

## دراسة تأثير المعاملات الحرارية والتشكيل على البارد في مقاومة التآكل – تعرية لسبيكة (Al – 2Cu – 2Mg) .

زهير طالب خليف الطائي

كلية الهندسة – جامعة بابل

### الخلاصة

البحث الحالي تضمن دراسة تأثير المعاملات الحرارية والتشكيل على البارد في سلوك التآكل – تعرية لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) في محلول يتكون من ( 1M NaCl ) في درجة حرارة المختبر. تم اعتماد طريقة التغير في الوزن وكذلك استخدام التصوير بالمجهر الضوئي بقوة تكبير (600X) لدراسة طبوغرافية سطح العينات . من اجل دراسة تأثير المعاملات الحرارية على سلوك تآكل –تعرية للسبيكة تم إجراء الاختبار لحالات مختلفة للسبيكة ( بدون معاملة حرارية, معاملة محلولياً , معتقة اصطناعياً بدرجة (170°C), مشكلة على البارد بنسب مختلفة مع التعتيق الاصطناعي ) تم الاختبار لفترات زمنية استمرت (27hr). أظهرت النتائج التي تم التوصل إليها من خلال دراسة تأثير المعاملات الحرارية , الفرق في السلوك التآكل –تعرية 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 مقدار الوزن المفقود كذلك في معدل التآكل في المراحل الأخيرة للاختبار , أما السبيكة المعتقة اصطناعياً فقد أظهرت الحالة الوسطية ما بين السبيكة المعاملة محلولياً والسبيكة الغير معاملة حرارياً . ومن اجل دراسة تأثير التشكيل على البارد في سلوك تآكل –تعرية لسبيكة تم إجراء عمليات تشكيل مختلفة على السبيكة وبنسب (0%,15%,19%) مع إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي بعد ذلك . نتائج دراسة تأثير التشكيل على البارد في سلوك التآكل –تعرية في المحلول الملحي أظهرت أن زيادة نسب التشكيل عمل على زيادة معدل تآكل –تعرية لسبيكة, كذلك زيادة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة نسبة التشكيل حيث أظهرت النتائج إن الوزن المفقود يزداد بمقدار (2.5) مرة عند زيادة نسبة التشكيل من (15%) إلى (19%) كذلك فان معدل التآكل – تعرية قد ازداد من (0.000051g/cm<sup>2</sup>.hr) إلى (0.00013g/cm<sup>2</sup>.hr) عند زيادة نسبة التشكيل بالمقدار نفسه .

### Abstract

This study deals with the effect of heat treatment and cold work on the corrosion erosion behavior of (Al-2Cu-2Mg) alloy in salt solution (1M NaCl) at room temperature. The weight change method and microscopic examination are used in this study. Alloy without treatment, solution treated, Artificial aged and cold working at different ratios with artificial aged are used to complete this study.

The result of effects of heat treatment on the corrosion erosion behavior of alloy in salt solution showed different corrosion behavior for the same alloy under the same conditions but different heat treatment . Solution heat-treated alloy have the lowest losing weight levels and corrosion erosion rate compared with the other states untreated and artificial aged alloys which showed convergence in the value of weight loss and corrosion rate at the final stages of the test .On the other hand to study the effect of the cold work on the corrosion erosion behavior of alloy the cold working at different ratios used ( 0%,15%,19%) . The results showed that an increase in cold work , cause to increase weight loss and corrosion erosion rate, the result showed the rate of corrosion of the alloy at (15%) cold working ratio reached (0.000051 g/cm<sup>2</sup>.hr) and increased to reach (0.00013 g/cm<sup>2</sup>.hr) at (19%) cold working ratio .

### المقدمة

تعددت أنواع التآكل وكثرت أسبابه فقد رافقت الصناعة أضراره وكوارثه منذ الأزمنة البعيدة وتتضاعف تأثيراته إذا تزامن مع عوامل أخرى, لذا فان فهم عملية التآكل والسيطرة عليه أصبح هاجسا طالما ارق الصناعيين وأصبح ضرورة علمية واقتصادية حيث إن اضراراً بليغة لدرجة يطلق عليه صناعة معاكسة نظراً للخسائر الكبيرة التي يسببها . وتعتبر سبائك الألمنيوم من السبائك المهمة لما لها من استعمالات واسعة في العديد من حقول التكنولوجيا كالصناعات الفضائية وصناعة السيارات والسفن وذلك لامتلاكها العديد من المميزات التي تؤهلها لهذه الاستعمالات ككثافتها الواطئة ومقاومتها الجيدة للتآكل وتوصيليتها الحرارية العالية ولمقاومتها النوعية (Vanhile and Tosto 1992) .

ويعد التآكل بالتعرية احد الأنواع الرئيسية للتآكل , وهو تآكل موضعي يسببه التأثير الميكانيكي مع الطبيعة الكهروكيميائية لوسط التآكل , يتضمن انحلال المعدن من السطح بشكل أيونات ذائبة , وقد تشكل هذه الايونات نواتج تآكل راسبة تتجرف بعيداً عن سطح المعدن , ومثال على ذلك التآكل الحاصل في أنبوب مبادل حراري يتعامل مع الماء , أو انفجار فقاعات بخار الماء على سطح المعدن , أو التآكل بسبب الحركة الاهتزازية بين سطحي المعدنين , من حالاته الخاصة التلف التجويفي والتآكل بالحك (Fontana 1988, Bolten1998, Roberge1999) .

التآكل بالتعرية ممكن أن يتفاقم نتيجة التشغيل الخاطئ مثلاً , التكتلات المتروكة في نهايات تقاطع الأنابيب والتي ممكن أن تعكس مجرى المياه , مسببة اضطراباً موضعياً وسرع جريان عالية والتي تؤدي إلى التآكل بالتعرية , كما إن مصاحبة التآكل للتعرية ممكن أن يؤدي إلى معدلات تنقر عالية (P.R. Roberge 1999) . إن الميكانيكية الأساسية للتعرية هي إزالة المعدن بواسطة تشوه لدن ناتج من الجريان المضطرب للغاز أو البخار أو السائل أو انهيار فقاعة وإحداث فجوة أو تجويف (Namboodhiri & Deonath1989). أما العوامل التي تؤثر في التآكل بالتعرية فهي طبيعة المعدن أو السبيكة من حيث الصلادة، التركيب الكيميائي ونوع طبقة الاوكسيد المتكون إضافة إلى سرعة السائل وطبيعة الجريان والتصميم. إن الأوساط التآكلية التي تسبب التآكل بالتعرية كثيرة أهمها الغازات ، المحاليل المذابة، المواد العضوية والمعادن المصهورة. وتعد الأجسام الصلبة العالقة بالسوائل عوامل مساعدة لحدوثه. أما الأجزاء التي تتعرض لهذا النوع من التآكل فهي أنابيب المبادلات الحرارية ، ريش التوربين ، فتحات مجاري المياه والأجهزة المعرضة للرياح وغيرها(الخرجي والشريف 1988) . وقد قدمت دراسات وبحوث عديدة تهدف إلى دراسة التآكل في سبائك الألمنيوم من اجل توضيح وفهم الآليات المختلفة لسبب حدوثه وبالتالي اتخاذ السبل الكفيلة للسيطرة عليه، اهتم الباحثون والعاملون في تكنولوجيا التآكل وحماية سطوح المعادن بالتركيز على دراسة السلوك التآكلي لسبائك الألمنيوم تحت ظروف مختلفة وأوساط مختلفة , فمنها من اهتم بدراسة التآكل الاجهادي لسبائك الألمنيوم وكذلك دراسة تأثير بعض الإضـافات من العناصر المختلفة على السلوك التآكلي ودراسة التآكل الموقعي لسبائك الألمنيوم (Little and Scully 2001, Eiji & Asami 2001, Bohni and Suter 2002) , ومنها من ركز على دراسة أنواع محدده من التآكل في التغطيات لسبائك الألمنيوم , ودراسة التأثير التثبيطي لبعض لمثبطات من الكرومات في تلك التغطيات (Le Bozec & Persson 2002; McMurray et al., 2002) , والبعض الآخر قام بدراسة التآكل الجوي في الوسط الملحي بوجود وغياب بعض المركبات مثل ثاني اوكسيد الكريون ودراسة ظاهرة الخمودية لسبائك الألمنيوم نحاس وكذلك دراسة ظاهرة انحلال وإعادة ترسيب النحاس في سبائك الألمنيوم - نحاس والألمنيوم - نحاس - مغنيسيوم وتحت ظروف مختلفة (Bengtsson et al., 2002, Ingrid and Buchheit & Boger 2002) . أما البحث الحالي فهو يهدف إلى دراسة تأثير المعاملات الحرارية والتشكيل على البارد على السلوك تآكل - تعرية لسبيكة ( Al-2Cu-2Mg ) والمنتجة بطريقة السباكة في وسط يتكون من ( 1M NaCl ) حيث تم إجراء هذا الاختبار في درجة حرارة الغرفة , ولحالات مختلفة لسبيكة تضمنت السبيكة بدون المعاملة المحلولية , بعد إجراء المعاملة المحلولية , بعد إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي للسبيكة , ومن اجل دراسة تأثير التشكيل على البارد تم إجراء عملية التشكيل على البارد وينسب مختلفة ثم التعتيق الاصطناعي.

