

# دراسة تأثير المعاملات الحرارية والميكانيكية الحرارية على مقاومة التآكل لسبيكة (Al-2Cu-2Mg).

زهير طالب خليف الطائي  
جامعة بابل / كلية الهندسة  
قسم هندسة المواد

باسم محيسن محمد الزبيدي  
جامعة بابل / كلية هندسة المواد  
قسم هندسة المواد المعدنية

## الخلاصة :

البحث الحالي تضمن دراسة تأثير المعاملات الحرارية والميكانيكية الحرارية على السلوك التآكلي لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) باستخدام طريقة الغمر البسيط في محلول ملحي ((3%NaCl) كنسبة وزنية) ومحلول حامضي ((3% HCl) كنسبة حجمية) في درجة حرارة المختبر. تم اعتماد طريقة التغير في الوزن وكذلك استخدام التصوير بالمجهر الضوئي بقوة تكبير (600X) لدراسة طوبوغرافية سطح العينات. وقد اختبرت السبيكة في حالات مختلفة ( بدون معاملة حرارية , معاملة محلولياً بدرجة (500°C) , معتقة اصطناعياً بدرجة (170°C) , مشكلة على البارد بنسب مختلفة (12%,24%) مع التعتيق الاصطناعي بدرجة (170°C) ).

أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها الفرق في السلوك التآكلي في المحلول الملحي للسبيكة تحت نفس الظروف لكن بمعاملات حرارية مختلفة , حيث امتلكت السبيكة المعاملة محلولياً أدنى مستويات فقدان الوزن مقارنةً بالحالتين غير المعاملة والمعتقة اصطناعياً اللتين أظهرتا تقارباً في معدل التآكل في المراحل الأخيرة للاختبار. من جانب آخر فان نتائج دراسة تأثير المعاملة الميكانيكية-الحرارية على السلوك التآكلي في المحلول الملحي أظهرت أن نسب التشكيل الواطئة تسبب تذبذب في معدل التآكل حيث تعاني العينات المشكلة بنسب منخفضة من زيادة في الوزن ثم نقصان في حين إن نسب التشكيل الأعلى تسبب فقدان في الوزن مع بعض التذبذب في معدل التآكل .

أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها من دراسة تأثير المعاملات الحرارية على السلوك التآكلي للسبيكة في المحلول الحامضي أن السبيكة المعاملة محلولياً تمتلك مستويات أدنى لفقدان الوزن مقارنةً بالحالتين غير المعاملة والمعتقة اصطناعياً حيث أظهرت الأخيرة فقداً كبيراً في الوزن في حين كانت

السبيكة غير المعاملة كحالة وسطية بين الحالتين الأخرين. أما نتائج دراسة تأثير المعاملة الميكانيكية الحرارية على السلوك التآكلي في المحلول الحامضي فبينت أن زيادة نسبة التشكيل تخفض معدل التآكل العام بصورة كبيرة وزيادة التآكل الموضعي بالمقابل حيث أثبتت النتائج حصول انخفاض في فقدان الوزن بزيادة نسبة التشكيل .

## The Effect of Heat Treatment and Thermo-Mechanical Treatment on the Corrosion Behavior of (Al-2Cu-2Mg) Alloy

Basem Mohysen Mohammed  
Babylon Un/College of Mat. Eng.  
Met. Mat. Eng. Dep.

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

### Abstract:

This study deals with the effect of heat treatment and thermo-mechanical treatment on the corrosion behavior of (Al-2Cu-2Mg) alloy by using simple immersion in salt solution ((3% NaCl) by weight) and acidic solution((3% HCl) by volume) at room temperature. The weight change method and microscopic examination are used in this study. Alloy without treatment, solution heat treated at (500 °C), artificial aged at (170 °C) and thermo-mechanical treated (12%,24%) are used to complete this study.

The result of effects of heat treatment on the corrosion behavior of alloy in salt solution showed different corrosion behavior for the same alloy under the same conditions but at different heat treatments. Solution heat-treated alloy has the lowest loss weight levels compared with the other states untreated and artificial aged alloys which showed convergence in corrosion rate at the final stages of the test .In other hand the results of effects of thermo-mechanical treatment on the corrosion behavior in salt solution showed that the lower cold working percent cause vibration in corrosion rate while high cold working percent cause in reducing weight and lower corrosion rate .

The result of effects of heat treatment on the corrosion behavior of alloy in acidic solution 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 state between the other states. In the other hand the results of effects of thermo-mechanical treatment on the corrosion behavior in acidic solution showed that the corrosion has been dropped with increase the cold work ratio and the results showed decreasing in weight loss with increasing the percent of cold working.

### المقدمة :

يعد التآكل من المشاكل الأساسية المهمة التي تواجه المهندس في ميادين العمل , إذ إن المعدات التي تتلف سنويا بسبب عملية التآكل تقدر بمليارات الدولارات لذا فمن الضروري دراسة هذه الظاهرة وبيان العوامل المسببة لحدوثها من أجل الوصول إلى الأساليب الكفيلة للسيطرة عليها.وقد قدمت دراسات وبحوث

