

د. فاروق منصور مهدي

د. عبد المنعم عباس كريم

أستاذ مساعد

أستاذ مساعد

كلية الهندسة /جامعة تكريت

كلية الهندسة - جامعة ديالى

إيمان غانم جعباز

مدرس مساعد

كلية الهندسة /جامعة تكريت

دراسة سلوك التآكل النقري لسبيكة الألمنيوم ١١٠٠ في محلول ٣٪ كلوريد الصوديوم

(الاستلام ١/٤/٢٠٠٨ , القبول ٣١/٥/٢٠٠٨)

الخلاصة

أجريت هذه الدراسة على سبيكة الألمنيوم ١١٠٠ لمعرفة سلوك التآكل النقري في محلول (3 % NaCl) المتعادل والمشبع بالهواء وأجريت جميع الاختبارات عند درجة حرارة المختبر. وكان هناك أربع مجاميع من العينات: (١) كما تم استلامها (٢) أجريت لها عملية تخمير (Annealing) عند درجة (760) م (٣) وأجريت لها عملية التشكيل بالدرفلة (Rolling) بنسبة (35%) (٤) أجريت لها عملية التشكيل بنسبة (75%). حسب عدد النقر الناتجة من عملية التآكل على سطح كل عينة ولجميع المجاميع الأربعة ثم بعد ذلك تم قياس عمق الحفر و تصوير سطوح العينات وتبين أن عدد النقر يتزايد تدريجياً مع زيادة فترة الغمر بين (5) أيام و (90) ويكاد يكون تدرج الزيادة متناسقاً لجميع الحالات. وأما قبل ذلك فان معدل الزيادة يكون متسرعاً جداً. وهي حالة تشير إلى استمرار عملية تخليق ونشوء نقر جديدة باستمرار مع استمرار نمو النقر الناشئة في مراحل سابقة لها و أن حالة المعدن المخمر والتي تمثل معدناً بنسبة تشكيل مقدارها (٠ %))

هي أقل الحالات استجابة للتآكل النكري أي أقلها عرضة لهذا النوع من التآكل وتتزايد هذه الاستجابة تصاعدياً، مخمر > كما هي > تشكيل بنسبة (35%) > تشكيل بنسبة (75%). و كذلك لوحظ أن أقصى عمق للنقر يتزايد تدريجياً مع زيادة فترة الغمر لجميع الحالات. و تبين أن العامل الميثلورجي المتمثل بنسبة التشكيل على البارد يعمل بزيادته على زيادة عدد النقر الناشئة، وأقصى عمق للنقر ومعدل نمو النقر باتجاه العمق وإن احتمالية ظهور نقر بعمق معين عند فترة زمنية معينة تزداد بزيادة فترة الغمر لجميع الحالات المدروسة وأن احتمالية ظهور النقر قليلة العمق عالية جداً وأن احتمالية ظهور النقر ذات العمق الكبير هي احتمالية قليلة. من خلال دراسة التوزيع الطبيعي للنقر حسب عددها وعمقها وتبين ان أعماق النقر المتكونة لاحقاً وبسبب معدل نموها الابتدائي العالي ستقرب من أعماق النقر التي سبقتها في التكوين مما يؤدي إلى تجمعها حول القيمة المتوسطة للعمق وإن نسبة التشكيل البارد وكثافة التقر هي دالة لفترة الغمر و لحالة النموذج. أما كثافة النقر فإنها بصورة عامة تتزايد بتزايد فترة الغمر .

الكلمات الدالة : تآكل نكري , محلول ٣٪ NaCl , سبيكة المنيوم ١١٠٠ .

١. المقدمة (INTRODUCTION)

يمثل التآكل واحدة من المشاكل الرئيسية التي تواجه الصناعة , سواء من حيث حجم الأضرار التي يسببها نتيجة تلف الأجزاء المعدنية وفشلها وما ينجم عنه من توقفات وتكاليف إصلاح وصيانة , أو من حيث حجم التكاليف المصروفة على الوقاية من التآكل والحد منه بأساليب ووسائل متنوعة , مثل تغيير التصميم أو استعمال معادن وسبائك عالية التكاليف أو الطلاء بمواد عضوية ولا عضوية مختلفة أو استخدام أسلوب الحماية الانودية أو الكاثودية. وبشكل عام يمكن تعريف التآكل بأنه الانحلال التدريجي للمعدن بسبب تفاعله مع الوسط الذي يتعرض له ^(١). ومن غير الممكن تقادي التآكل أو إلغاؤه بشكل تام إلا انه يمكن السيطرة عليه أو تقليله إلى مستوى بحيث يمكن إهماله ^(٢).

الألمنيوم معدن فضي اللون ويمتاز بالعديد من الخواص المهمة مما جعله يغزو مجالات الاستخدام في التطبيقات الصناعية ومن هذه الخواص خفة الوزن والتوصيلية الجيدة للحرارة والكهربائية وسهولة التصنيع بمختلف طرائق التشكيل (Forming methods) والمقاومة الجيدة للتآكل والمظهر الخارجي الملائم والقابل للتلوين بطرائق التصعيد (Anodizing) ويعتبر المعدن الأكثر شيوعاً بعد الحديد وسبائكه ^(٤,٣). وإن الألمنيوم يقاوم التآكل في العديد من البيئات

المختلفة بسبب تكوينه طبقة اوكسيدية واقية تغطي سطحه وهي طبقة خاملة كيميائيا وغير موصلة كهربائيا ، علاوة على تماسكها والتصاقها الشديد فوق السطح و استمراريتها^(٥) .

ان سلوك التآكل الملاحظ للألمنيوم يكون حساسا للكميات الصغيرة من الشوائب أو العناصر السبائكية الموجودة في المعدن والتي تميل باستثناء المغنيسيوم الى تكوين قطبا سالبا نسبة الى الألمنيوم. لذا فإن الألمنيوم عالي النقاوة يكون اكثر مقاومة للتآكل من سبائكه وان الألمنيوم يتآكل بسرعة اكبر في كل من الحوامض والقلويات مقارنة مع الماء المقطر ويعتمد معدل التآكل في الحوامض على طبيعة الايونات السالبة ، بينما يزداد في القلويات بصورة كبيرة مع زيادة الدالة الحامضية (pH)^(٦) .

يعتبر التآكل النقرى (Pitting Corrosion) اكثر انواع التآكل خطورة لكونه يؤدي الى حصول الفشل المفاجيء في الاجزاء المعدنية او ثقبها دون فقدان شيء يذكر من وزنها، لذا يعتبر هذا النوع من التآكل العامل الذي يحدد السمك الضروري واللازم لتفادي ثقب المعدن وغالبا يصعب الكشف عن التتقر عند حصوله لصغر فتحات النقر وتكون مغطاة بنواتج التآكل عادة ، كذلك يصعب قياس درجة هذا التآكل كليا لأختلاف عمق وعدد النقر التي تتكون في كل مرة تحت نفس الظروف. وأن التآكل النقرى يتحفز بوجود ايونات في المحلول وتعتبر ايونات الهالوجينات عموما وايونات الكلوريدات خصوصا اكثرها تأثيرا في هذا النوع من التآكل بينما يكون للأيونات الأخرى تأثيرات متبانية على التآكل النقرى^(٧) .