الجزء العملي

تمت هذه الدراسة باستخدام سبيكة الألمنيوم - نحاس - مغنيسيوم (Al-2Cu-2Mg) المنتجة بطريقة السباكة، والجدول (1) يوضح التركيب الكيميائي لهذه السبيكة، تم تحضير السبيكة بالأسلوب التالي، وهو الأسلوب الذي اتبعه العديد من الباحثين (صبري، 2000، العمار، 2002، الزبيدي، 2004) حيث وزنت قطع من الألمنيوم وحسبت الكميات المقابلة لها من عناصر السبك للحصول على النسب الوزنية المطلوبة، وقد تم حماية العناصر المضافة بتغليفها برفائق من الألمنيوم. ولغرض الصهر استخدم مسخن (Heater) ذو بوتقة صهر سيراميكية يعمل في نطاق درجة حرارة (RT-1000°C). تضمنت عملية الصهر صهر قطع من الألمنيوم النقي، بعد ذلك تم إضافة عناصر السبك والتي تكون ملفوفة برفائق الألمنيوم لمنع تأكسدها عند تماسها مع المنصهر، حيث تم إضافة برادة النحاس إلى المنصهر مع التحريك المستمر وبشدة للحصول على التجانس بعدها تضاف رقائق المغنيسيوم مع تحريك المنصهر بواسطة أداة سيراميكية لتلافي تلوث المنصهر بأي عنصر غير العناصر المطلوبة، وتستمر عملية التحريك لمدة مائة تصل إلى خمس دقائق لضمان الانصهار الكامل والحصول على تجانس المنصهر بعد ذلك تم سكب المنصهر في القالب المعد سلفاً وهو على شكل اسطوانة فولاذية ذات قطر مقداره (20 mm) سخنت إلى درجة حرارة بحدود (300-400°C) لتلافي إنجماد المنصهر قبل دخوله القالب وتلافي عيوب السباكة. وللتخلص من الأطوار التكوينية الشبه ذائبة والغنية بالشوائب المترسبة على الحدود البلورية تم إجراء معاملة المجانسة قبل إجراء المعاملات الحرارية والاختبار، بوضع المسبوكات داخل حاوية مملئة بمسحوق الألومينا لتقليل التأكسد ووضعت بدورها في فرن من نوع (Sola Basic S.B Lindberg) يعمل في مجال درجات حرارة (Max.1200°C) واستخدمت درجة حرارة مقدارها (500°C) وزمن مكوث مقداره ثلاث ساعات، بعد فترة المكوث بردت العينات تبريداً بطيئاً إلى درجة حرارة الغرفة.

وقد تم تهيئة السبيكة على هيئة أقراص ذات إبعاد مختلفة والجدول (2) يوضح أبعاد العينات المستخدمة والحالة التي كانت عليها العينة. ومن أجل دراسة تأثير المعاملات الحرارية المختلفة والحرارية الميكانيكية على سلوك تآكل - تعرية لهذه السبيكة أجريت معاملات حرارية مختلفة تضمنت (المعاملة المحلولية، معاملة التعتيق الاصطناعي، التشكيل على البارد بنسب مختلفة).

### المعاملة الحرارية المحلولية

جرت المعاملة الحرارية المحلولية للعينات بعد معاملة المجانسة وباستخدام نفس الفرن الذي استخدم في معاملة المجانسة، حيث تم وضع العينات في الفرن بدرجة (500°C) ولفترة زمنية (45min) ثم أخذت بالماء البارد وبسرعة كبيرة جداً. والجدول (3) يوضح ظروف معاملة الحرارية المحلولية للسبيكة.

### معاملة التعتيق الاصطناعي

ومن أجل دراسة تأثير معاملة التعتيق الاصطناعي على مقاومة التآكل - تعرية لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) أجريت معاملة التعتيق الاصطناعي للعينات قبل إجراء اختبارات التآكل - التعرية وتضمنت المعاملة ما يأتي:

- 1- المعاملة المحلولية، وتمت بتسخين العينات إلى درجة حرارة (500 C) ولفترة زمنية (45 min).
  - 2- الإخماد بالماء البارد وبسرعة كبيرة جداً.
  - 3- تسخين العينات في درجة (170°C) باستخدام فرن من نوع (MLW) لفترة زمنية مقدارها (3hr).
- والجدول (4) يوضح ظروف معاملة التعتيق الاصطناعي للسبيكة.

### تأثير التشكيل على البارد

ومن اجل دراسة تأثير تأثيرات التشكيل على البارد (Cold work) على السلوك التآكل - تعرية لسبيكة (Al-2Cu-2Mg) ، أجريت المعاملات التالية للعينات قبل إجراء اختبارات التآكل - التعرية وتضمنت المعاملة ما يأتي :

- 1- المعاملة المحلولية ، وتمت بتسخين العينات إلى درجة حرارة (500 C) ولفترة زمنية (45 min.) .
  - 2- الإخماد بالماء البارد وبسرعة كبيرة جدا .
  - 3- شكات العينات على البارد بالضغط وباستخدام جهاز الاختبارات العام من نوع (PHYWE) حيث تم كبس العينات للحصول على نسبة تشكيل (15%,19%) .
  - 4- إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي عند درجة حرارة (170 C°) ولمدة (3 hr.) .
- والجدول ( 5 ) يوضح ظروف تأثير التشكيل على البارد التي أجريت للسبيكة، وتم مقارنة النتائج مع سبيكة غير معاملة حراريا . ولغرض إجراء اختبارات التآكل والفحص المجهرى فقد أجريت عملية تهيئة العينات ، وبدأت بعملية التتعيم باستخدام ورق تتعيم من أو أكسيد 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 تتعيم أو صقل وأخرى.

### اختبار التآكل بالتعرية

في هذا الاختبار تم استخدام محرك كهربائي قدرته 550 واط وسرعته 1000 دورة في الدقيقة ، لتدوير حلقة دائرية مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ ، تحتوي على عشرة ثقوب لتوفير إمكانية تعليق أكثر من عينة في وقت واحد ، إن هذه الحلقة الدائرة مغمورة في حوض أبعاده (36\*36\*49) cm والسرعة التي تدور بها النماذج هي نفس سرعة المحرك الكهربائي المستخدم لتدوير الحلقة الدائرية، تم تصنيع هذا الجهاز محلياً.