عديدة تهدف إلى دراسة التآكل في سبائك الألمنيوم ومن هذه الدراسات , في عام 2001 قام (D. A.Little and J. R. Scully) بدراسة التآكل الموقعي والتآكل الإجهادي (SCC) لنوعين من سبائك (Al-Cu-Mg-Ag) وهما (C415 و 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) و بتركيز (0.006 – 0.06 M). أثبتت النتائج أن الجهد الحرج للسبيكة (C415) و (C416) في حالة المراجعة يكون أقل من الحالة التي تكون فيها السبائك كمحلول جامد ولكنه أعلى من حالة الألمنيوم النقي (99.99%) , كذلك فإن هذا الجهد يقل كلما زادت الفترة الزمنية للتعتيق (D.A.Little and J. R. Scully, 2001) . وفي عام 2001 أيضا قام (Eiji Akiyama , K . Asami) وآخرون بدراسة زيادة مقاومة التآكل لسبائك الألمنيوم عن طريق إضافة بعض عناصر السبك ومنها (Ti , Zr , Nb ,Ta ,Cr) . جرت اختبارات التآكل في محلول (1M HCl) في درجة حرارة (30°C) وأظهرت النتائج التأثير الواضح للعناصر المضافة على مقاومة التآكل عن طريق زيادة التيار الكاثودي والآنودي والبعض الآخر زاد من إستقرارية الغشاء الخامد (passive film) (Eiji Akiyama , K . Asami , 2001), أما في عام 2002 قام (H . Bohni and T. Suter) بدراسة التآكل الموقعي لسبائك الألمنيوم ومنها سبيكة (2024-T3) و (Al-Cu-Fe-Mn) ومقارنة النتائج مع سبيكة (Al-Cu-Mg) ولقد أظهرت النتائج الفرق الواضح في التصرف للسبائك أعلاه . (H . Bohni and T. Suter ,2002)

في عام 2002 أيضا قام (N. Le Bozec, D. Persson) وآخرون بدراسة لتحليل التآكل الخيطي (Filiform Corrosion) في تغطيات سبائك الألمنيوم وباستخدام أسلوب (FTIR Microspectroscopy and Scanning Kelvin Probe) , ومن أجل إتمام الدراسة تم تهيئة الظروف الملائمة لحصول التآكل من عيوب في التغطيات كذلك توفر كميات من الأوكسجين أو أيونات الكلور في وسط التآكل كذلك الرطوبة العالية, ولقد أظهرت النتائج حصول هذا النوع من التآكل , وان نواتج التآكل عند الرأس (filament head) تختلف عن نواتج التآكل في الذيل (filament tail) للمناطق المتآكلة حيث كانت نواتج التآكل عبارة عن كلوريد الألمنيوم أو أوكسي كلوريد الألمنيوم (Aluminum Chloride or Aluminum Oxy Chloride) في منطقة الرأس, أما في منطقة الذيل فكانت عبارة عن هيدروكسيد الألمنيوم يحتوي أو لا يحتوي على الكربونات (Aluminum hydroxide gel containing± carbonate) (N. Le Bozec, D. Persson and other,2002). في عام (2002) قام (H. N. McMurray, G.- Williams and S. O. Driscoll) بدراسة لتقليل (Filiform Corrosion) الماص في التغطيات العضوية في سبائك (AA2024T3) باستخدام الكرومات , تمت الدراسة باستخدام أسلوب الفحص (Scanning Kelvin Probe) , جرت الدراسة باستخدام (0.5 HCl mol dm) وفي درجة حرارة (20°C) , وأظهرت النتائج التأثير الواضح لإضافات الكرومات حيث تم تخفيض ( $E_{corr}$ ) من (-200) إلى (-400) في المناطق المعرضة للتآكل , في حين تم المحافظة على نفس قيمة ( $E_{corr}$ ) للمناطق غير المتآكلة (H.N.McMurray, G.- Williams and S. O. Driscoll, 2002) . في عام (2002) قام (D.Bengtsson Blucher, J.

(E. Svensson and L.G. Johansson) بدراسة التآكل الجوي للألمنيوم بوجود (NaCl) وتأثير وجود (CO<sub>2</sub>) ودرجة الحرارة على هذا النوع من التآكل , تمت الدراسة باستخدام نوع من الألمنيوم ( AA1070 ) وفي درجات حرارة مختلفة (4,10,22,38,50,60°C) , في وسط ذو رطوبة نسبية ( 95 ± 0.3 % ) كانت فترة التعرض لمدة ( 4 ) أسابيع , ولقد أظهرت النتائج التأثير الواضح ل ( CO<sub>2</sub> ) في التقليل من معدل التآكل ولكن هذا التأثير يختلف باختلاف درجات الحرارة مقارنة مع الجو الخالي من ( CO<sub>2</sub> ) (D.Bengtsson Blucher, J. E. Svensson and L.G. Johansson,2002). في عام ٢٠٠٣ قام (Ingrid Rink and D. Martin Knotter) بدراسة ظاهرة الخمودية للألمنيوم وسبائك الألمنيوم نحاس في المحاليل الحامضية المائية , جرت الدراسة على الألمنيوم النقي وعلى سبيكة الألمنيوم - نحاس المحتوية على نسبة نحاس (0.4%), جرت الدراسة بدرجات حرارة مختلفة ( 35,45°C ) ولفترات زمنية مختلفة , حيث تم إجراء الاختبارات في وسط مائي خالي من الحامض للألمنيوم والسبيكة كذلك إجراء الاختبارات في وسط مائي حامضي, لقد أظهرت النتائج أن معدل التآكل ليس خطياً على طول الفترة الزمنية كذلك فان معدل التآكل يعتمد على معدل إزالة أو إذابة أو أكسيد الألمنيوم وليس على معدل تأكسد الألمنيوم (Ingrid Rink and D. Martin Knotter,2003). أما البحث الحالي يهدف إلى دراسة تأثير المعاملات الحرارية والميكانيكية الحرارية على مقاومة السلوك التآكلي لسبيكة ( Al-2Cu-2Mg ) والمنتجة بطريقة السباكة في أوساط تآكلية مختلفة ملحية و حامضية وباستخدام طريقة الغمر البسيط .