ان التآكل النقرى يعتبر احد الانواع الرئيسية للتآكل التي يتعرض لها الألمنيوم وخصوصا ذلك الذي يتعرض بشكل مستمر للمحاليل المائية وبسبب خطر التتقر مُنع استخدام سبيكة الألمنيوم كمعدن في صناعة انابيب الماء وكذلك في منظومات ازالة الاملاح حيث ان العدد الكبير من الانابيب يتطلب استخدام سبيكة بكلفة واطئة^(٨) .

يتناول البحث الحالي دراسة لنشوء ونمو التتقر كدالة للزمن وتأثير نسبة التشكيل البارد واثرها في هذه العلاقة لسبيكة الألمنيوم ١١٠٠ في محلول (٣٪ NaCl) المتعادل والمشبع بالهواء عند درجة حرارة ٢٠ م واعتماد عدد النقر واعماقها كمعيار في تحديد حساسية المعدن للتآكل النقرى.

٢. استعراض للأدبيات السابقة (LITERATURES REVIEW)

استحوذ التآكل النقرى على اهتماما كبيرا من قبل الباحثين لأنه يؤدي غالبا إلى حدوث فشل مفاجئ وتنتامي هذه النقر بواسطة ميكانيكية التطور الذاتي ، فضلا عن ذلك فإن هذا التآكل يصعب التنبؤ به بطرائق القياس المختبرية^(٩،١٠) .

البحوث التي تناولت تأثير التشكيل البارد على سلوك التآكل النكري للمعادن قليلة وان هنالك تضارب واضح بين نتائج هذه الدراسات التي تستند في تقييمها لهذا السلوك على طرائق فحص مختلفة. فقد أظهرت نتائج إحدى الدراسات إن جهد التنقر (E_b) يتناقص بشكل مستمر مع زيادة نسبة التشكيل البارد (١٠)، بينما أظهرت نتائج دراسة أخرى إن عدد النقر وعمقها لا يتأثر بزيادة نسبة التشكيل البارد لغاية ٣٠٪ ثم يبدأ التأثير السلبي للتشكيل البارد حتى نسبة ٥٠٪ ثم يتناقص هذا التأثير السلبي مع الاستمرار في زيادة نسبة التشكيل (١١).

درس (Sanad) وآخرون (١٩٨٢) (١٢) سلوك التآكل لسبائك ألومنيوم-مغنيسيوم في محلول (٣٢.٧ غم/لتر NaCl) بطريقة المسح المستمر للجهد وطريقة فقدان الوزن عند درجات حرارة مختلفة. فوجدوا أن إضافة المغنيسيوم لا يؤثر على جهد التنقر عند درجات حرارة اقل من ٧٠ م وعند رفع درجة الحرارة بعد ذلك أدى إلى اخذ جهد التنقر لقيم أكثر سالبية.

قام مهدي (١٩٩٣) (١٣) بدراسة التآكل النكري للألمنيوم ذي النقاوة التجارية في محلول (٣.٥٪ NaCl) باستخدام طريقة المسح المستمر للجهد وطريقة الجهد الثابت واستخدام المجهر الالكتروني الماسح والأشعة السينية لدراسة الأسطح المتآكلة وتحليل دقائق الطور الثاني. فوجد أن جهد التصدع للمعدن المستخدم (SCE = - ٧٠٠ ملي فولت) وجهد إعادة تكوين الخمولية أو إصلاحها (SCE = - ٧٧٥ ملي فولت)، وبين الفحص الميكلوغرافي للأسطح المتآكلة إن الحفر تفضل إن تتكون عند دقائق الطور الثاني حيث اظهر الفحص بالأشعة السينية الميزة أنها أطوار تحتوي على الحديد والسيلكون. وتوصل إلى إمكانية الربط بين طرائق الاختبار الكهروكيميائية للتآكل النكري والجهود المميزة له من جهة وبين الفحص الميكلوغرافي من جهة أخرى ومن خلالها أعطى جهد التنقر أو التصدع (E_b) مفهومًا أكثر تحديداً وهو الجهد اللازم لتصدع طبقة الخمولية التي تغطي سطح الألمنيوم وبذا يمكن اعتبار دقائق الطور الثاني نوى جاهزة لتكوين الحفر.

قام Zhao وآخرون عام (1998) (14) باستخدام أسلوب تشتيت الضوء المستوي لدراسة مورفولوجية التنقر في أغشية من الألمنيوم. ومن خلال هذه الدراسة أمكن تمثيل تنقر أغشية الألمنيوم بنموذج السطح الخشن ثنائي البعد. ومن خلال ذلك فقد أمكن التحديد الكمي لعمق الحفر وكسر المساحة المتبقية من السطح وكثافة النقر.

درسا Leblanc & Frankel عام (2002) (15) ميكانيكية التآكل ونشوء التنقر لسبيكة الألمنيوم (AA2024) في محاليل (NaCl) وقد تمت دراسة الأسطح المتبقية باستخدام (Atomic Force Microscopy) (AFM) ذو الإمكانات الميكلوغرافية العالية. ووجد الباحثان أن النقر تنشأ عند دقائق الطور المعدني (Al_2CuMg) التي تعد طوراً نبيلًا

مقارنة مع الأساس (Matrix) في ظروف التعريض الطبيعية. ووجد الباحثان كذلك أن المتضمنات (inclusions) المتكونة من (Al-Cu-Fe-Mn) تعمل كمناطق كاثودية فاعلة وتدفع بالنقر إلى التكون والنشوء حولها. ولم يلاحظ الباحثان أي اثر للنقر على جسيمات هذه المتضمنات أو في المناطق التي لا تتواجد فيها واستنتجا من خلال ذلك أن وجود المناطق الكاثودية والانودية الموضعية أمر لازم لحدوث المهاجمة الموضعية ونشوء النقر.