أجري هذا الاختبار في محلول (1M NaCl) علماً إن الاختبار قد تم في درجة حرارة الغرفة، حيث تم استخدام حالات مختلفة من السبيكة ( السبيكة بدون معاملة حرارية ، السبيكة بعد إجراء المعاملة المحلولية، السبيكة بعد إجراء معاملة التعتيق الاصطناعي، السبيكة بعد التشكيل على البارد وبنسب مختلفة). تم قياس أوزان العينات بواسطة الميزان الحساس (Sartorius) ألماني الصنع وبدقة ( ±0.0001 ). وحساب المساحة السطحية قبل غمرها في المحلول وبعد أزمنة غمر محددة جرى إخراج العينات من المحلول لتنظف بالماء ثم بالكحول وتجفف ثم توزن، بعد ذلك يتم حساب التغير في الوزن لوحدة المساحة ( $\Delta W/A$ ) وبعد أخذ عدة قراءات جرى رسم العلاقة بين التغير في الوزن لوحدة المساحة مع زمن التعرض للمحلول .

### اختبار الفحص المجهرى

اجري اختبار الفحص المجهرى 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 بالكمبيوتر أمكن من خلالها التقاط صور للسطح بقوة تكبير (600 X) ، بعد مشاهدتها على شاشة العرض الخاصة بالكمبيوتر .

### النتائج والمناقشة

الشكل رقم (1) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود لوحدة المساحة مع الزمن عند تعرض نموذج من السبيكة الغير معاملة حراريا إلى وسط التآكل - التعرية ، أما الشكل رقم (2) فيوضح العلاقة بين معدل التآكل والفترة الزمنية لاختبار تآكل - تعرية وللعينة ذاتها ، ويلاحظ من خلال الشكل رقم (2) زيادة معدل التآكل تعرية

مع بداية الفترة الزمنية للاختبار ثم يأخذ بالتناقص تدريجياً مع زيادة الفترة الزمنية والسبب في ذلك هو مقدار التغير في الوزن الذي يحصل مقارنة مع الفترة الزمنية اللازمة لإجراء الاختبار , وهذا ما يلاحظ من خلال الشكل رقم (1) حيث تحصل زيادة واضحة في مقدار الوزن المفقود عند زيادة الفترة الزمنية ومن خلال الشكل رقم (1) يمكن تصنيف السلوك التآكلي للسبيكة إلى عدد من المراحل, المرحلة الأولى والتي تمثل فترة الحضانة (Incubation Period) أو التريث حيث يتعرض فيها سطح السبيكة إلى تآكل ميكانيكي (Wear) بسبب القوى الناتجة من الاصطدام المتكرر، تليها مرحلة التعجيل أو التسارع في الوزن المفقود (Accelerated Period) ويحدث نتيجة تكسر السطح بتأثير الكلال (Fatigue) الناتج عن الاصلاح الانفعالي (Strain Hardening)، بعد تكسر مقدار معين من سطح السبيكة, مما أدى إلى زيادة معدل التآكل ثم تبدأ مرحلة التباطؤ في الوزن المفقود (Deceleration Period) بسبب تغطية السائل للأخاديد الموجودة على السطح مسبباً انتقال ضغط الصدمة إلى المعدن، أما المرحلة التي تليها فتتمثل مرحلة الاستقرار (Steady Period) وفيها فقدان في الوزن لا يعتمد على زمن التعرض للوسط الأكال, مما جعل معدل التآكل يقل مع زيادة الفترة الزمنية وهذا ما يلاحظ من خلال الشكل رقم (2) ، والشكل رقم (3) يوضح طبوغرافية السطح للسبيكة الغير معاملة حرارياً بعد التعرض إلى وسط التآكل - تعرية لفترة زمنية مقدارها ( 27 hr ) ويلاحظ من خلال الشكل التآكل الموضوعي الذي يسببه التأثير الميكانيكي لوسط التآكل ، حيث تظهر الأخاديد والتجاويف أو الارتفاعات والانخفاضات على سطح المعدن بسبب الحركة النسبية بين سطح السبيكة والسائل المساعد على التآكل. الشكل رقم (4) يبين سلوك التآكل- تعرية لعينات من السبيكة المعاملة محلولة , في حين يوضح الشكل (5) العلاقة بين معدل التآكل والفترة الزمنية لاختبار تآكل-تعرية للعينة المعاملة بالمحلولية ويلاحظ من خلال الشكل رقم (5) إن معدل التآكل يقل مع زيادة الفترة الزمنية لأزمة لإجراء الاختبار, والسبب في ذلك هو السلوك الذي تتخذه السبيكة في هذه الحالة مع زيادة الفترة الزمنية , حيث يلاحظ من خلال الشكل (4) حصول فقدان في الوزن مع زيادة الفترة الزمنية للتعرض إلى الوسط الملحي واستقراره لغاية (15 hr) بعد ذلك تحصل زيادة في الوزن المفقود تستمر حتى نهاية الاختبار, ويلاحظ من خلال الشكل أن هذه السبيكة امتلكت مستويات ادني لفقدان الوزن مقارنة بالعينات الأخرى وهذا يعزى إلى الأطوار المكونة للسبيكة وتحول السبيكة إلى طور أحادي مفرط الإشباع هو ( $\alpha_{ss}$ ) تحت ظروف المعاملة المحلولية, والشكل رقم (6) يوضح طبوغرافية السطح للسبيكة المعاملة محلولياً بعد التعرض إلى وسط التآكل - تعرية لفترة زمنية مقدارها ( 27 hr ) , ويلاحظ من خلال لشكل حصول تآكل على سطح السبيكة والذي يشمل تقريباً جميع أجزاء السطح وبشكل غير متجانس وهذا يعود إلى الحالة التي كانت عليها السبيكة وهو طور واحد هو ( $\alpha_{ss}$ ) .

الشكل رقم (7) يوضح العلاقة بين مقدار التغير في الوزن للسبيكة المعتقة اصطناعياً عند درجة حرارة ( $170C^{\circ}$ ) ولفترة زمنية ( 3hr ) , في حين الشكل رقم (8) يوضح معدل التآكل للسبيكة المعتقة اصطناعياً خلال الفترة الزمنية اللازمة لإجراء الاختبار ويلاحظ من خلال الشكل (8) زيادة في معدل التآكل خلال الساعات الأولى للاختبار ثم يأخذ بالتناقص تدريجياً لغاية (12hr) ثم زيادة في التناقص بعد ذلك, يمكن تفسير ذلك على أساس التغير في الوزن الحاصل في السبيكة مع زيادة الفترة الزمنية اللازمة لإجراء الاختبار وهذا ما يلاحظ من الشكل (7) حيث يلاحظ زيادة في مقدار الوزن المفقود خلال الساعات الست الأولى مما أدى إلى زيادة معدل التآكل ثم يأخذ بعد ذلك الوزن المفقود بالاستقرار خلال الست ساعات الأخرى اللاحقة مما يؤدي إلى انخفاض معدل التآكل مع زيادة الفترة الزمنية , ثم بعد ذلك يبدأ الوزن المفقود بالزيادة مع زيادة الفترة الزمنية للتعرض إلى المحلول