## الجزء العملي :

تمت هذه الدراسة باستخدام سبيكة الألمنيوم - نحاس - مغنيسيوم ( Al-2Cu-2Mg ), والجدول (1) يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة. تم تحضير السبيكة بالأسلوب التالي 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 (من الألومينا ) يعمل في نطاق درجة حرارة (RT-1000°C). جرت عملية الصهر والسباكة كالاتي:-  
1-صهر قطع من الألمنيوم النقي.

2-إضافة عناصر السبك التي تغلف برقائق الألمنيوم لمنع تأكسدها عند تماسها مع المنصهر , حيث تضاف كالاتي: - تضاف برادة النحاس الملفوفة برقائق الألمنيوم أولاً ثم يجري تحريك المنصهر بشدة للحصول على التجانس يليه إضافة قطع المغنيسيوم ملفوفة برقائق الألمنيوم مع تحريك المنصهر بواسطة أداة من الكرافيت لتلافي تلوث المنصهر بأي عنصر غير العناصر المطلوبة تستمر عملية التحريك لمدة ملائمة حسب كمية المادة المسبوكة للحصول على أفضل تجانس للمنصهر .

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

أجريت بعد ذلك معاملة المجانسة بوضع المسبوكات داخل حاوية مملوءة بمسحوق الألومينا لتقليل التأكسد ووضعت بدورها في فرن من نوع (Sola Basic S.B Lindberg) يعمل في مجال درجات حرارة (200-1200°C) واستخدمت درجة حرارة مقدارها (500°C) وزمن مكوث مقداره ثلاث ساعات، بعد فترة المكوث بردت العينات تبريداً بطيئاً إلى درجة حرارة الغرفة. ثم قطعت إلى عينات ذات أبعاد مختلفة، والجدول (2) يوضح أبعاد العينات المستخدمة والحالة التي كانت عليها العينة والوسط الذي تم إجراء الاختبارات فيه.

ولإجراء اختبارات التآكل والفحص المجهرى فقد أجريت عملية تهيئة العينات، وبدأت بعملية التنعيم باستخدام ورق تنعيم من أوكسيد الألمنيوم، ثم صقلت باستخدام جهاز الصقل الميكانيكي نوع (HERGON)، واستخدم في العملية مستحلب الألومينا (مسحوق الألومينا والماء)، كما غسلت وجففت العينات بالهواء الساخن بين كل عملية تنعيم أو صقل وأخرى.

#### المعاملات الحرارية :

جرت المعاملة الحرارية المحلولية بوضع العينات في الفرن بدرجة 500°C ولفترة زمنية (45min) ثم أخمدت بالماء البارد وبسرعة كبيرة جداً. ومن أجل دراسة تأثير معاملة التعتيق الاصطناعي على مقاومة التآكل لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) أجريت معاملة التعتيق الاصطناعي للعينات قبل إجراء اختبارات التآكل في درجة (170°C) باستخدام فرن من نوع (MLW)، لكن قبل إجراء هذه المعاملة أجريت المعاملة المحلولية والإخماد في الماء وحسب الشروط السابقة. ومن أجل دراسة تأثير تأثيرات التشكيل على البارد (Cold work) على السلوك التآكلي لسبيكة (Al-2Cu-2Mg)، أجريت المعاملات الحرارية الميكانيكية، وتضمنت المعاملة المحلولية والإخماد في الماء وحسب الشروط السابقة. ثم شكلت العينات على البارد بالضغط وباستخدام جهاز الاختبارات العام من نوع (PHYWE) حيث ضغطت العينات بنسب مختلفة هي (12,24%) وعنتقت اصطناعياً في درجة (170°C).

#### اختبارات التآكل :

من أجل دراسة السلوك التآكلي لسبيكة (Al-2Cu-2Mg)، تم إجراء اختبار التآكل للسبيكة بدون إجراء المعاملات الحرارية أو الحرارية الميكانيكية، بعد إجراء المعاملة المحلولية قبل إجراء اختبار التآكل في المحلول الملحي والمحلول الحامضي، حيث جرت اختبارات التآكل باستخدام طريقة الغمر البسيط، وتتلخص هذه الطريقة بغمر عينة موزونة وذات مساحة معلومة من السبيكة في الوسط التآكلي لفترة معلومة من الزمن ثم وزنها بعد مضي هذه الفترة وذلك بعد رفعها من الوسط التآكلي وغسلها جيداً بالماء المقطر والكحول بقصد تجفيفها، يحسب الفرق في وزن المعدن قبل وبعد غمره في الوسط التآكلي ممثلاً الكمية الذائبة نتيجة لعملية التآكل حيث تم إجراء هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة، ولحالات مختلفة للسبيكة تضمنت

السبيكة بدون المعاملة الحرارية, بعد إجراء المعاملة المحلولية , بعد إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي للسبيكة وكذلك بعد إجراء عملية التشكيل على البارد وبنسب مختلفة مع التعتيق الاصطناعي , وتضمنت أوساط التآكل الوسط الملحي (3wt%NaCl) و أحامضي ( 3vol% HCl ) من اجل المقارنة بين الحالات المختلفة للسبيكة , حيث جرت عملية تهيئة العينات قبل إجراء اختبارات التآكل وكما ذكر أعلاه , بعد ذلك تم حساب المساحة السطحية للعينات قبل الاختبارات , كذلك تم قياس وزن العينات قبل إجراء اختبارات التآكل في الوسط الحامضي والملحي بالاستعانة بميزان حساس (Sartorius)ألماني الصنع وبدقة ( ±0.0001 ). بعد ذلك جرت اختبارات التآكل في المحلول الملحي أحامضي , حيث تم غمر العينات في المحلول لفترات زمنية محددة ,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 مع زمن التعرض للمحلول .

