انخفاضاً في وزن المعدن. إن السبب الذي يدعو المعادن لأن تتآكل هو أن تآكلها هذا يؤدي بها إلى الانتقال إلى حالة أكثر استقراراً كيميائياً من الحالة التي كانت عليها قبل حدوث التآكل. يقاس الأثر الذي يسببه التآكل من خلال عدة طرائق، أهمها:

(1) طريقة الوزن المفقود؛ إذْ يعبر عنه بمقدار التغير في الوزن في وحدة الزمن من وحدة مساحة.

(2) وطريقة التغير في الأبعاد إذْ يعبر عنه بمعدل التآكل وعمق مسافته.

(3) طريقة التغير في الخواص الميكانيكية، إذْ تعطي نسبة تغير الخواص الميكانيكية صورة عن الأثر الذي يسببه التآكل.

اِعتُمدتْ طريقة الوزن المفقود في هذا البحث لقياس أثر التآكل، وهي من أكثر طرائق قياس التآكل انتشاراً؛ وذلك لسهولة تطبيقها فضلاً عن دلالاتها المهمة على تأثير التآكل على معدن العينة.

دُرستْ زيادة مقاومة التآكل في خلائط الألمنيوم باستخدام بعض الإضافات من العناصر السبائكية، وهذه الخلائط هي (Al-Ti) و(Al-Cr)، ومن أجل تحسين مقاومة التآكل لهذه الخلائط أُضيف عنصر ثالث إليها مثل (Ni,Mo) إلى خلائط (Al-Ti) و(Al-Cr)، كذلك دُرس تأثير (Mg) في السلوك التآكلي للخليطة (Al-Ti) في محلول يحتوي الكلوريدات [3].

دُرسَ التآكل الموقعي والتآكل الإجهادي (SCC) لنوعين من خلائط (Al-Cu-Mg-Ag)، وهي (C416 – C415) وأُجريتْ هذه الدراسة باستخدام ألمنيوم نقي (99.99) فضلاً عن الخلائط المذكورة أعلاه، إذْ استُخدمتْ سبائك مجهدة، وأخرى غير مجهدة، وفي أوساط مختلفة من (NaCl) وبتركيز (0.06-0.006 Mol/l). [4]

دُرسَ التآكل الجوي للألمنيوم في وسط من (NaCl) تحت تأثير درجة الحرارة، ووجود ثاني أوكسيد الكربون.

أُجريت الدراسة باستخدام المنيوم من نوع (Al1070) في درجات الحرارة C°(60-50-38-22-10-4)، إذْ عُرّضتِ العينات إلى وسط تآكلي يتكون من (14-70 mg/cm2 NaCl). أظهرت النتائج حصول فرق في السلوك التآكلي للسبيكة مع درجة الحرارة، ففي درجة الحرارة 4 °C كان تآكل الألمنيوم قليلاً جداً، أمّا في درجات الحرارة (38 -22-10 °C) فمعدل التآكل بغياب ثاني أوكسيد الكربون يكون أكبر بمقدار (5–20) مرة من معدل التآكل إذا كان الوسط الجوي يحوي على (350 ppm) من ثاني أوكسيد الكربون. أمّا في درجات الحرارة الأعلى من 38 °C فمعدل التآكل مع وجود النسبة ذاتها من ثاني أوكسيد الكربون يزداد بشكل متذبذب مع درجة الحرارة، ويكون معدل التآكل ثابتاً مع درجة الحرارة في حال عدم وجود ثاني أوكسيد الكربون. أمّا في درجة الحرارة 6°C فيأخذ معدل التآكل في حالة وجود ثاني أوكسيد الكربون وحالة عدم وجوده القيم والتصرف نفسه.[5]

دُرس التأثير التثبيطي للكرومات باستخدام طبقة من (SrCro4) في السلوك التآكلي للسبيكة (AA2024T3) جرت الاختبارات في وسط حامضي (HCl) المائي إذْ جرت الدراسات في (0.5 mol dm-3) وفي درجة حرارة 20oC جرت الاختبارات مدداً زمنية مختلفة، وأظهرت النتائج الاختلاف الواضح في التأثير التثبيطي في محلول (HCl) بالاعتماد على مدة التعرض، وكذلك التراكيز المستخدمة. [6]

دُرِس سلوك التآكل لخليطة الألمنيوم 6063 في المحلول الحامضي، بيّنت الدراسة أن معدل التآكل للخليطة يزداد مع ازدياد تركيز الحمض، وكذلك معدل التآكل في محلول هدروكسيد الصوديوم أعلى من معدل التآكل في محلول أوكسيد الفوسفور، وأن معدل التآكل للخليطة يزداد مع ازدياد درجة الحرارة [7].