الملحي وبتركيز (1M). إن إجراء عملية التعتيق الاصطناعي (3hr في  $170C^{\circ}$ ) مكن من تكوين أطوار وسطية مثل (S) ( $Al_2CuMg$ ) وهذه الأطوار المتكونة تعمل على زيادة التآكل مما أدى إلى زيادة مقدار الوزن المفقود، وإن أداء هذه الأطوار المترسبة لا يعتمد على نوعها فقط بل أيضا له صلة مباشرة بحجمها وتوزيعها واستقراريتها والحجم البلوري للسبيكة ومدى تطابقها مع الأرضية، وإن استمرار تعرض السبيكة لوسط التعرية المحلول الملحي وبتركيز (1M) لفترة أطول أدى إلى زيادة حجم الأطوار وهذا يؤدي إلى توسع قطب الكاثود (S) ( $Al_2CuMg$ ) على حساب قطب الأنود ( $\alpha$ ) المحلول الجامد. طبوغرافية السطح للسبيكة المعاملة بمعاملة التعتيق الاصطناعي عند تعرضها لوسط تآكل- تعرية ولفترة زمنية مقدارها (27 hr) موضحة بالشكل (9) ويلاحظ من خلال الشكل حدوث تآكل-تعرية على سطح السبيكة بفعل ايونات الكلوريد المتواجدة في المحلول المستخدم (1M NaCl) والتي لها القابلية على التغلغل وإلحاق التلف بطبقة الاوكسيد المتكونة على سطح السبيكة والذي ساعد على ذلك الحركة النسبية بين سطح السبيكة والسائل المساعد على التآكل كذلك الحالة التي كانت عليها السبيكة حيث وجود الأطوار المترسبة والتي ساعدت على حدوث التآكل.

سلوك تآكل- تعرية للسبيكة في المحلول الملحي (1M NaCl) في الحالة غير المعاملة حراريا والمعاملة محلوليا والمعتقة اصطناعيا يمكن إن يوضحه الشكل (10)، ويلاحظ من خلال الشكل الفرق الشاسع في السلوك التآكلي لنفس السبيكة تحت نفس الظروف ولكن بمعاملات حرارية مختلفة حيث أظهرت السبيكة المعاملة محلوليا ادني مستوى لفقدان الوزن مقارنة بالحالات الأخرى، ويرجع السبب في ذلك إلى طبيعة الأطوار المتواجدة داخل السبيكة كذلك مدى استقرارية هذه الأطوار لذا سلكت السبيكة هذا السلوك المختلف، الشكل (11) يوضح تأثير المعاملات الحرارية على معدل تآكل- تعرية للسبيكة ويلاحظ من خلال الشكل إن السبيكة المعاملة محلوليا امتلكت ادني معدل تآكل حيث بلغ خلال فترة الاختبار (27hr) ( $0.000055 \text{ g/cm}^2\text{hr}$ )، في حين معدل التآكل في السبيكة المعاملة بمعاملات التعتيق الاصطناعي أخذت الحالة الوسطية بين الحالة غير المعاملة والمعاملة محلوليا حيث بلغ معدل التآكل للحالتين وخلال فترة الاختبار (27hr) ( $0.00012 \text{ g/cm}^2\text{hr}$ ) ، ( $0.00013 \text{ g/cm}^2\text{hr}$ ).

تأثير التشكيل على البارد والمعاملة الحرارية ( المعاملة المحلولية ، الإخماد في الماء ، التشكيل بنسبة 15% ، تعتيق اصطناعي في درجة  $170 C^{\circ}$  ) على سلوك تآكل تعرية موضحة بالشكل رقم (12)، أما الشكل (13) فيوضح العلاقة بين معدل التآكل-تعرية للعينة ذاتها ويلاحظ من خلال الشكل (13) إن معدل التآكل في بداية الاختبار سوف يزداد ثم يأخذ بالتناقص تدريجيا مع زيادة الفترة الزمنية اللازمة لإجراء الاختبار، والسبب في ذلك يعود إلى السلوك الذي تسلكه هذه السبيكة تحت تأثير التشكيل على البارد والمعاملة الحرارية وعند نسبة تشكيل (15%) وهذا ما يلاحظ من خلال الشكل (12) حيث حصلت زيادة واضحة في مقدار الوزن المفقود مع زيادة الفترة الزمنية للتعرض إلى المحلول الملحي وبتركيز (1M)، إن عملية التشكيل قد ساعدت على تنعيم الحبيبات وبالتالي تصغير حجم الترسبات المتكونة نتيجة التعتيق الاصطناعي الذي اجري بعد عملية التشكيل مما ساعد على توزيع التآكل على مساحة أكبر والذي اظهر بدوره التصرف المنتظم للتآكل للسبيكة، طبوغرافية السطح للسبيكة المعاملة بمعاملة حرارية ميكانيكية ( المعاملة المحلولية، الإخماد في الماء ، التشكيل بنسبة 15% ، تعتيق اصطناعي في درجة  $170 C^{\circ}$  ) عند تعرضها لوسط تآكل - تعرية ولفترة زمنية مقدارها (27 hr) موضحة بالشكل (14) ويلاحظ من خلال الشكل حصول تآكل-تعرية على السطح وبكثافة وتوزيع عالية للنقر وبأقطار مختلفة .

الشكل (15) يوضح العلاقة بين الوزن المفقود والزمن لنموذج من السبيكة المعاملة بالمعاملة ذاتها ولكن عند نسبة تشكيل أعلى من الحالة الأولى وعند نسبة تشكيل ( 19% ), في حين يوضح الشكل (16) العلاقة بين معدل التآكل - تعرية للعينه ذاتها ويلاحظ من خلال الشكل زيادة في معدل التآكل خلال الساعات الست الأولى للاختبار بعد ذلك يحصل انخفاض في معدل التآكل مع زيادة الفترة الزمنية , ويرجع السبب في ذلك إلى مقدار التغير في الوزن الحاصل لهذه السبيكة مع زيادة فترة التعرض إلى المحلول الملحي , حيث يلاحظ من خلال الشكل (15) زيادة في مقدار الوزن المفقود واستقراره لغاية ( 12 hr ) بعد ذلك نلاحظ زيادة في مقدار الوزن المفقود تستمر حتى نهاية الفترة والسبب في ذلك هو تكسر وانجراف جزء من الطبقة الاوكسيدية الواقية بسبب حركة السائل والذي سبب زيادة في الوزن المفقود. الشكل (17) يوضح طوبوغرافية السطح للعينه عند نسبة تشكيل (19%) بعد التعرض إلى وسط الاختبار ولفترة زمنية مقدارها ( 27hr ) حيث يبدو واضحا من خلال الشكل حصول تآكل عنيف على كامل سطح العينه وظهور النقر بشكل عشوائي وكثيف على سطح العينه نتيجة لارتفاع معدل التآكل بسبب زيادة نسبة التشكيل مقارنة مع طوبوغرافية السطح للعينات عند نسب تشكيل الأقل.

تأثير التشكيل على البارد والمعاملة الحرارية ( المعاملة المحلولية , الإخماد في الماء , التشكيل بنسب مختلفة ( 0% , 15% , 19% ), تعتيق اصطناعي في درجة ( 170 C° ), موضحة في الشكل (18) في حين الشكل (19) يوضح تأثير التشكيل على البارد والمعاملة الحرارية على معدل التآكل للسبيكة ويلاحظ من خلال الشكل (19) إن زيادة نسبة التشكيل عمل على زيادة معدل التآكل, حيث لوحظ عند زيادة نسبة التشكيل من ( 15% ) إلى ( 19% ) فإن معدل التآكل ازداد من ( 0.000051g/cm<sup>2</sup>.hr ) إلى ( 0.00013 g/cm<sup>2</sup>.hr ). ويلاحظ من خلال الشكل (19) إن زيادة نسبة التشكيل سوف يعمل على زيادة تآكل \_ تعرية للسبيكة حيث لوحظ عند زيادة نسبة التشكيل من ( 15% ) إلى ( 19% ) فإن معدل الفقدان للوزن يزداد بمقدار ( 2.5 ) مرة تقريبا . إن زيادة نسبة التشكيل سوف يعمل على زيادة كثافة الانخلاعات لان كثافة الانخلاعات تتناسب طرديا مع مقدار التشكيل على البارد والى مدى معين , أن كثافة الانخلاعات ستمثل أماكن مفضلة لتخليق النويات وبناء على ذلك سيكون عدد الدقائق المترسبة اكبر مما لو كانت الانخلاعات قليلة وبالطبع سيكون حجم الدقائق اصغر وبذلك يكون تأثيرها اكبر على عملية التآكل حيث سوف تساعد على زيادة معدل التآكل , أما السبيكة الغير معرضة للتشكيل فأنها سلكت هذا السلوك بسبب الاستقرار لهذه السبيكة تكون أعلى من السبائك الأخرى .