### اختبار الفحص المجهرى :

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

### النتائج والمناقشة :

الشكل (1) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة والزمن لعينات من سبيكة (Al-2Cu-2Mg) مغمورة في محلول (3wt%NaCl), في الحالة غير المعاملة حرارياً والمعاملة محلولياً والمعنتة اصطناعياً حيث يلاحظ الفرق الشاسع في السلوك التآكلي لنفس السبيكة تحت نفس الظروف لكن بمعاملات حرارية مختلفة. ويلاحظ أن العلاقة تكون خطية تقريباً بالنسبة للعينة غير المعاملة حرارياً (التي تكون متعددة الأطوار ) حيث يزداد الوزن المفقود مع الزمن وهذا دليل على عدم تكوين السبيكة لطبقة حامية على سطحها أي أن الملح يعمل على استمرار التآكل . إن طوبوغرافية سطح العينة بعد مرور ما يقرب من (290 hrs) من الغمر في المحلول الملحي (3wt%NaCl) موضحة بالشكل (2-b) إذ يلاحظ تأثير التآكل في السطح عند الجهة اليمنى السفلى من الصورة الذي يظهر على شكل حفر صغيرة داكنة .

و بالعودة إلى الشكل (1) ومتابعة العلاقة الخاصة بالسبيكة في حالة المعاملة المحلولية بدرجة (500° C) لمدة (45 min.) ,في هذه الحالة يلاحظ أن العلاقة تكون شبه خطية في المرحلة الأولى من الاختبار لكن معدل التآكل يميل إلى الانخفاض بعد مرور فترة زمنية بحدود (220 hrs) . إن هذا الاختلاف في السلوك التآكلي بين السبيكة غير المعاملة والسبيكة المعاملة محلولياً هو ذوبان الترسبات مثل (  $\theta(\text{Al}_2\text{Cu})$  ) (S(Al<sub>2</sub>Cu Mg), (L.Reich ,S.P.Ringer and K.Hono,1999) ) التي كانت موجودة في السبيكة غير

المعاملة عند معاملتها محلولياً وتحويلها إلى سبيكة ذات طور أحادي مفرط الإشباع هو ( $\alpha_{ss}$ ) وبما أن التآكل الحاصل في السبيكة متعددة الأطوار (التآكل الكلفاني) (حيث يميل إلى أن يكون موضعياً أكثر) يختلف عن التآكل الحاصل في السبيكة مفردة الطور لذا حصل هذا الاختلاف. أما التغير الحاصل في معدل التآكل فيعود إلى حصول التعتيق الطبيعي بعد مرور فترة زمنية (220 hrs.) في درجة حرارة المختبر الذي يعمل على ظهور أطوار وسطية جديدة في السبيكة مثل ( $S',S''$ ) (L.Reich, S.P.Ringer and K.Hono,1999) وعند استمرار الاختبار لوقت أطول قد يؤدي إلى عودة ظهور الطور ( $S$ ) (L.Reich, S.P.Ringer and K.Hono,1999) حيث تعمل هذه الأطوار على تحويل التآكل من تآكل عام إلى تآكل موضعي (لعملها عمل قطب الكاثود الذي يسبب التآكل حول الترسبات) كل هذا يغير من السلوك التآكلي للسبيكة عما كانت عليه في الحالة المعاملة محلولياً (Ingrid Rink and D. Martin Knotter,2003. R.G.Buchheit, R.K.Boger,2002) (R.K.Boger, M.W.Donohue,2001. R.G.Buchheit, R.K.Boger,2002) طوبوغرافية سطح العينة المعاملة محلولياً والمغمورة في محلول ملحي لمدة (290 hrs) يوضحها الشكل (2-c) يلاحظ هنا صغر حجم التفرقات الظاهرة في السطح (البقع السوداء) مقارنة مع الحالة السابقة وهذا يتناسب مع صغر حجم ترسبات الأطوار الناتجة في السبيكة بسبب التعتيق الطبيعي (صغر أقطاب الكاثود).