استخدم Sehgal وآخرون عام (٢٠٠٠)^(١٦) تقنية تغلغل الرقائق (Foil Penetration Technique) لدراسة نمو النقر في سبائك الألمنيوم (AA1100-0، AA2024-T3). وتوصل الباحث إلى زيادة معدل نمو النقر في الألمنيوم النقي بزيادة الجهد المطبق مشيراً إلى أن عملية النمو هذه محكومة بانتقال الشحنة الاومي (Ohmic/Charge-Transfer Control). إذ أدت إضافة الكرومات الثنائية إلى خفض بسيط جداً لمعدل نمو النقر في سبيكة الألمنيوم (2024) عند إضافتها بتركيز عالية بلغت (1M) إلا أن زيادة تركيزها قد أدى إلى تقليل عدد النقر. أما إضافة نسب واطئة منها فقد ثبتت بفاعلية نمو النقر تحت اختبار الدائرة المفتوحة ومؤثراً بفاعلية كذلك على الجزء الكاثودي من منحنى الاستقطاب مشيراً إلى أن الكرومات الثنائية أو نواتج اختزالها تعمل كمثبطات كاثودية.

درس (Cheng) وآخرون (٢٠٠٣)^(١٧) تآكل سبيكة الألمنيوم (2024-T3) تحت طبقات رقيقة من المحلول الالكتروليتي (٣٪ NaCl) وذلك باستخدام تقنية الاستقطاب الكاثودي وقد أظهرت النتائج إن وجود طبقة الكتروليت ذات سمك كبير ٢٠٠ مايكروميتر فأن تيار اختزال الأوكسجين يكون مقاربا جدا لذلك المتحقق في المحلول الإجمالي ولكن ضمن مدى ١٠٠ - ٢٠٠ مايكروميتر يكون تيار اختزال الأوكسجين متناسبا عكسيا مع سمك الطبقة وهذا يعني ان انتشار الأوكسجين خلال طبقة الالكتروليت هو الخطوة المحددة لعملية اختزال الأوكسجين وضمن مدى ٥٨ - ١٠٠ مايكروميتر يتناقص تيار اختزال الأوكسجين قليلا تبعا لتكون هيدروكسيد الألمنيوم أو التغير في طبيعة الانتشار من ثنائي الأبعاد إلى أحادي البعد. والتناقص المستمر في سمك طبقة الالكتروليت يزيد من كثافة تيار اختزال الأوكسجين إلى مدى معين لان انتشار الأوكسجين يلعب دورا أكثر أهمية في طبقة الالكتروليت الرقيقة السمك.

(Chong) وآخرون (٢٠٠٣)^(١٨) درسوا سلوك التآكل لسبيكة الألمنيوم (٢٠١٤) التي صهر سطحها بالليزر (Laser Surface Melting (LSM)) وتم اختبار السطح المصهور بالليزر بدلالة فحص البنية المجهرية وتوزيع العناصر السبائكية وتحليل الأطوار. وكذلك دراسة التآكل النقرى باستخدام الاستقطاب الانودي في (١ مولاري NaCl) مزال الأوكسجين، وتوصلوا إلى أن صهر السطح بالليزر قد حسن مقاومة التقر بمقدار يتراوح بين ١١٠ ملي فولت و ١٧٠

ملي فولت اعتمادا على المعاملة الحرارية المسبقة للسبيكة وقد جاء التحسن هذا بالدرجة الأساس من عنصر السبيكة الرئيسي ألا وهو النحاس ومن تتعيم البنية المجهرية وبدرجة اقل من تتعيم دقائق الطور الثاني.

درسا Kimberli و Hoppner (٢٠٠٦) ^(١٩) ميكانيكية تحول النقرة إلى شق وذلك بأجراء تجارب عدة على سبيكة الألمنيوم (7075-T6) في محلول ٣.٥٪ NaCl وببروكسيد الهيدروجين. وتم اختبار الشق الذي يبدأ من نقرة بصريا وذلك لفهم كيفية حصول تحول النقرة إلى شق في السبيكة المدروسة وقد توصل الباحثان إلى أن المساحة السطحية للنقرة ومدى الاتساع للنقرة تكون بنفس أهمية عمق النقرة في تخمين متى وأين يحصل الشق.

استخدم Antony (٢٠٠٥) ^(٢٠) طريقة الجهد الثابت والفحص الميتالوجرافي لتحديد احتمالية ظهور النقر المستقر لسبيكة الألمنيوم (٢٠٢٤) في المحاليل الكلوريدية. وقام الباحث باستخدام التحليل الإحصائي لحساب احتمالية تكوين النقر غير المستقر مع الزمن ومن ثم قام بحساب احتمالية تحول النقر غير المستقر إلى أخرى مستقرة اعتمادا على القياسات الحجمية لها باستخدام المجهر الضوئي.

٣. العمل التجريبي (EXPERIMENTAL WORK)

أجريت التجارب لاختبار التآكل النقرى على سبيكة الألمنيوم ١١٠٠ عند درجة حرارة ٢٠ م في محلول ٣٪ NaCl المتعادل والمشبع بالهواء حيث أن مشكلة التتقر تظهر عند احتواء الأوساط المائية على ايونات الكلوريد وان اختيار هذا التركيز تحديدا لكونه مقاربا لتركيز الأملاح في ماء البحر، وحُضر المحلول بإذابة 30 gm من ملح كلوريد الصوديوم عالي النقاوة في ماء مقطر لا أيوني بما يجعل الخليط مساويا لـ (1000) مل. وتم معايرة الدالة الحامضية بواسطة استخدام جهاز (pH meter) لتكون (٧). والجدول رقم (١) يوضح التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة.

حُضرت العينات (specimens) لأربعة مجاميع على شكل مستطيل بأبعاد (٤×٢١×٣٢) ملم والمجاميع

هي:

١. عينات بدون أية معاملة والمستلمة كما هي (as received).
٢. عينات مجرة لها عملية تخمير (Annealing) عند درجة حرارة ٧٦٠ م.
٣. عينات مجرة لها عملية تشكيل بالدرفلة (Rolling) وبنسبة ٣٥٪.
٤. عينات مجرة لها عملية تشكيل بالدرفلة وبنسبة ٧٥٪.

بعد تهيئة العينات للمجاميع الأربعة ، أُخذت (١٦) ستة عشر عينة من المجموعة الأولى وُعمرت في دوارق مخروطية الشكل وعلقت بواقع عينتين لكل لتر واحد من محلول الاختبار مغمورة فيها شبكة من الأنايب المطاطية تتغذى من خلالها بالهواء القادم من ضاغط الهواء لضمان عملية التهوية كما مبين في الصورة رقم (١) ، وتم تحديد فترة الغمر لكل عينة حسب الجدول رقم (٢). وبنفس الأسلوب بالنسبة لعينات المجاميع الثلاثة المتبقية.