## الاستنتاجات

- 1- المعاملة الحرارية , التشكيل على البارد التي تكون عليها السبيكة تلعب دورا كبيرا في تحديد سلوك تآكل - تعرية .
- 2- السبيكة الغير معاملة حراريا تكون أكثر استقرارا من الحالات الأخرى .
- 3- السبيكة المعاملة محلوليا تمتلك أدنى مستوى لفقدان الوزن مقارنة بالمعاملات الأخرى .
- 4- السبيكة المعاملة محلوليا تمتلك اقل معدل لتآكل - تعرية مقارنة مع الحالات الأخرى .
- 5- زيادة نسبة التشكيل يعمل على زيادة معدل تآكل - تعرية .

## المصادر

### المصادر العربية:

- الخرجي, قحطان خلف محمد و الشريف, عبد الجواد محمد احمد (1988), التآكل اسبابه - انواعه - طرق الحماية منه ,كلية الهندسة,جامعة بغداد .
- الصبري, اسراء قحطان ,2000, "تحسين مقاومة التآكل لسبيكة ذات أساس ألمنيوم- نحاس", رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد, جامعة بابل .
- العمار, جميل حبيب غازي ,2002, "تحسين الاستقرارية الحرارية لسبائك الألمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء", رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد.
- الزيدي, باسم محيسن محمد,2004, "زيادة مقاومة سبائك الألمنيوم المستخدمة في صناعات الفضاء لدرجات الحرارة العالية", رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة المواد .

### المصادر الأجنبية

- Akiyama, E., Asami,K.( 2001 ),“Enhancement of Corrosion Resistance of Amorphous Aluminum alloys by Alloying Additions”, pdf, On the web:[www.nims.go.jp/pmg/html/akiyama%20Publication%20Record.htm](http://www.nims.go.jp/pmg/html/akiyama%20Publication%20Record.htm).
- Bengtsson, D., Svensson, J.E. and Johansson,L. G.( 2002), "The NaCl –Induced Atmospheric Corrosion of Aluminum; the Influence of Carbon Dioxide and Temperature", PDF . On the web: [direct.bl.uk/eearch/42/15/RN/28088222.html](http://direct.bl.uk/eearch/42/15/RN/28088222.html).
- Bohni ,H. and Suter, T.(2002),“Localized Corrosion Studies on aMolecular Level”, PDF.
- Bozec, N.and Persson D. (2002),“Analysis of Filiform Corrosion on Coated Aluminum Alloy by FTIR Micro-spectroscopy and Scanning Kelvin Probe”, PDF. On the web:[www.link.aip/link//JES/149/B403/1](http://www.link.aip/link//JES/149/B403/1).
- Buchheit, R.G., Boger, R.K. and Donohue, M.W.(2001)"Copper Dissolution Phenomena in Al-Cu and Al-Cu-Mg Alloys",. On the web:<http://www.mse.ohio-stst.edu/%7Ebruedigm/RGB02.pdf>.
- Buchheit, R.G. Boger, R.K (2002) "Cu Redistribution and Surface Enrichment Due to Dissolution of Al-Cu Alloys",On web: <http://www.mse.ohio-stst.edu/%7Ebruedigm/RGB03.pdf>.
- Bolten ,W.( 1998), “Engineering Material Technology” , 3<sup>rd</sup> ed., U.K..
- Fontana ,M.G.( 1989), “Corrosion Engineering ” , 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill.
- Ingrid, R. and Knotter, D. M.( 2003), "Passivation of Aluminum and Aluminum – Copper Alloys in Aqueous Acids", PDF,. On the web:[www.electrochem.org/dl/ma/204/pdfs/0817.PDF](http://www.electrochem.org/dl/ma/204/pdfs/0817.PDF).
- Little, D.A. and Scully, J.R.( 2001), "An Electro Chemical Framework to Explain the Inter-granular Stress Corrosion Path of two Al-Cu--Mg-Ag Alloys , C415 and C416",PDF,. On the web :[http:// cat. Inist. Fr//aModele = afficheN& cpsid = 18489225](http://cat.inist.fr/aModele = afficheN& cpsid = 18489225).
- McMurray, H.N , Williams, G. and Driscoll , S.O.( 2002 ) Chromate Inhibition of Filiform Corrosion on Organic Coated AA2024T3 Aluminum Alloy Investigated using a Scanning Kelvin Probe", PDF. On the web: [link.aip.org/link//ESLF616/B9/1](http://link.aip.org/link//ESLF616/B9/1).
- Missert, N. and Copeland R.G.(2002), Evaluation of AL Corrosion at Engineered Cu Islands", pdf.
- Nambodhiri, T., Deonath, K. (1989) “Some Corrosion Characteristics of the Aluminium- Mica Particulate Composites ”, Corr.Sci. ,Vol. 29, No. 10 , PP.125-1229.

Roberge,P.R.(1999) "Handbook of Corrosion Engineering", McGraw-Hill, September, [http : www.corrosion .doctorse .org / Economics / introduction .htm](http://www.corrosion.doctorse.org/Economics/introduction.htm) – 10 k .  
 Vanhile, P. and Tosto S.( 1992) ," Surface and Coatings Technology ",N (80), PP(295-303).  
 Walter ,J.L.( 1988), " Alloying", ASM International ,Carnes publication Service,Inc.

الجدول ( 1 ) التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة.

Al		Cu		Mg	
Wt%	At%	Wt%	at%	wt%	at%
96	96.9	2	0.86	2	2.24

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

وسط الاختبار	أبعاد العينات			حالة السبيكة
	قطر (mm) d التقرب	t(mm) سمك العينة	قطر (mm) D العينة	
3% NaCl	2	3	15	غير معاملة
3% NaCl	2	3	15	المعاملة محلولياً والمعتقة اصطناعياً
3% NaCl	2	2.6	16.1	C.W=19% التشكيل على البارد وبنسب مختلفة
3% NaCl	2	2.3	17.1	C.W=15%

جدول ( 3 ) ظروف المعاملة المحلولية للسبيكة .

Treatment	Condition
Solution Heat Treatment	Homogenizing Treatment at 500 C° for 3 hrs. + Cooling to Room Temperature + Solution Heat Treatment at 500 C° for 45 min..