أما العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض لمحلول ( $NaCl$ ) لعينة معتقة اصطناعياً بدرجة ( $170^{\circ}C$ ) لمدة (3 hrs) والمبينة أيضاً بالشكل (1) فإنها توضح ارتفاعاً في وزن العينة في الساعات الأولى من الاختبار (بحدود 40 hrs) يليه تغير في السلوك التآكلي وميل إلى فقدان الوزن مما يسبب انخفاض في الوزن وتحول العلاقة إلى علاقة خطية تقريباً في المرحلة التي تليها, إن السبب في هذا السلوك يعود إلى ترسب نواتج التآكل على سطح العينة وداخل التفرقات التي تنشأ على السطح والتي تكون أصلاً قليلة بسبب عدم تحول السبيكة إلى سبيكة متعددة الأطوار بصورة كاملة وإنما الوقت الذي توفر خلال عملية التعتيق الاصطناعي (3 hrs في درجة  $170^{\circ}C$ ) مكن من تكون أطوار وسطية (مثل  $S',S''$ ) (L.Reich, S.P.Ringer and K.Hono,1999) وعلى الرغم من كونها تعمل على زيادة معدل التآكل وتكوين التفرقات إلا أنها تكون أقل تأثيراً من ذلك الذي تسببه الأطوار المستقرة مثل ( $S$ ). إن استمرار تعرض السبيكة للوسط التآكلي لفترة زمنية أطول أدى إلى زيادة حجم الأطوار الوسطية وربما تحولها إلى الطور المستقر بسبب عملية التعتيق الطبيعي, وهذا يؤدي إلى توسع قطب الكاثود ( $S',S'',S$ ) على حساب قطب الأنود ( $\alpha$ ) وبالتالي زيادة حدة التآكل سواءً كان التآكل العام أو التآكل التفرقي. طوبوغرافية سطح العينة في هذه الحالة بعد مرور (290 hrs) موضحة في الشكل (2-d) ويلاحظ فيه الزيادة الواضحة في حجم وعدد التفرقات المتكونة على السطح (البقع السوداء) عن الحالة المعاملة محلولياً وهذا يعود كما ورد سابقاً إلى تكون ونمو الأطوار ( $S',S'',S$ ) التي تعمل عمل الكاثود .

إن التقارب في معدل التآكل للحالتين غير المعاملة و المعتقة اصطناعياً في المراحل الأخيرة من الاختبار دليل على حصول تعتيق طبيعي إضافي على العينة المعتقة اصطناعياً وبالتالي نمو الأطوار الوسطية التي تحتويها (مثل  $S',S''$ ) من الوصول إلى الحالة المستقرة التي تظهر في العينة غير المعاملة .

تأثير المعاملات الميكانيكية الحرارية ( التشكيل بنسب مختلفة والتعتيق بدرجة  $170^{\circ}\text{C}$  ) على السلوك التآكلي للسبيكة في الوسط التآكلي (محلول 3wt%NaCl) موضح بالشكل (3)، ويلاحظ أن نسب التشكيل الواطئة تسبب تذبذب في معدل التآكل حيث تعاني العينة المشكلة بنسبة (12%) من زيادة ونقصان في الوزن بصورة متوالية والسبب يعود إلى حدوث التآكل التقري على سطح العينة بشدة بسبب عملية التشكيل حيث تتكون تنقرات ثم ما تلبث إن تملأ بالترسبات الناتجة عن التآكل مما يؤدي إلى فقدان في الوزن ثم زيادة ثم فقدان بتكرار عملية التنقر والامتلاء . أما في العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي (محلول 3wt%NaCl) عينة مشكلة على البارد بنسبة (24%) ومعتقة بدرجة ( $170^{\circ}\text{C}$ ) لمدة (3 hrs) فيلاحظ حصول تذبذب في معدل التآكل أيضاً لكن بحددة أقل والسبب يعود إلى توليد إجهادات عالية و تكوين تنقرات بكثافة وحجم أكبر بسبب ارتفاع نسبة التشكيل مما يجعل من الصعب ملاماً جميع التنقرات بنواتج التآكل والذي يؤدي بدوره إلى إستمرار الفقدان في الوزن مع حصول تذبذب في معدل التآكل .

الشكل (4) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي (محلول (3vol% HCl)) للسبيكة في الحالة غير المعاملة حرارياً والمعاملة محلولياً والمعتقة اصطناعياً، في العينة غير المعاملة حرارياً يلاحظ حصول تغير واضح في معدل التآكل المتمثل في ميل منحني التآكل، حيث يبدأ الميل عالياً ثم ينخفض تدريجياً بمرور الزمن، قد يبدو سبب هذا الانخفاض تكوّن طبقة حامية لكن في الحقيقة لم تتكون مثل هكذا طبقة وإنما حصل تآكل تقري إضافة إلى التآكل العام عمل على الاستمرار باختراق المعدن رغم تأثيره القليل في تغير الوزن مما أدى إلى انخفاض معدل التآكل رغم استمرار التآكل التقري بصورة كبيرة. إن من أسباب التآكل التقري الحاصل في هذه السبيكة كونها متعددة الأطوار حيث تعمل الأطوار شبه المعدنية ( $\theta$ , S) عمل الكاثود بينما يعمل الطور ( $\alpha$ ) عمل الأنود الذي يتأثر تأثيراً بالغاً بالوسط التآكلي (HCl) (Ingrid Rink and D. Martin Knotter,2003. R.G.Buchheit, R.K.Boger, (HCl) M.W.Donohue,2001). أما العينة المعاملة محلولياً بدرجة ( $500^{\circ}\text{C}$ ) لمدة (45min.) فيلاحظ في المخطط الخاص بها إختلاف في السلوك التآكلي حيث يكون معدل التآكل عالياً في البداية ثم ينخفض و يستقر تقريباً عند معدل ثابت، هذا السلوك يعود إلى التغير الحاصل في بنية السبيكة حيث تحولت في هذه الحالة من طور أحادي هو ( $\alpha_{ss}$ ) لذا يكون ميل السبيكة أكبر إلى التآكل العام منه إلى التآكل التقري وبهذا يكون معدل الفقدان في الوزن منتظماً تقريباً مع مرور الزمن. لكن هذه الحالة لا تستمر حيث أن أيونات النحاس التي تنزل إلى المحلول نتيجة التآكل العام ما تلبث أن تعود إلى الترسيب 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 تقري أو أي نوع آخر من التآكلات الموضعية للمعدن الأكثر نشاطاً وهو الألمنيوم. يلاحظ أن العلاقة تكون خطية لعينة معتقة اصطناعياً بدرجة ( $170^{\circ}\text{C}$ ) معرضة لمحلول (3vol% HCl) حيث يستمر فقدان الوزن بمرور الزمن وهذا دليل على عدم تكون طبقة حامية. 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 التتقري الذي يحصل في السبيكة متعددة الأطوار , ولكون (S',S'') أطوار وسطية وليست أطوار حقيقية مثل ( S(AI<sub>2</sub>CuMg) ) لذا فإنها لا تعمل على تحويل التآكل بصورة تامة إلى تآكل تتقري و بذلك يكون التآكل مختلطاً.