بعد اكتمال فترة غمر العينات، نُظفت من نواتج التآكل بحامض النتريك (HNO_3) وغسلها بالماء ثم جففت بمادة الأسيتون، ثم حسبت عدد النقر الناتجة من عملية التآكل على سطح كل عينة باستخدام المجهر الضوئي نوع (Olympus Bx 60M) وللمجاميع الأربعة تحت قوة تكبير مقدارها (10X). وقيس عمق النقر بواسطة نفس المجهر الضوئي وذلك بوضع النقرة تحت قوة تكبير صغيرة ومن ثم يتم زيادة قوة التكبير بحيث تملأ النقرة أكبر قدر ممكن من مساحة الرؤية وبعدها توضح المنطقة المحيطة بالنقرة وأخذ قراءة المايكروميتر. ثم تم توضيح تفصيلات النقرة حتى تتضح آخر نقطة في قعرها وأخذ قراءة أخرى للمايكروميتر ويمثل الفرق بين القرائتين عمق النقرة^(٢١) وتكرر العملية لبقية النقر. وقد صورت سطوح العينات قبل وبعد التآكل بواسطة مجهر ضوئي مزود بكاميرا فيديو نوع (G.K.B, CCD camera) مربوطة بحاسبة شخصية نوع (Pentium II) معرفة بنظام (Windows 98) لغرض تسجيل الصور الفوتوغرافية فيها وللمجاميع الأربعة. إضافة إلى ذلك اجري تصوير البنية المجهرية للعينات وقبل عملية التصوير هذه جرى إظهار العينات بواسطة محلول الإظهار نوع كيلر (KELER reagent) وتركيبه الكيميائي: (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃) ، حيث توضع كمية صغيرة من المحلول في زجاجة ساعة ثم يغمس السطح المصقول لمدة (٢٠) إلى (٣٠) ثانية ، بعدها تغسل العينة بالماء والكحول وتجفف وبهذا أصبحت العينات جاهزة للفحص المجهرى وقد فحصت البنية المجهرية لها تحت المجهر الضوئي ونقلت الصورة من المجهر إلى الحاسبة من خلال كاميرا فيديو ليتم حفظها. للتعرف على تفاصيل أكثر عن العمل التجريبي بالإمكان الرجوع إلى المصدر رقم (٢٢).

٤. النتائج والمناقشة (RESULTS and DISCUSSION)

اعتمد عدد النقر واعماقها كمعيار لتحديد حساسية المعدن قيد الدراسة للتآكل النقرى وحيث أن للتآكل النقرى طبيعة إحصائية في نشوئه وتطوره وإمكانية استرجاع ذات النتيجة تحت ظرف محدد فقد تم اعتماد هذا المعيار من اجل التوصل إلى صيغة رياضية يمكن من خلالها واعتمادا على النتائج المستحصلة من فترات غمر عديدة ، تحديد احتمالية

ظهور نقرة بعمق معين إذا ما تم تحديد فترة الغمر سلفاً وبعبارة أخرى يمكن تحديد عمر المنشأ العامل في ظرف معين من خلال استخدام هذه الصيغة بطريقة عكسية ، أي إيجاد فترة الغمر اللازمة للحصول على العمق الذي يحدث عنده فشل المنشأ. وفيما يلي عرض ومناقشة النتائج التي تم الحصول عليها:

١. العلاقة بين فترة الغمر وعدد النقر

(Relation between Duration and Number of Pits)

يبين الشكل رقم (1) العلاقة بين عدد النقر المتكونة على السطح وفترة الغمر للعينات بحالاتها المختلفة وهي على الترتيب: عينات كما هي أي كما تم استلامها من منشئها وعينات مخمرة وعينات مشكلة على البارد عن طريق الدرفلة بنسبة (35%) وأخرى مشكلة على البارد بنسبة (75%).

بصورة عامة يلاحظ من هذا الشكل أن عدد النقر يتزايد تدريجياً مع زيادة فترة الغمر بين (5) أيام و(90) يوماً ويكاد يكون تدرج الزيادة متناسقاً لجميع الحالات قيد الدراسة وهي حالة تشير إلى استمرار عملية تخليق ونشوء نقر جديدة باستمرار مع استمرار نمو النقر الناشئة في مراحل سابقة لها ولم يتم الوصول إلى حالة استقرار في هذه الدراسة، أي لم يتم الوصول إلى الحالة التي يقتصر فيها التآكل على نمو النقر الموجودة وتوقف عملية التخليق والنشوء. أما إذا ما تمت المقارنة بين حالات المعدن المختلفة بتغيير واحد من العوامل الميتالورجية ألا وهو نسبة التشكيل البارد فنجد أن حالة المعدن المخمر والذي يشير إلى معدن بنسبة تشكيل مقدارها (0%) تمثل أقل الحالات استجابة للتآكل النكري أي أقلها عرضة لهذا النوع من التآكل وتتزايد هذه الاستجابة تصاعدياً،

مخمر > كما هي > تشكيل بنسبة (35%) > تشكيل بنسبة (75%)

يمكن تفسير هذا السلوك اعتماداً على التغييرات الميتالورجية التي يعاني منها المعدن في أثناء تخميره وفي أثناء تشكيله تشكيلاً بارداً وما ينجم عن ذلك من نشوء مجالات انفعال ومجالات إجهاد وطاقات داخلية مخزونة، ففي حالة التخمير التي تتحقق بتسخين النماذج إلى درجة حرارة ٢٥٠م° لفترة زمنية مقدارها ساعة واحدة يتم إزالة البنية المشوهة وتخليق بنية جديدة متساوية المحاور كما يتم خفض عدد الانخلاعات إلى أدنى حد ممكن وهو بحدود (10⁶ سم³/سم³) وبالتالي خفض مستوى الطاقة للعينة إلى حدودها الدنيا وهو ما ينعكس على سلوك التآكل عامة والتآكل النكري خاصة إذ تميل العينة إلى حالة من التجانس وتمائل الحبيبات وانخفاض مسببات نشوء وتطور النقر وهو ما يجعلها أقل حساسية للتآكل النكري مقارنة بالحالات قيد الدراسة كافة.

أما عند الانتقال إلى الحالات الأخرى وإدخال عامل ميتالورجي جديد من خلال تشكيل النماذج تشكياً بارداً فإن جملة من التطورات الميتالورجية الداخلية ستتحقق وتنعكس بقوة على سلوك التآكل النقرى إذ بزيادة نسبة التشكيل تبدأ الحبيبات بالنشوء باتجاه الانفعال الرئيسي بدرجة تعتمد على نسبة التشكيل وبذا يفقد المعدن تجانسه وتظهر فيه اتجاهية في الخواص عامة وبضمنها سلوك التآكل كما يأخذ عدد الانخلاعات بالتزايد ليتمكن تحقيق نسبة التشكيل هذه ويمكن للكثافة الانخلاعية في متوسطها أن تصل إلى (10^{12} سم/سم³) ويرافق هذه الزيادة في الكثافة الانخلاعية حدوث تجمعات من هذه الانخلاعات عند نقاط محددة توصل الكثافة الموضعية للانخلاعات عند هذه النقاط إلى قيم أعلى من القيمة المتوسطة بكثير. تحدث هذه التجمعات الانخلاعية عند نقاط الإعاقة لحركة الانخلاعات وعند نقاط منع الحركة بالكلية ويمكن لهذه النقاط أن تتمثل في نقاط النقاء ثلاثة حدود بلورية أو دقائق صلدة لطور ثان في المدن أو الغابة الانخلاعية (forest dislocation) وهو ما يعني وجود انخلاء متوقفة بصورة عمودية على خط سير الانخلاعات وبعبارة أدق انخلاءه متوقفة عمودياً في المستوى الأنزلاقي. إن زيادة الكثافة الانخلاعية في صورتها المتوسطة والموضعية تزيد من الطاقة المخزونة للعينة من ناحية وتعمل على توليد مجالات انفعال ومجالات إجهاد موضعية عند التجمعات الانخلاعية مما يؤهل هذه النقاط لتكون نوى لنشوء وتخليق النقر وكلما كانت نسبة التشكيل أعلى كلما كان عدد هذه النقاط أعلى وكلما كان عدد النقر الناشئة أعلى وهذا ما لاحظناه من الشكل رقم (1) قيد المناقشة.