دُرس سلوك التآكل الكهروكيميائي للألمنيوم في المحاليل الحامضية (0.5 mol/l NaCl) و(0.5 Mol/l Na2So4) فوجد أن مقاومة التآكل النقري عالية في المحلول (NaCl) [8] .

دُرس تأثير محتوى الحديد في سلوك التآكل للألمنيوم، ووجد أن المعالجة الحرارية تؤثر في سلوك التآكل لخليطة (Al-Fe) الحاوي على الحديد بنسبة (0.04-0.42%) وقد درست الطريقة الكهروكيميائية في المحاليل الحمضية[9].

2- هدف البحث:

1- دراسة تأثير درجة حرارة المحلول الحمضي في معدل التآكل لخليطة الألمنيوم المستخدمة في هذا البحث.

2- دراسة تأثير تغير تركيز المحلول الحمضي الممدد في معدل التآكل لخليطة الألمنيوم المستخدمة في هذا البحث.

3- دراسة تأثير زمن غمر العينات في المحلول الأكال في معدل التآكل لخليطة الألمنيوم المستخدمة في هذا البحث.

4- دراسة سطح العينات لتحديد نوع التآكل الحاصل.

3- مواد البحث وطرائقه

3-1 المواد المستخدمة:

تستخدم الخليطة المختبرة في هذا البحث في أحد مصانع أجهزة الصناعات الغذائية والدوائية، ويحتاج هذا المصنع إلى معرفة أثر الوسط الحمضي HCl في درجة تآكل الخليطة في درجات حرارة مختلفة وأزمنة مختلفة. وقد صُمّمت التجربة بناء على متطلبات المصنع الذي زود الباحثين بالخليطة المطلوب اختبارها، والتي حُدّد تركيبها الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي الموجود في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية نوع (Spectro Max)، وكان التركيب الكيميائي للخليطة كما في الجدول (1).

اِستُخدم المحلول الحمضي الممدد HCl بتركيزين مختلفين (3% HCl) و(5% HCl) كمحلول أكال.

الجدول (1) التركيب الكيميائي للمادة المستخدمة

Elem	Al	Zn	Li	Mg	Cu	Sr	Fe
Wt%	82.1	4.96	3.33	2.15	1.91	1.66	0.44
Elem	**pb**	**Si**	**Hg**	**Cr**	**Co**	**Mn**	**Ni**
Wt%	0.37	0.33	0.25	0.16	0.129	0.120	0.1

3-2 تحضير عينات الاختبار:

حُضّرت العينات على شكل قطع صغيرة متوازية مستطيلات كما هو مبيّن في الشكل (1) إذْ قطعت من الخامة الأساسية ورُقّمت العينات بالحفر، بعد ذلك شُحذت باستخدام ورق الشحذ بدرجات خشونة متدرجة (180 – 400 – 800 – 1200)، وبعد ذلك صُقلت العينات على جهاز الصقل للحصول على سطح شبيه بسطح المرآة، ثم جُفّفت بالهواء المضغوط.

3-3 طريقة إجراء الاختبار:

أُجريت في هذه الدراسة اختبارات التآكل الكيميائي على خليطة الألمنيوم في محلول HCl بتركيزين مختلفين (3% HCl) و(5% HCl) ورُوقب تأثير درجات الحرارة المتغيرة °C(30، 40، 50، 60، 70، 80)، وكذلك تأثير الزمن (0.5- 1- 1.5- 2) ساعة، في تلك الخليطة من خلال قياس الوزن المفقود.

الشكل (1) عينات الاختبار.