يلاحظ أن السبيكة في الحالة المعاملة محلولياً تمتلك مستويات أدنى لفقدان الوزن من الحالات الأخرى وهذا لاحتوائها على طور أحادي كما ورد سابقاً .

طوبوغرافية سطح العينات غير المعاملة حرارياً والمعاملة محلولياً بدرجة ( 500°C ) والمعقنة اصطناعياً بدرجة ( 170°C ) المعرضة لمحلول ( 3vol% HCl ) لمدة ( 5.5 hrs. ) موضحة بالاشكال (5-a) (5-b) (5-c) على التوالي. ويوضح الشكل (5-a) التأثير البالغ للتآكل التتقري في سطح السبيكة والظاهر بشكل بقع داكنة اللون فيما يقل هذا التأثير في العينة المعاملة محلولياً كما في الشكل (5-b) للأسباب الواردة سابقاً ويعود هذا التأثير ليظهر بصورة أوضح في العينة المعقنة اصطناعياً (الشكل(5-c)) حيث تلاحظ تنقرات بأحجام أوسع وكثافة أعلى من الحالتين السابقتين وكما ورد أعلاه .

إن تأثير المعاملات الميكانيكية الحرارية ( التشكيل بنسب مختلفة والتعتيق الاصطناعي بدرجة ( 170°C ) لمدة (3 hrs) ) على السلوك التآكلي للسبيكة في الوسط التآكلي (محلول( 3vol% HCl ) ) موضح بالشكل (6), يلاحظ أن العلاقة تكون شبه خطية حيث يستمر فقدان الوزن بمرور الزمن ولا يوجد تذبذب في معدل التآكل كما حصل في حالة المحلول الملحي وهذا يعود إلى عدم ترسب نواتج التآكل على سطح العينة . بزيادة نسبة التشكيل يلاحظ انخفاض في معدل التآكل بصورة كبيرة . وعلى الرغم من أن عملية التشكيل قد ساعدت على تنعيم الحبيبات وبالتالي تصغير حجم الترسبات - المتكونة نتيجة عملية التعتيق الاصطناعي - الذي بدورها تساعد في التقليل من حدة التآكل التتقري بتوزيع التآكل على مساحة أكبر وتشجيع التآكل العام إلا أن الإجهادات المتولدة نتيجة التشكيل عملت نقيض ذلك حيث عملت على زيادة التآكل التتقري والـ دليل على ذلك هو حصول انخفاض في معدل فقدان الوزن بزيادة نسبة التشكيل أي إن تأثير التشكيل هو الأعلى في هذه المرحلة وهذا يعود إلى عدم تكون الأطوار المستقرة وكما ورد سابقاً.

## الاستنتاجات:

- ١- حالة المعاملة الحرارية التي تكون عليها السبيكة تلعب دوراً مهماً في تحديد نوع ومعدل التآكل .
- ٢- السبيكة المعاملة محلولياً تمتلك مستويات أدنى لفقدان الوزن من الحالات الأخرى في المحلولين الملحي و الحامضي أي مقاومة تآكل أفضل من الحالات الأخرى.
- ٣- ظهور الأطوار الوسطية يعمل على زيادة معدل التآكل للسبيكة في الوسطين الحامضي والملحي لأنها تسبب حصول أكثر من نوع من التآكل في نفس الوقت .
- ٤- زيادة نسبة التشكيل تؤدي إلى انخفاض معدل التآكل العام للسبيكة في الوسط الحامضي وزيادة في التآكل الموضعي .

## المصادر :

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

On the web: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=18489225>

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

On the web: [www.nims.go.jp/pmg/html/akiyama%20Publication%20Record.htm](http://www.nims.go.jp/pmg/html/akiyama%20Publication%20Record.htm)

-H. Bohni and T. Suter "Localized Corrosion Studies on a Molecular Level", PDF, 2002.

-N. Le Bozec, D. Persson and other, "Analysis of Filiform Corrosion on Coated Aluminum Alloy by FTIR Micro-spectroscopy and Scanning Kelvin Probe", PDF, 2002.

On the web: [link.aip/link/?JES/149/B403/1](http://link.aip/link/?JES/149/B403/1)

-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 .

On the web: [link.aip.org/link/?ESLF616/B9/1](http://link.aip.org/link/?ESLF616/B9/1)

-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 .

On the web: [direct .bl.uk/research/42/15/RN/28088222.html](http://direct .bl.uk/research/42/15/RN/28088222.html).

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

On the web: [www.electrochem.org/dl/ma/204/pdfs/0817.PDF](http://www.electrochem.org/dl/ma/204/pdfs/0817.PDF)

- L.Reich ,S.P.Ringer and K.Hono ,"Origin of the initial rapid age-hardening in an Al-1.7Mg-1.1Cu alloy". Philosophical Magazine Letters,79(9):6840.1999.

-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.