٢. العلاقة بين فترة الغمر و أقصى عمق للنقر

(Relation Between Duration and the Maximum Depth of Pits)

يبين الشكل رقم (2) علاقة أقصى عمق للنقر مع زمن الغمر لحالات النماذج المختلفة. ويعد أقصى عمق للنقر معياراً معتبراً لتقييم التآكل النقرى إذ يعد أقصى عمق للنقر المحدد الرئيسي لتحديد عمر المنشأ الذي يتعرض لهذا النوع من التآكل كما يعمل على إحداث خفض كبير في الخواص الميكانيكية إذ يعمل على توفير مراكز حادة للاجهادات ويعمل في ذات الوقت على توفير نواة لشق الكلال في الأجزاء التي تتعرض إلى أحمال ديناميكية متغيرة القيمة أو الاتجاه أو كلاهما. كما تم اعتماد معايير التآكل النقرى في تقييم التآكل الحاصل للمعدن قيد الدراسة ولم نلجأ إلى معايير أخرى مثل قياس معدل التآكل مقاساً بوحدهات (MPY) أو (Mdd) لأن الألمنيوم (معدن النماذج) مغطى بطبقة متماسكة ومتصلة وملصقة بالقوة إلى السطح من اوكسيد (Al_2O_3) وهذه الطبقة تمنع حدوث تآكل عام وتسمح في ذات الوقت لنشوء تحطم موضعي فيها عند نقاط الضعف المتمثلة في التجمعات الانخلاعية، الشقوق الدقيقة، دقائق الطور الثاني وغيرها مما يؤدي

إلى نشوء النقر التي تصبح مناطق انودية من السطح وتصبح باقي مناطق السطح كاثودية حيث يحدث عند الأولى تحلل المعدن و عند الثانية تحرر غاز الهيدروجين غالباً، وحيث أن المساحة الانودية صغيرة جداً مقارنة بالمساحة الكاثودية فان تطور ونمو النقر الناشئة سيكون متسارعاً ويكون اعتماد معدل التآكل في هذه الحالة كمعيار لتقييم التآكل غير ذي جدوى ويتحتم اعتماد شدة التآكل الموضعي عند المناطق الانودية أي عند النقر هو المعيار الصحيح وبعبارة أخرى عمق النقر، ولأن النقر تتوفر بأعماق مختلفة إذ على الدوام ستوجد نقر ناشئة في مراحلها المبكرة وأخرى في مراحل متقدمة من النمو والتطور وفيما بينهما نقر بمراحل مختلفة، لهذه الأسباب تم اعتماد أقصى عمق للنقر كمعيار وليس أداها أو متوسط عمق النقر فالمنشأ يفشل عندما يتم ثقبه بأول نقرة إن كان وعاءً أو أنبوباً ناقلاً لمائع أو عندما يصل عمق النقر إلى مقدار يضعف الخواص الميكانيكية ويجعل المنشأ عرضة للفشل في أية لحظة عندما يكون المنشأ جزءاً ميكانيكياً معرضاً لحمل استاتيكي أو ديناميكي.

وبالعودة إلى الشكل رقم (2) نلاحظ بشكل عام أن أقصى عمق للنقر يتزايد تدريجياً مع زيادة فترة الغمر لجميع الحالات. أما إذا عقدنا مقارنة بين حالات النماذج المختلفة فإننا نجد أن حالة العينة المخمرة تمتلك أدنى عمقاً للنقر ولجميع فترات الغمر وبفارق كبير عن الحالات الثلاث الأخرى، ثم تليها حالة العينة كما مستلمة من منشئها ثم العينة المشكلة على البارد بنسبة (35%) ثم العينة المشكلة على البارد بنسبة (75%). و يفسر هذا السلوك على نفس الأسس التي سبق ذكرها في الفقرة رقم (1) تماماً. كما يلاحظ من الشكل رقم (2) أن معدل تزايد عمق النقر (معدل النمو باتجاه العمق) يختلف هو الآخر من عينة إلى أخرى ففي حين نجد أن العمق متقارب في الحالات الأربع عند فترة الغمر (5) أيام و (10) أيام ونلاحظ أن فارق العمق يتزايد بتزايد فترة الغمر. و بناءً على ذلك يمكن التوصل إلى أن العامل الميتالورجي المتمثل بنسبة التشكيل على البارد يعمل بزيادته على زيادة عدد النقر الناشئة وأقصى عمق للنقر ومعدل نمو النقر باتجاه العمق.

٣. التنبؤ بالعمر التشغيلي من خلال التحليل الإحصائي للنتائج

(Prediction of Life Time Using Statistical Analysis of the Results)

إن من المعروف إن التآكل أنقري هو أحد أنواع التآكل الموضعية الخطرة بسبب النمو المتسارع لها بعد النشوء ويسبب الفشل المفاجئ ودون سابق إنذار لأجزاء المعرضة لهذا النوع من التآكل ولا يخفى على أحد ما ينطوي عليه الفشل المفاجئ من مخاطر تتعدى فشل الجزء المنفرد إلى فشل المنشأ الذي يمثل الجزء احد عناصره أو توقف (shut down)

لمعمل بكامله. ومن هنا فان من المهم أن نجد سبباً للتنبؤ وبدرجة موثوقة بالعمر التشغيلي للجزء وتحديد ساعات العمل و موعد الاستبدال. ولتحقيق ذلك فقد تم رسم العلاقة ولجميع الحالات بين عمق النقر واحتمالية ظهورها بعد عدد معين من الساعات التشغيلية وهي في حالتها هذه ساعات تعرض النموذج للوسط الأكال.