3-4 خطوات العمل التجريبي:

1- قِيست وسُجّلت أبعاد العينات المستخدمة ووزنها تبعاً لأرقامها باستخدام ميزان الكتروني ذي دقة 0.001 غراماً وذلك قبل إجراء التجربة (الجدول 2).
2- صُوّر سطح العينات قبل إجراء التجربة باستخدام المجهر الضوئي بتكبير 50X.
3- حُضّر محلول HCl المائي باستخدام تركيز 3% و5% من حمض كلور الماء.
4- استخدم جهاز اختبار كيميائي فيه وعاء مُلئ بالمحلول المحضر، إذْ يمكن بواسطته التحكم بدرجة حرارة المحلول (الشكل2) مع تجديد المحلول لكل تغير في الحرارة، أو زمن التجربة للمحافظة على التركيز واستبعاد تأثير الشوائب الناتجة عن التجربة السابقة.
5- عُيّرتْ درجة حرارة الجهاز على الدرجة المطلوبة وانتُظر الزمن اللازم للوصول إليها، وكانت درجات الحرارة °C(30-40-50-60-70-80)، وقد تم التأكد من درجة حرارة المحلول باستخدام ميزان حرارة زئبقي بهدف معايرة الجهاز.
6- بعد الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة، وُضعت العينات ضمن وعاء الجهاز كل دفعة على حدة، وعُيّرت ساعة المراقبة لكل حالة.
7- بعد انتهاء الزمن المحدد لكل تجربة، أُخرجت العينات وغُسلت بالماء الدافئ، وجُفّفت بالهواء الدافئ.
8- وُزنت العينات وسُجّلت الأوزان لكل عينة بحسب رقمها.
9- صُوّر سطح العينات تحت المجهر (مع مراعاة درجة التكبير نفسها وتصوير السطح نفسه الذي صُوّر قبل التجربة).
10- كُرّرت العمليات المذكورة أعلاه لدرجات الحرارة والأزمنة المتغير كلّها ولكلا التركيزين للمحلول حتى انتهاء التجارب المخططة كلّها.

الشكل (2) جهاز الاختبار الكيميائي

الجدول (2) وزن العينات وأبعادها

رقم العينات	الوزن g	الطول mm	العرض mm	الارتفاع mm
1	5.043	19.6	10	10
2	5.107	19.5	10	10
3	4.986	19.7	10	10
4	4.985	19.6	10	10
5	5.106	19.5	10	10
6	4.993	19.5	10	10
7	4.946	19.5	10	10
8	5.009	19.5	10	10
9	5.117	19.5	10	10
10	5.267	20	10	10
11	5.067	19.6	10	10
12	4.983	19.5	10	10
13	5.206	20	10	10
14	4.938	19.4	10	10
15	4.874	19.4	10	10
16	5.060	19.4	10	10
17	4.900	19.5	10	10
18	5.208	20	10	10
19	5.206	20	10	10
20	4.950	19.5	10	10
21	4.992	19.6	10	10
22	5.013	19.6	10	10
23	4.981	19.5	10	10
24	4.915	19.5	10	10
25	4.941	19.5	10	10
26	5.052	19.5	10	10
27	5.081	19.5	10	10
28	4.983	19.5	10	10
29	5.155	19.5	10	10
30	5.316	20	10	10

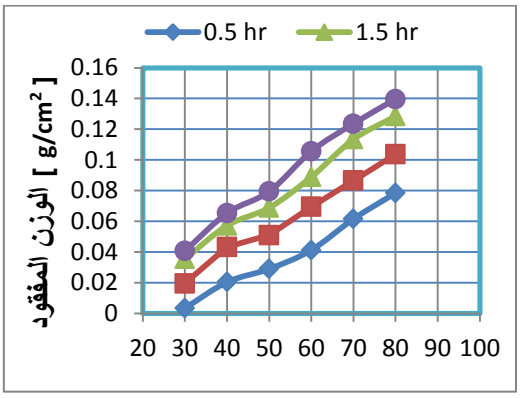
4- النتائج والمناقشة:

4-1 تأثير المحلول الحمضي الممدد بتركيز 3%HCl :