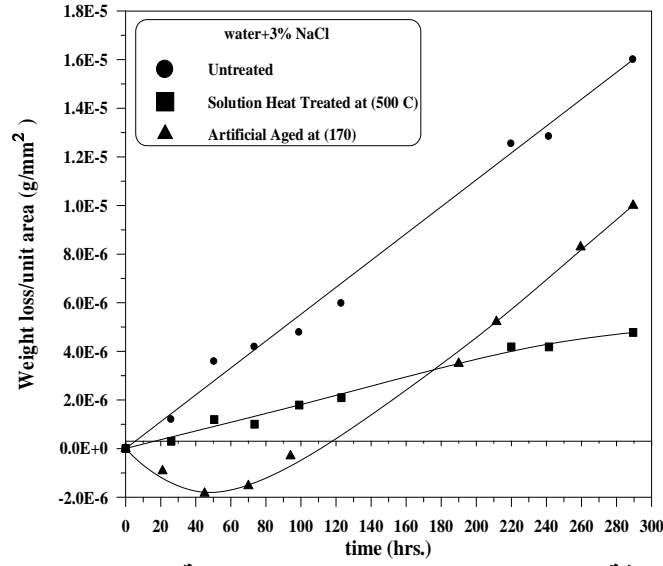
On the web: <http://www.mse.ohio-stst.edu/%7Ebruedigm/RGB03.pdf>

الجدول ( 1 ) التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة.

التركيب السبيكة	Cu		Mg		Al
	wt%	at%	wt%	at%	
Al-2Cu-2Mg	2	0.86	2	2.25	remainder

الجدول (2) أبعاد العينات المستخدمة وحالة المعاملة الخاصة بها وأوساط اختبارات التآكل .

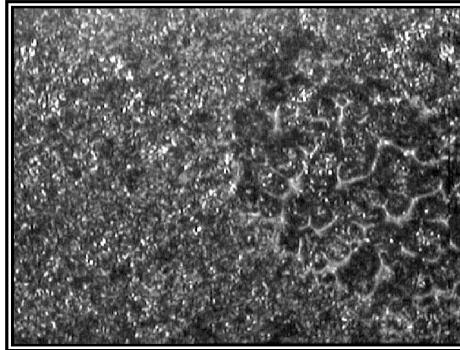
وسط الاختبار	أبعاد العينات			حالة السبيكة	
	قطر الثقب d(mm)	سمك t(mm) العينة	قطر D(mm) العينة		
3% HCl 3% NaCl	2	3	15	غير معاملة untreated	
3% HCl 3% NaCl	2	3	15	المعاملة محلولياً ومعتقة اصطناعياً S.H.T at 500° C+A.A at 170°C	
3% HCl 3% NaCl	2	2.6	16.1	S.H.T at 500° C+ C.W=12%+A.A at 170°C	المعاملة الميكانيكية الحرارية
3% HCl 3% NaCl	2	2.3	17.1	S.H.T at 500 °C+ C.W=24%+A.A at 170°C	



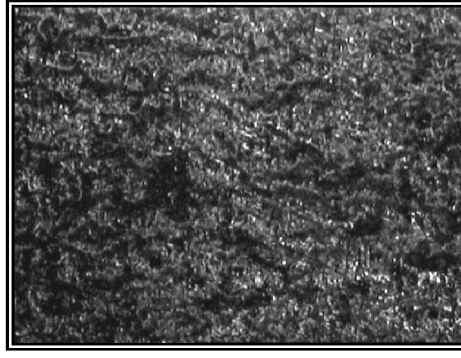
الشكل (1) العلاقة بين الوزن المفقود لوحد المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي (3wt%NaCl)



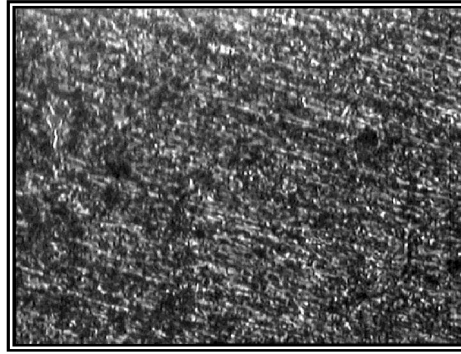
الشكل (2-a) طوبوغرافية سطح عينة غير معاملة حراريا غير معرضة إلى وسط تآكلي (600 X)



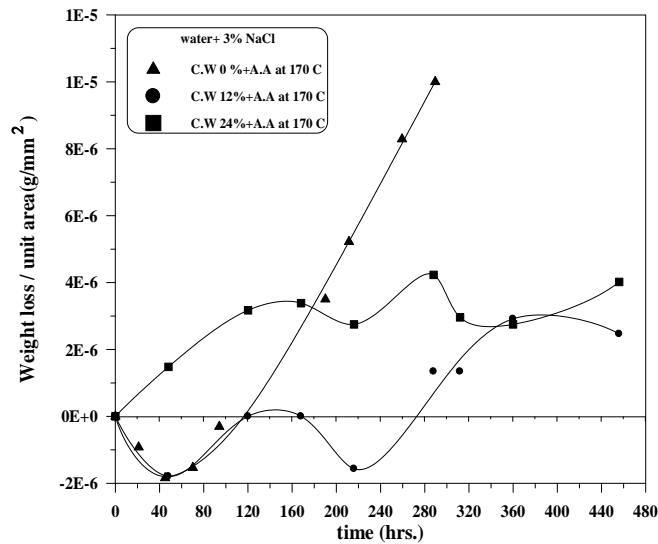
الشكل (2-b) طوبوغرافية سطح عينة غير معاملة حراريا معرضة إلى وسط تآكلي (3wt% NaCl) (600 X)