تبين الأشكال من (3) إلى (6) العلاقة بين عمق النقرة و احتمالية ظهورها عند فترات غمر مختلفة. ويلاحظ من هذه الأشكال إن احتمالية الظهور تزداد بزيادة فترة الغمر لجميع الحالات قيد الدراسة وأن السلوك العام لجميع الحالات متشابه وهي حالة تتوافق مع ما ذكر سابقاً من استمرار نمو النقر الناشئة والمتكونة وهو ما قاد إلى هذه النتيجة إذ انه في كل لحظة تنمو نقر جديدة وتبعاً لذلك تصبح ضمن الأعماق المحتمل ظهورها.

كما يلاحظ من هذه الأشكال كذلك إن احتمالية ظهور النقر قليلة العمق عالية جداً وتكاد تكون حتمية مما يشير إلى أن عملية تخليق ونشوء النقر هي عملية مستمرة ولا تتوقف بل ولا تتغير بتغير فترة الغمر بخلاف ما هو متعارف عليه في كثير من الأدبيات الخاصة بالتآكل النكري من أن تكون النقر ونموها يعمل على حماية ما يتبقى من سطح المعدن المعرض للوسط الأكال. وفي واقع الأمر لا يوجد تعارض بين الحالتين إذ أن الكلام في تلك الأدبيات يتعلق بحالة التآكل التي وصلت إلى الاستقرار ومما يتبين من نتائجنا الحالية هو إن الحالة ما زالت لم تصل إلى الاستقرار حتى عند أطول فترة غمر وبذلك فان عملية التخليق تبقى مستمرة. ويظهر من هذه الأشكال أيضاً أن احتمالية ظهور النقر ذات العمق الكبير هي احتمالية قليلة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن النقر الناشئة لا تنمو بمعدل واحد ومع إن الظرف العام للتآكل هو ذاته لجميع السطح وبالتالي لجميع النقر إلا أن ظرف كل نقرة قد يختلف عن الأخرى، إذ تختلف النقر في نموها من جوانب عدة فلكل منها نمو باتجاه العمق ونمو بالاتجاه الجانبي و له شكل وكل من هذه العوامل يلعب دوره في تحديد معدل النمو باتجاه العمق.

الشكل رقم (7) يبين العلاقة بين عمق النقر واحتمالية الظهور عند فترة غمر مقدارها ٩٠ يوماً وللحالات المدروسة كلها. ويتبين من الشكل إن احتمالية ظهور النقر بعمق معين يعتمد بدوره وكما أسلفنا على حالة العينة من حيث درجة التشكيل البارد والمعاملة الحرارية ويتبين من الشكل أن الاحتمالية تترادى بالاتجاه الآتي:

عينة مخمرة > عينة كما هي > عينة مشكلة بنسبة 35% > عينة مشكلة بنسبة 75%

وهذا الترتيب مرتبط بالأسباب ذاتها التي تم على أساسها تحليل تغير عمق النقر مع فترة الغمر المشار إليها في

الفقرة رقم (2) أنف الذكر.

أمكن من الإشكال التي تمت مناقشتها الحصول على صيغ رياضية يمكن من خلالها التنبؤ بالفترة الزمنية اللازمة لتكون نقرة بعمق معين و تحديد احتمالية ظهور هذه النقرة وبعبارة أخرى أمكن الحصول على صيغ رياضية للتنبؤ بعمر الجزء المعدني المعرض للوسط الأكال وهذه الصيغ الرياضية كما مبين في أدناه و لكل حالة:

$$y = 1.3679 \text{ EXP}(-0.2085 \cdot xt^{-0.624}) \quad \text{كما هي :}$$

$$y = 0.7511 \text{ EXP}(-0.0429 \cdot xt^{-0.231}) \quad \text{مخمرة :}$$

$$y = 0.6665 \text{ EXP}(-0.0801 \cdot xt^{-0.325}) \quad \text{مشكلة بنسبة ٣٥٪ :}$$

$$y = 0.6461 \text{ EXP}(-0.0154 \cdot xt^{-0.261}) \quad \text{مشكلة بنسبة ٧٥٪ :}$$

حيث إن:

$y =$ احتمالية ظهور نقرة بعمق (x مايكرون).

$t =$ فترة الغمر بالأيام.

٤. منحنيات التوزيع الطبيعي لأعماق النقر و أعدادها

(Normal Distribution Curves for Depth and Number of Pits)

يلاحظ من الأشكال (8) إلى (١٥) التي تمثل منحنيات التوزيع الطبيعي لجميع الحالات قيد الدراسة إن النقر ذات العمق الصغير و كذلك ذات العمق الكبير قليلة العدد وأن العدد الأكبر للنقر هي تلك التي تمتلك عمقاً قريباً من القيمة المتوسطة لها بشكل عام. ويرجع العدد القليل للنقر ذات العمق الصغير إلى أن النشوء والنمو للنقر المتكونة في المراحل الأولى يعمل بشكل جزئي على حماية باقي سطح النموذج الذي يكون بمجمله منطقة كاثودية. هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فإن النقاط السطحية المؤهلة لتكون نوى جاهزة لتخليق النقر، مثل الشقوق الدقيقة في طبقة الأوكسيد الواقية، مناطق المتضمنات، دقائق الطور الثاني، التجمعات الانخلاعية، وغيرها سيتم مهاجمتها أولاً وفي مراحل الغمر الأولية متحولة إلى نقر نامية. وهذا كله سيؤدي إلى تقليل النقاط المؤهلة لتكوين النقر كما إن القوة الدافعة لنشوء نقر إضافية بسبب انخفاض عدد النوى الجاهزة للتخليق في مناطق يفترض أنها صارت كاثودية. أما انخفاض عدد النقر ذات العمق الكبير فيعزى إلى أن معدل النمو يتباطأ مع الزمن أي أنه يبدأ بمعدل عالٍ ثم يأخذ بالتناقص ويرجع ذلك لأسباب عدة يأتي

في مقدمتها تكون نواتج تآكل صلبة تعيق استمرار التآكل. كما إن حدوث النمو الجانبي للنقر والذي يظهر في الصور الفوتوغرافية لفترات العمر المختلفة و المبينة في الأشكال (١٦) إلى (١٩) سيحدث على حساب النمو باتجاه العمق وبالتالي فإنه سيعمل على تقليل معدل نمو النقر باتجاه العمق في المراحل المتقدمة. وبذلك فإن أعماق النقر المتكونة لاحقاً وبسبب معدل نموها الابتدائي العالي ستقرب من أعماق النقر التي سبقتها في التكوين مما يؤدي إلى تجمعها حول القيمة المتوسطة للعمق وهو ما يظهر بوضوح في أغلب منحنيات التوزيع الطبيعي لعمق النقر مقابل عددها.