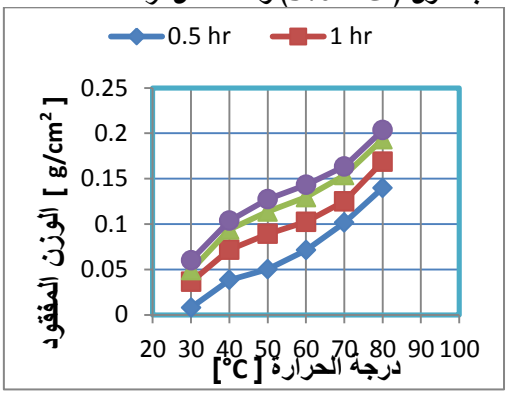
يوضّح الشكل(3) السلوك التآكلي لعينات مصنوعة من السبيكة السابقة عند غمرها في محلول حمضي ذي التركيز (3%HCl)، في درجات حرارة مختلفة oC(30-40-50-60-70-80)، وبأزمنة مختلفة (0.5-1-1.5-2) ساعة. يبدو واضحاً من الشكل (3) أن الوزن المفقود يزداد مع زيادة درجة حرارة محلول التآكل، ومع ازدياد زمن غمر العينة في المحلول الأكال، ونلاحظ أن الزيادة في الوزن المفقود تكون شبه خطية.

4-2 تأثير المحلول الحمضي الممدد بتركيز 5% HCl:

أظهرت النتائج زيادة في معدلات التآكل للأزمنة كلّها عند ازدياد درجة الحرارة، يوضح الشكل (4) ازداد معدل التآكل (الوزن المفقود/المساحة [g/cm2]) بزيادة درجة حرارة المحلول ذي التركيز (5%HCl)، ومع ازدياد زمن غمر العينات في المحلول الأكال، وهذه الزيادة تكون شبه خطية.



الشكل (3) علاقة الوزن المفقود بدرجة الحرارة عند الغمر بمحلول (3% HCl) وذلك خلال أزمنة مختلفة.

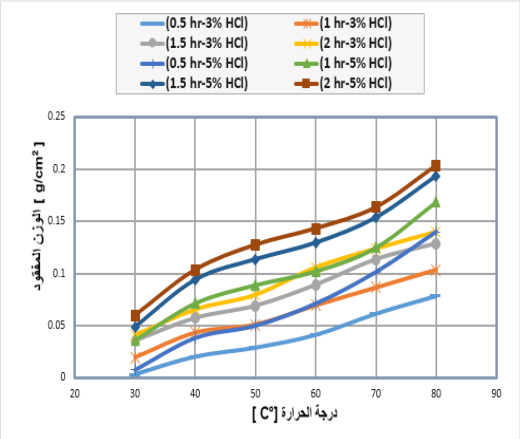


الشكل (4) علاقة الوزن المفقود بدرجة الحرارة عند الغمر بمحلول (5% HCl) وذلك خلال أزمنة مختلفة.

3-4 مناقشة النتائج:

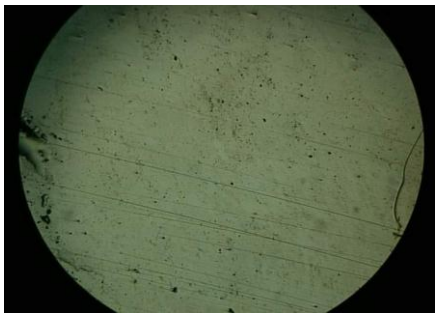
يُعزى حصول التآكل الكيميائي في هذه الحالة إلى حصول التآكل النقري في السبيكة المستخدمة، ومن المعلوم أنه عندما تكون السبيكة مكونة من أكثر من طور واحد تكون مقاومتها للتآكل أقل من مقاومة المعدن الأساس المتكون منه، ومن أسباب حدوث هذا النوع من التآكل كون السبيكة متعددة الأطوار، إذْ تعمل الأطوار شبه المعدنية عمل القطب الموجب (الكاثود)، في حين يعمل الطور (α) الذي يحوي نسبة عالية من الألمنيوم عمل القطب السالب (الأنود) وهو الذي يتأكل ويتأثر تأثراً بالغاً بالوسط التآكلي (HCl).