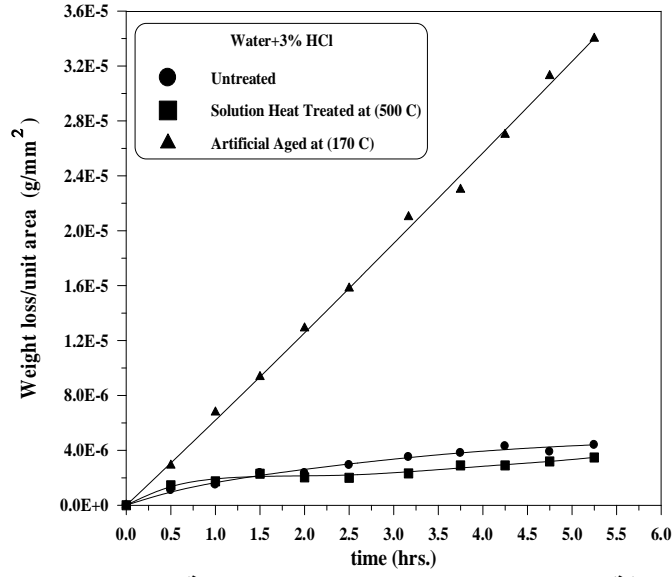
الشكل (2-d) طوبوغرافية سطح عينة معتقة اصطناعياً بدرجة (170 °C) معرضة إلى وسط تآكلي (3wt% NaCl) (600X)



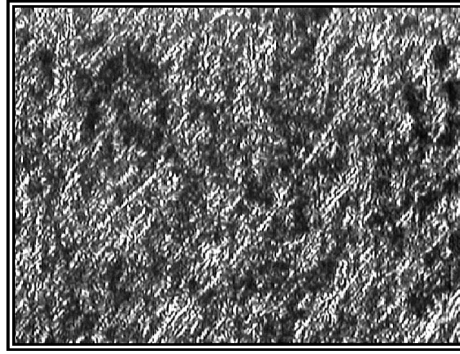
الشكل (2-c) طوبوغرافية سطح عينة معاملة محلولياً بدرجة (500°C) معرضة إلى وسط تآكلي (3wt% NaCl) (600X)



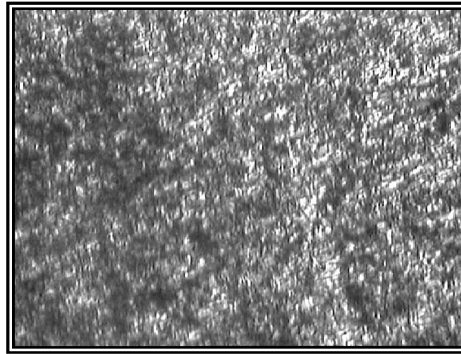
الشكل (3) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي (3wt% NaCl) لعينات مشكّلة ومعتقة اصطناعياً بدرجة (170 °C)



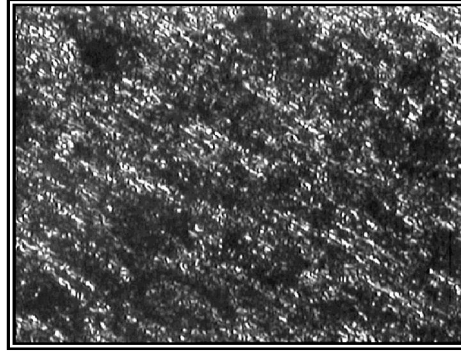
الشكل (4) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي (3vol%HCl)



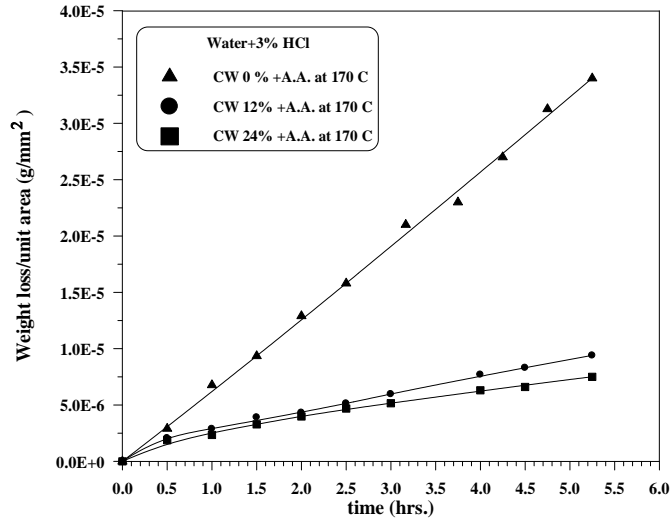
الشكل (5-a) طوبوغرافية سطح عينة غير معاملة حرارياً معرضة إلى وسط تآكلي (3vol% HCl) (600X)



الشكل (5-b) طوبوغرافية سطح عينة معاملة محلولياً بدرجة (500 °C) معرضة إلى وسط تآكلي (3vol% HCl) (600X)



الشكل (5-c) طوبوغرافية سطح عينة معتقة اصطناعياً بدرجة (170°C) معرضة إلى وسط تآكلي (3vol% HCl) (600 X)



الشكل (6) العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة وزمن التعرض للوسط التآكلي (3vol%HCl) لعينات مشكلة ومعتقة اصطناعيا بدرجة (170 °C)