٥. مورفولوجية التنقر وكثافتها (Morphology and Concentration of Pitting)

يلاحظ من الصور الفوتوغرافية المبينة في الأشكال (١٦) إلى (١٩) والتي تمثل أسطح النماذج لفترات غمر مختلفة ولجميع الحالات قيد الدراسة. يلاحظ من هذه الأشكال أن مورفولوجية وكثافة التنقر هي دالة لفترة الغمر ولحالة النموذج. أما فيما يتعلق بالكثافة فإنها بصورة عامة تتزايد بتزايد فترة الغمر ولكن الملاحظة الدقيقة للصور تظهر هذه النتيجة بصورة مشوشة وغير حاسمة. ويمكن فهم وتفسير الظاهرة بالرجوع إلى ما تم تسجيل مناقشته من قبل والمتمثل في عدد النقر لكل حالة ولكل فترة غمر والتي بينت بوضوح إن كثافة التنقر تتناسب طردياً مع إطالة فترة الغمر بسبب التخليق المستمر لنقر جديدة وهي نتيجة محسومة تماماً. أما ما يظهر في الصور الفوتوغرافية قيد المناقشة والذي لا يتطابق تماماً مع ما أشير له من قبل فيرجع سببه إلى عدم انتظام توزيع كثافة النقر على جميع سطح العينة. وأما مورفولوجية النقر فيمكن إيضاحها من خلال النقر النموذجية والمختارة لكل حالة من حالات النماذج والمبينة في الأشكال (١٦) هـ ، (١٧) هـ ، (١٨) هـ ، (١٩) هـ ، يظهر من هذه الأشكال السمة المميزة للنماذج المستلمة كما هي والنماذج المشكلة على البارد بنسب ٣٥٪ و ٧٥٪ هي وجود تحطم جانبي لطبقة الخمولية يمتد إلى مسافات بعيدة من مركز النقرة مشيراً بذلك إلى إن الأسطح الجديدة المتولدة من التشكيل البارد أكثر ضعف من سواها وأكثر عرضة للتقر وهو ما يظهر بصورة كثافة التنقر العالية والنمو الجانبي للنقر المتولدة علاوة على نموها باتجاه العمق. أما النماذج المخمرة فلا يظهر فيها هذا النوع من التحطم الجانبي بل يقتصر على منطقة النقرة مما يشير إلى تماسك هذه الطبقة ومقاومتها الأعلى للتحطم ويمكن لهذه الظاهرة أن ترجع إلى ما يسببه التشكيل البارد من توليد عالي للانخلاعات وزيادة لكثافتها من ناحية ومن تكوين لمجالات انفعال ومجالات إجهاد مرتبطة بها ناتج عن التجمعات الانخلاعية عند نقاط الإعاقة علاوة على مستوى الطاقة الأعلى لهذه النماذج إذ أن مقداراً من الطاقة المصروفة على التشكيل البارد تخزن على شكل طاقة انفعال تزيد من القوة الدافعة للتقر.

٥. الاستنتاجات (CONCLUSIONS)

١. استمرت عملية نشوء نقر جديدة طويلة فترة الغمر ولم يتم الوصول إلى حالة الاستقرار.
٢. تتزايد حساسية الحالات قيد الدراسة للتآكل النقري ولأقصى عمق للنقر ولجميع فترات الغمر حسب الترتيب
٦. الحالة المخمرة > الحالة المستلمة كما هي > تشكيل بنسبة ٣٥٪ > تشكيل بنسبة ٧٥٪
٣. يعمل التشكيل البارد على زيادة عدد النقر الناشئة ولزيادة أقصى عمق لها وزيادة معدل نموها.
٤. تكون احتمالية ظهور النقر قليلة العمق عالية وتكاد تكون حتمية في حين إن احتمالية ظهور النقر كبيرة العمق منخفضة.
٥. أمكن الحصول على صيغ رياضية يمكن من خلالها إيجاد احتمالية ظهور نقرة بعمق معين بعد فترة معينة.
٦. يكون توزيع النقر على السطح غير منتظم.
٧. يحدث تحطم طبقة الخمولية المحيطة بالنقر في النماذج المشكلة على البارد بسهولة أعلى بكثير من حدوثها في النماذج المخمرة.

٦. المصادر (REFERENCES)

1. Fontana, M.G. and Green, N. D., "Corrosion Engineering", 2nd edition. McGraw-Hill (1978).
2. West, J.M. "Basic Corrosion and Oxidation", John-Wiley and sons, (1980).
3. George S. Brady et al, "Materials Handbook", 7th edition, King sport press, MC. Graw Hill, New York, pp. (35-37), (1977).
4. Alen, Evertt, "Materials", Bt Bats ford limited London (1978), p. 216.
5. Uhlig, H. H., "Corrosion and Corrosion Control", 2nd Ed., John-Wiley and sons, Inc., (1971).
6. Trethewey, K. R. and Chamberlain, J., "Corrosion for Science and Engineering", 2nd Ed., Longman, (1996).
7. Einar Mattsson, Br. Corros. J., 13, 5. (1978).
8. Man, H.C. and Gabe, D. R., "The study of pitting potentials for some austenitic stainless steels using a potentiodynamic technique", Corr. Sci., Vol. 21, pp (713 – 721), (1981).
9. John, A., "corrosion of stainless steel", New York, John-Wiley and sons (1979).

10. Klinger, R. And Faller, H. G., Aluminum, 57, E1, (1981).
11. Kenjiro Goto, Yoshihko Shimizu and Goto to Trans of National research institute for metals, 22, 270, (1980).
12. Sanad, S. H.; Ismail, A.A.; El-Sobki, K.M.; and Shalaby, L. A. "Corrosion of Al-Mg alloys in sodium chloride solutions" Corr. Prevention & Control, Vol. 29, No. 3, pp. (21-23), (1982).
١٣. مهدي، فاروق منصور، دراسة ميتالوغرافية للتآكل النقري في الألمنيوم، الهندسة التكنولوجية، المجلد الثالث عشر، (١٩٩٣).
14. Zhao, Y.P.; Cheng, C.F.; Wang G.C.; and Lu, T.M., "Characterization of pitting corrosion in aluminum film by light scattering", Applied Physics Letters, Vol. 73, No.17, pp (2432 – 2434), (1998).
15. Lebac, P. and Frankel, G. S., "A study of corrosion and pitting initiation of AA2024 – T3 using atomic force microscopy", Journal of the electrochemical society, vol. 149, pp (B239 –B247), (2002).
16. Sehgal, A.; Frankel, G.S.; Zoofan, B.; and Rokhlin, S., "Pit growth study in Al alloys by the foil penetration technique", Journal of the electrochemical society, vol. 147, No 1, pp (140 – 148), (2000).
17. Cheng, Y. L., Corr. Sci, Vol. 42, (2003).
18. Chong, P. H.; Liu, Z.; Skeldan, P. & Thompson, G. E., Vol. 6, p (12), (2003).
19. Kimberli, J. and Hoppner, D. W., "Prior corrosion and fatigue of 2024 – T3 aluminum alloy", Corr. Sci., vol. 48, No 10, pp (3109 – 3122), (2006).
20. Antony, R. Trman "Detemination of a stable pit initiation on aluminum alloys using potentiostatic electrochemichal measurement", Corr. Sci., vol 47, pp (2240 – 2256), (2005).
21. Rowe, L. C., Galvanic and Pitting Corrosion, field and Laboratory studies, ASTM 576. (1976).
٢٢. إيمان غانم جعبار " دراسة سلوك التآكل النقري لسبيكة الألمنيوم ١١٠٠ في محلول ٣٪ كلوريد الصوديوم" رسالة ماجستير، قسم الهندسة الكيمياء، كلية الهندسة، جامعة تكريت، تكريت، العراق، (٢٠٠٦).