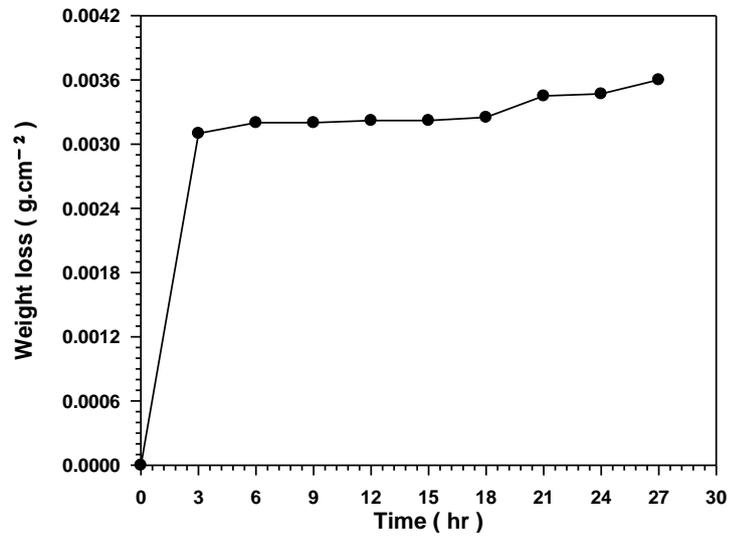
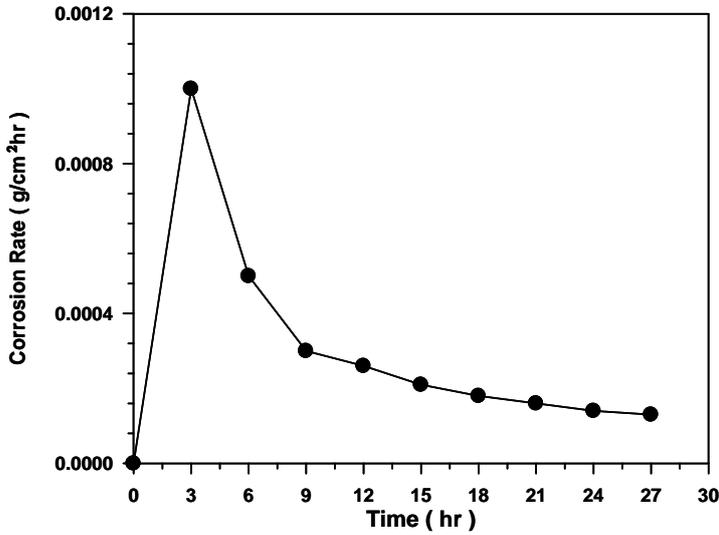
جدول ( 4 ) ظروف معاملة التعتيق الاصطناعي للسبيكة .

Treatment	Condition
Artificial Ageing Treatment	Homogenizing Treatment at 500 C° for 3 hrs. + Cooling to Room Temperature + Solution Heat Treatment at 500 C°

for 45 min. + Water Quenching + Artificial Ageing at 170 C° for 3 hr.

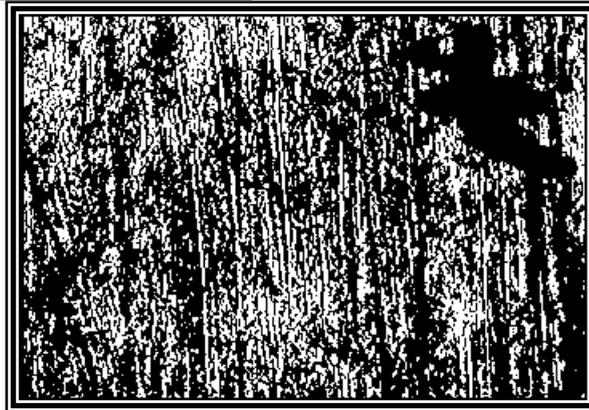
جدول ( 5 ) ظروف التشكيل على البارد للسبيكة .

Treatment	Condition
Thermo Mechanical Treatment	Homogenizing Treatment at 500 C° for 3 hrs. + Cooling to Room Temperature + Solution Heat Treatment at 500 C° for 45 min. + Water Quenching + Cold Work (0%,15%,19%) + Artificial Ageing at 170 C° for 3hr .

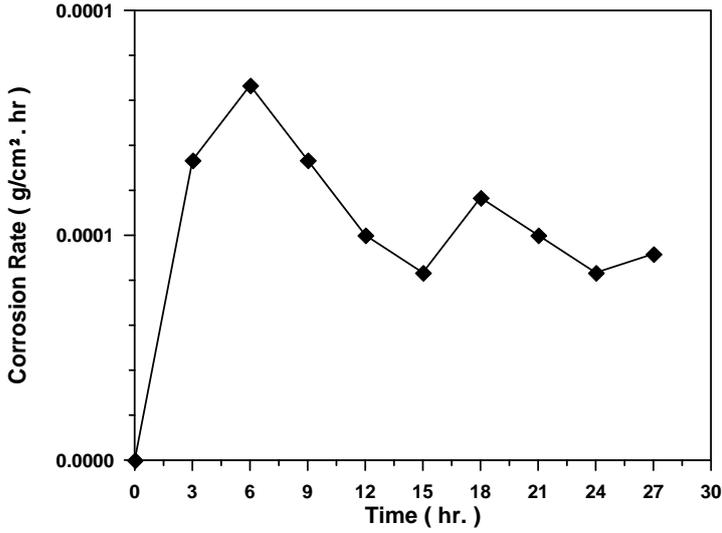


الشكل ( 2 ) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز ( 1M ) في معدل التآكل لنموذج من السبيكة الغير معاملة حراريا .

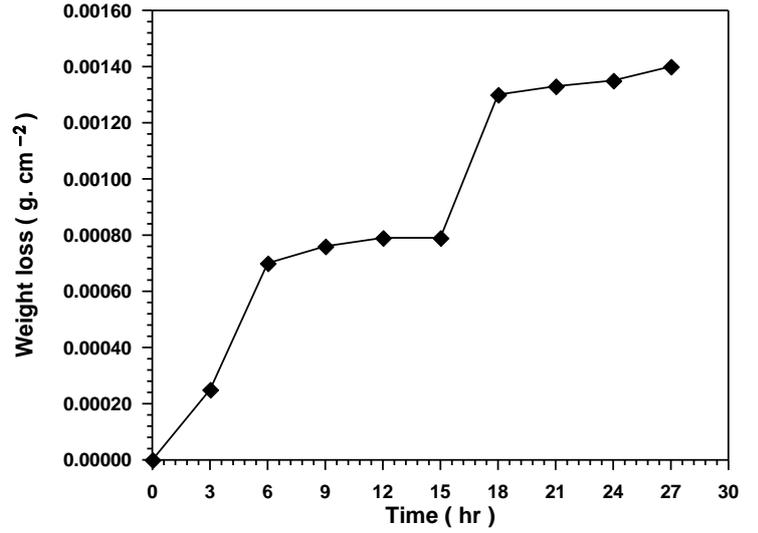
الشكل ( 1 ) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز ( 1M ) في الوزن المفقود لنموذج من السبيكة الغير معاملة حراريا .



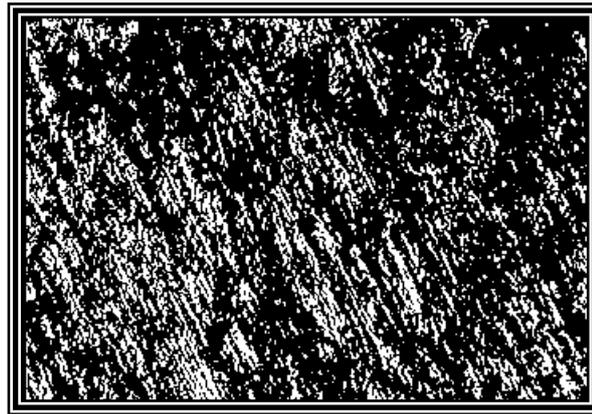
الشكل ( 3 ) طبوغرافية سطح عينة غير معاملة حراريا معرصة لتيار الوسط التآكلي ( 1M NaCl ) لفترة زمنية ( 27 hr ) بقوة تكبير ( 600X )



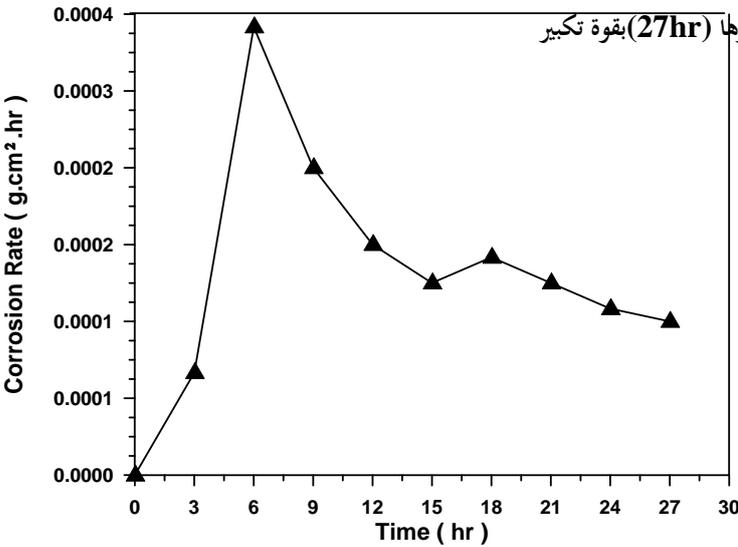
الشكل (5) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في معدل التآكل لنموذج من السبيكة معاملة بالمعاملة المحلوية .