بعد مقارنة قيم معدل التآكل الكيميائي للعينات بعد غمرها بمحلول (3%HCl) بمعدل التآكل عند غمرها بمحلول (5%HCl) نلاحظ أن معدل التآكل عند الغمر بمحلول (5%HCl) أكبر منه عند الغمر بمحلول (3%HCl) عند درجة حرارة المحلول نفسها، وزمن غمر العينة نفسها، وعليه فإنه بازدياد تركيز الحمض يزداد معدل التآكل الكيميائي وسبب ذلك هو ازدياد أيونات الهيدروجين التي هي المسبب الرئيس للتآكل، (الشكل 5).



الشكل (5) علاقة الوزن المفقود بدرجة الحرارة عند الغمر بمحلول (HCl) بتراكيز مختلفة؛ وذلك خلال أزمنة مختلفة.

يلاحظ أنه بزيادة درجة الحرارة يزداد معدل تفاعل أغلب التفاعلات الكيميائية، ومن المعروف أن التآكل هو تفاعل كيميائي بين المعدن ومحيطه مثله مثل التفاعلات الكيميائية كلّها، وعليه فإنه بزيادة درجة الحرارة يزداد معدل التآكل فضلاً عن أنه بازدياد درجة الحرارة يتبخر الماء، وعليه يزداد تركيز الحمض الممدد، وبازدياد تركيز الحمض يزداد معدل التأكل. يوضّح الشكل (6) صورة مجهرية للعينة قبل غمرها في محلول HCl، وكما هو واضح من الشكل فإن سطح العينة خالٍ من أي نوع من التآكل الكيميائي.

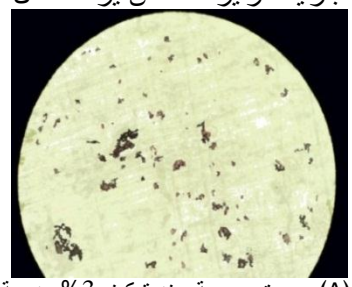


الشكل(6) صورة مجهرية للعينة قبل غمرها في محلول التآكل(HCl) X50

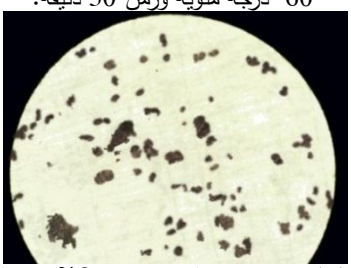
يوضح الشكل (7) صوراً مجهريةً للعينات بعد غمرها في محلول HCl؛ وذلك عند تراكيز ودرجات حرارة وأزمنة مختلفة، إذْ يلاحظ بداية تشكل التآكل الكيميائي على شكل نقر صغيرة؛ وذلك عند تركيز 3% ودرجة حرارة 30 درجة مئوية مدة 30 دقيقة، ثم يزداد عدد هذه النقر بزيادة درجة الحرارة عند التركيز والزمن نفسيهما. وهذا ما يوضّحه الشكل 7A إذْ تكون درجة الحرارة مساوية إلى 60 درجة مئوية ثم يزداد حجم هذه النقر وعددها بزيادة درجة الحرارة والزمن عند التركيز نفسه، كما هو مبين في الشكل 7B،

وفي هذه الحالة تكون درجة الحرارة 80 درجة مئوية مدة ساعتين، وهذا يتوافق مع النتائج الظاهرة في المنحنيات.

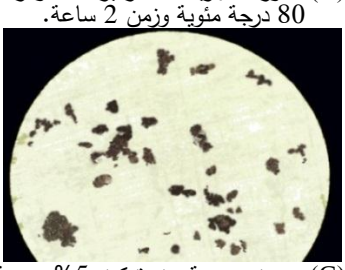
يوضّح الشكل (7C) حدوث التآكل النقري، وذلك عند تركيز 5% ودرجة حرارة 70 درجة مئوية مدة ساعة ونصف، كما هو مبيّن بالشكل أن حجم النقر أكثر من تلك الموجودة في الشكل (7A)؛ وهذا يتوافق مع المنحنيات في الأعلى؛ لأنه بازدياد تركيز الحمض يزداد معدل التآكل.



الشكل (A) صورة مجهرية عند تركيز 3% ودرجة حرارة 60 درجة مئوية وزمن 30 دقيقة.