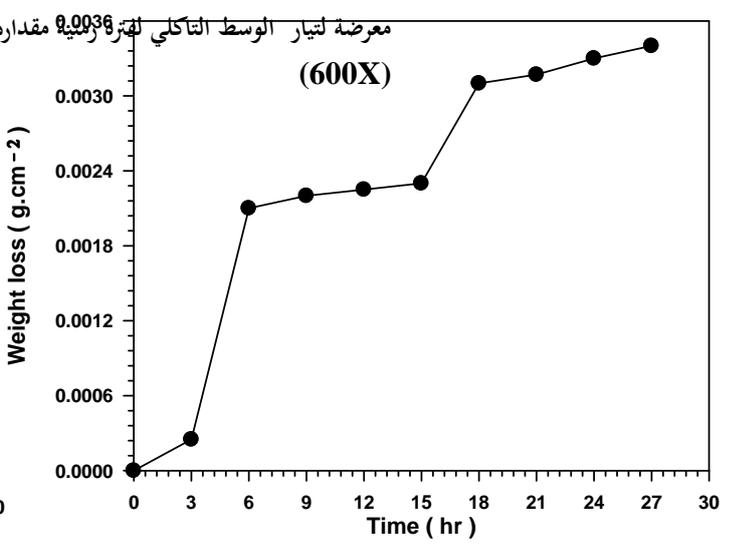
الشكل (4) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في الوزن المفقود لنموذج من السبيكة معاملة بالمعاملة المحلوية .



الشكل (6) طبوغرافية سطح عينة معاملة محلوليا بدرجة (500C°)



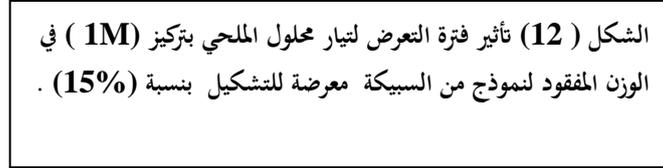
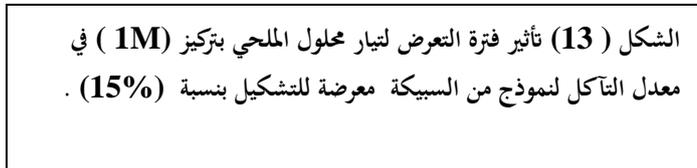
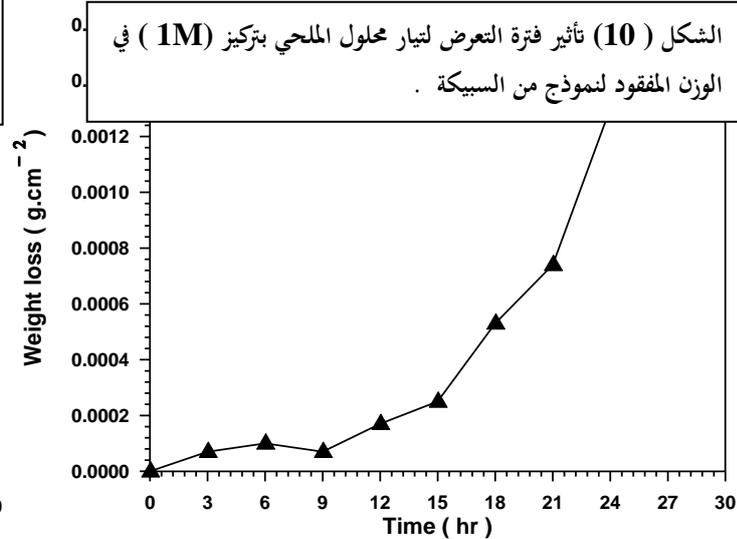
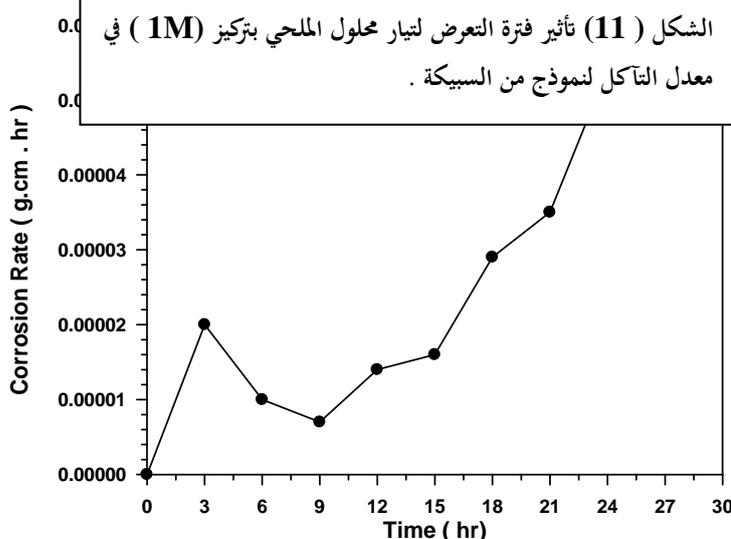
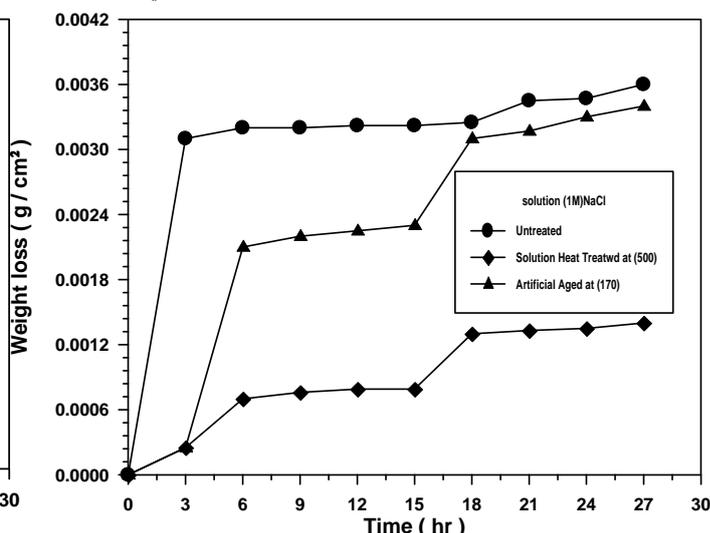
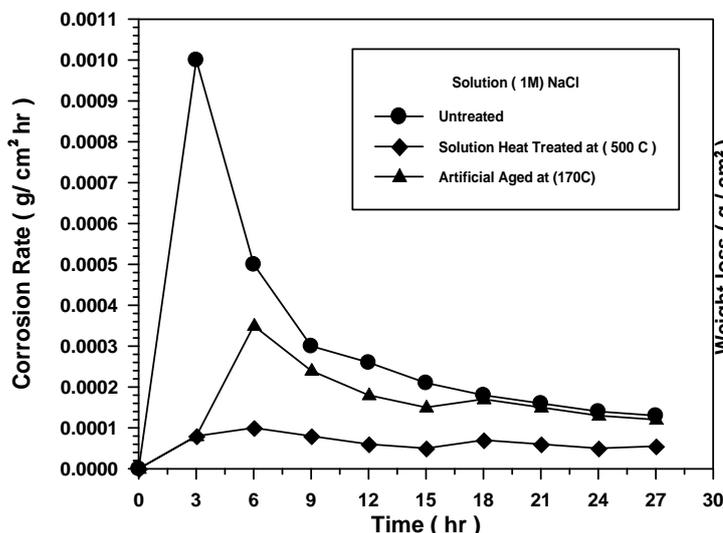
الشكل (8) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في معدل التآكل لنموذج من السبيكة معاملة بمعاملة التعتيق الاصطناعي .



الشكل (7) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في الوزن المفقود لنموذج من السبيكة معاملة بمعاملة التعتيق الاصطناعي .



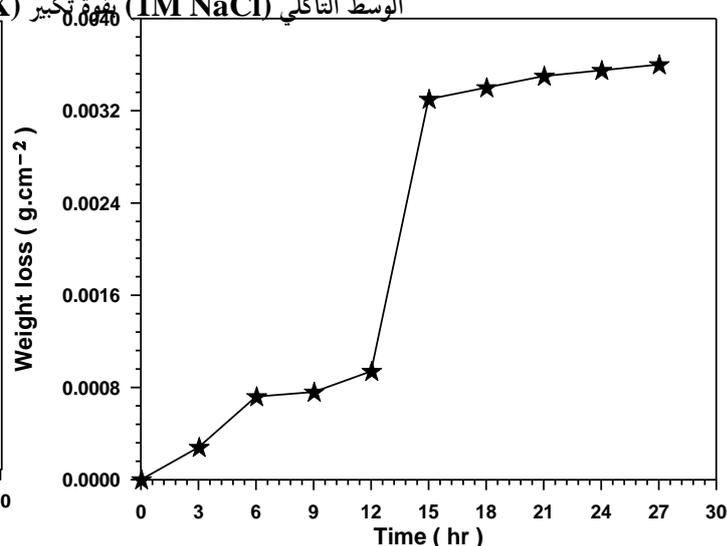
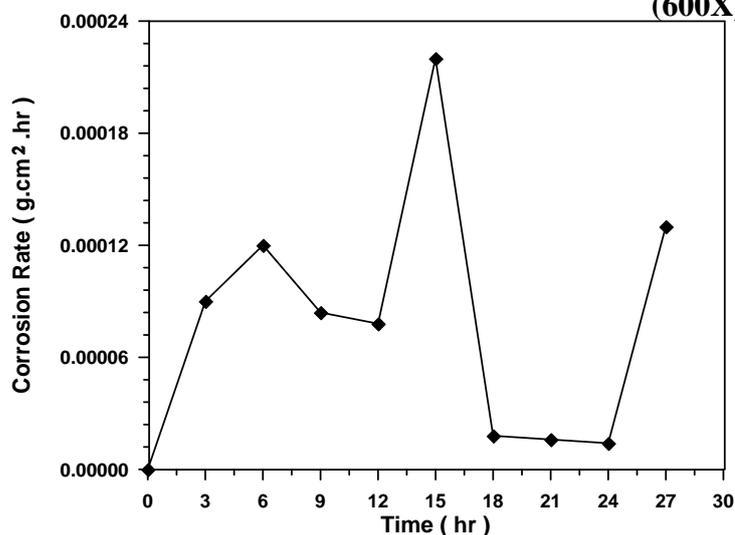
الشكل (9) طبوغرافية سطح عينة معتقة اصطناعيا بدرجة (170C°) معرضة لتيار الوسط التآكلي لفترة زمنية (27hr) بقوة تكبير (600X).





الشكل (14) طبوغرافية سطح عينة معرصة للتشكيل بنسبة (15%) معرصة لتيار

الوسط التآكلي (1M NaCl) بقوة تكبير (600X)



الشكل (15) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في معدل التآكل

لشكيل بنسبة (19%) .

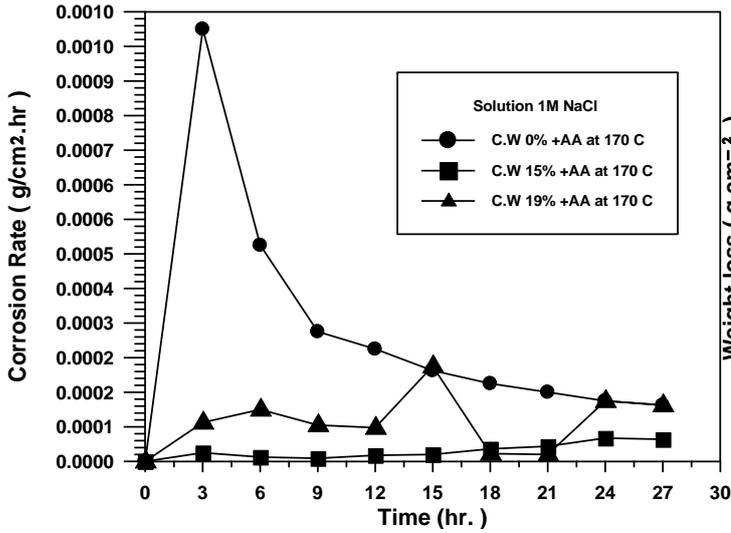
الشكل (16) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في المعدل التآكل

المفقود لنموذج من السبيكة معرصة للتشكيل بنسبة (19%) .

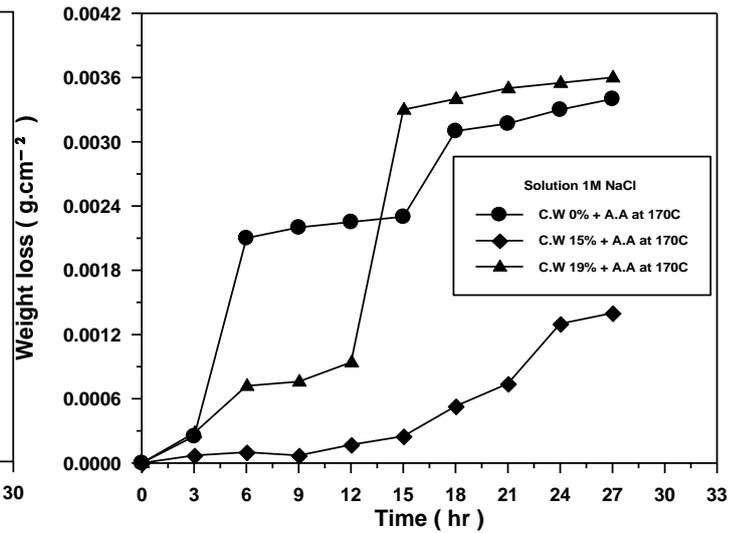


الشكل (17) طبوغرافية سطح عينة معرصة للتشكيل بنسبة (19%) معرصة لتيار

الوسط التآكلي (1M NaCl) بقوة تكبير (600X) .



الشكل (19) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في معدل التآكل لنموذج من السبيكة معرضة للتشكيل بنسب (0%,15%,19%)



الشكل (18) تأثير فترة التعرض لتيار محلول الملحي بتركيز (1M) في الوزن المفقود لنموذج من السبيكة معرضة للتشكيل بنسب (0%,15%,19%) .