الشكل (B) صورة مجهرية عند تركيز 3% ودرجة حرارة 80 درجة مئوية وزمن 2 ساعة.



الشكل (C) صورة مجهرية عند تركيز 5% ودرجة حرارة 70 درجة مئوية وزمن 1.5 ساعة.

الشكل (D) صورة مجهرية عند تركيز 5% ودرجة حرارة 80 درجة مئوية وزمن 2 ساعة.

الشكل (7) صور مجهرية للعينات بعد غمرها بمحلول التآكلX50

يلاحظ ازدياد عدد النقر وحجمها في الشكل (7D) مقارنةً بالصور السابقة؛ وذلك بسبب ازدياد درجة الحرارة والزمن وتركيز الحمض؛ وذلك عند تركيز 5% ودرجة حرارة 80 درجة مئوية وزمن 2 ساعة، وذلك بسبب زيادة معدل التآكل الذي ظهر جلياً من المنحنيات السابقة.

5-الاستنتاجات:

1-يزداد معدل التآكل في السبيكة مع ازدياد درجة حرارة المحلول بشكل عام.

2-يزداد معدل التآكل مع ازدياد زمن غمر العينة في محلول التآكل الحمضي الممدد (HCl).

3-يزداد معدل التآكل مع زيادة تركيز المحلول الحمضي الممدد.

4- يزداد عدد النقر وحجمها بازدياد تركيز الحمض ودرجة الحرارة والزمن.

5- يزداد الوزن المفقود بمقدار (0.025-0.03 g/cm2) ويزداد ذلك مع ازدياد زمن غمر العينة في المحلول 3% HCl من 0.5 hour وحتى 1 hour؛ وذلك من أجل كل درجة من درجات الحرارة .

6- يزداد الوزن المفقود بمقدار (0.02 g/cm2)؛ وذلك مع ازدياد زمن غمر العينة في المحلول 3% HCl من 1hour وحتى1.5 hour؛ وذلك من أجل كل درجة من درجات الحرارة.

7- يزداد الوزن المفقود بمقدار (0.01 g/cm2)؛ وذلك مع ازدياد زمن غمر العينة في المحلول 3% HCl من 1.5 hour وحتى 2 hour؛ وذلك من أجل كل درجة من درجات الحرارة.

8- مع ازدياد درجة الحرارة من (300C) حتى (400C) وكذلك من (700C) حتى (800C) فإن الوزن المفقود يزداد بمقدار g/cm2 0.04؛ وذلك من أجل كل زمن من أزمنة غمر العينة في محلول ذي التركيز 5% HCl.

9- مع ازدياد درجة الحرارة من (400°C) حتى(500°C) وكذلك من (600°C) حتى (700°C)، فإن الوزن المفقود يزداد بمقدار (0.02 g/cm2)؛ وذلك من أجل كل زمن من أزمنة غمر العينة في محلول ذي التركيز 5% HCl.

References

1-R. Roberg and Pierre. 2000. 'Hand book of Corrosion Engineering', 1st Ed.

2- P. Vanhile and S. Tosto. 1992. 'Surface and Coatings Technology', 80: 295-303.

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

4- D. A. Little and J. R. Scully. 2001. 'An Electro Chemical Framework to Explain the Intergranular Stress Corrosion Path of two Al-Cu-Mg-Ag Alloys،C415 and C416'-PDF,

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

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

7- Prabhu, Deep and Rao. Padmalatha, 2003. 'Corrosion behaviour of 6063 aluminium alloy in acidic and in alkaline media', Original Research Article, Arabian Journal of Chemistry, In Press Corrected Proof.

8- Bo. Zhang, Li. Ying and Fuhui. Wang. 2007. 'Electrochemical corrosion behavior of microcrystalline aluminium in acidic solutions', Original Research Article, 49(5):2071-2082.

9- Rajan. Ambat, J. Davenport, Alison, M. Scamans, Geoff and Andreas. Afseth. 2006. 'Effect of iron-containing intermetallic particles on the corrosion behaviour of aluminium', Original Research Article, Corrosion Science, 48(11): 3455-3471.

Received	2015/06/21	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/01/14	قبول البحث للنشر