جدول رقم (١): التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم المستخدمة.

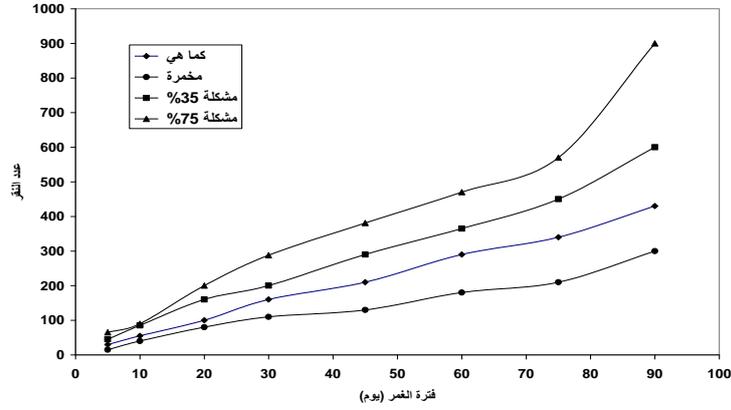
عنصر السبك	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Al
النسبة المئوية	٠.١٧	٠.٥٨	٠.٠٤	-	٠.٠١	٠.٠٠٦	٠.٠٠١	٠.٠١٦	BALANCE

جدول رقم (٢) : مدة الغمر لكل عينة وللنماذج الأربعة.

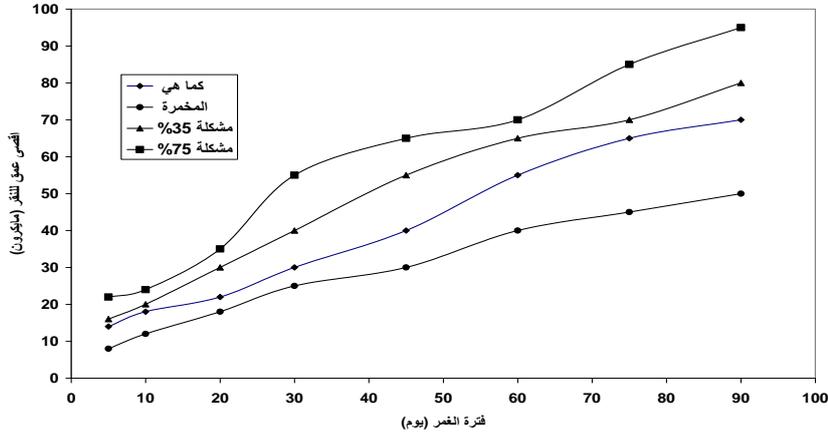
رقم العينة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦
مدة الغمر (يوم)	٥	١٠	٢٠	٣٠	٤٥	٦٠	٧٥	90								



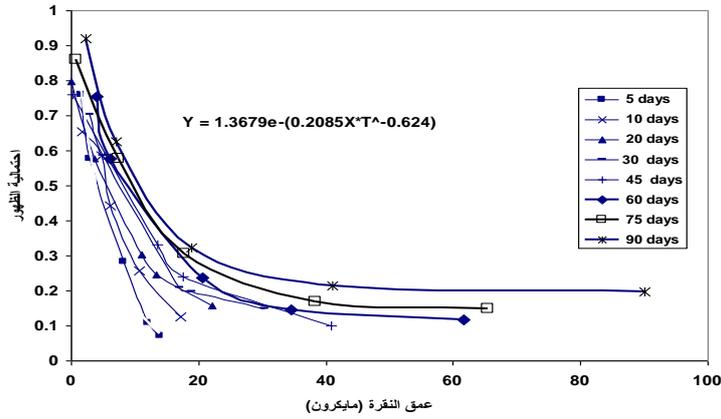
صورة رقم (١): توضح عملية غمر العينات.



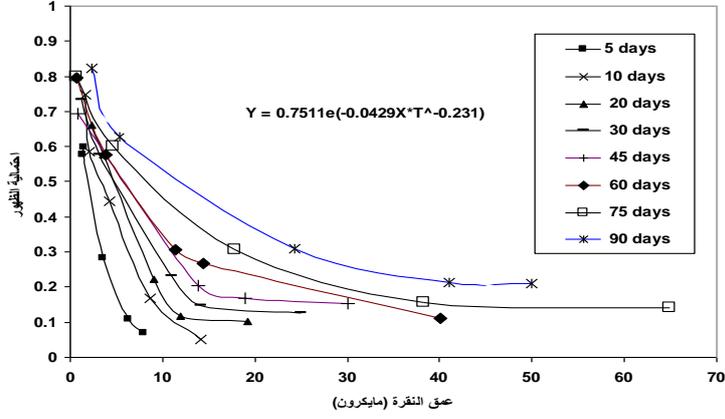
شكل (1): العلاقة بين فترة الغمر وعدد النقر للعينات بكافة أنواعها.



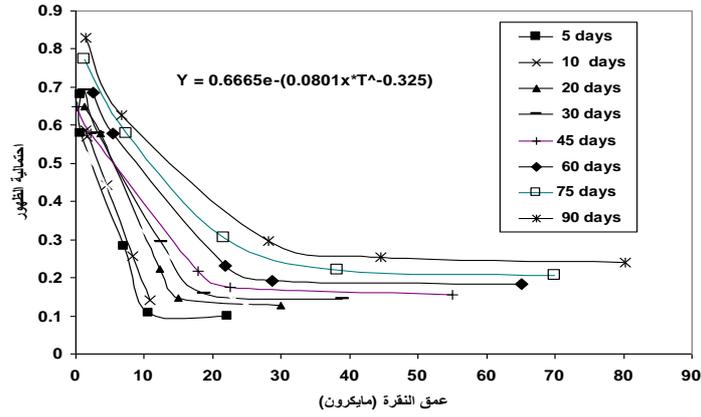
شكل (2): يوضح العلاقة بين فترة الغمر وأقصى عمق للنقر للعينات بكافة أنواعها.



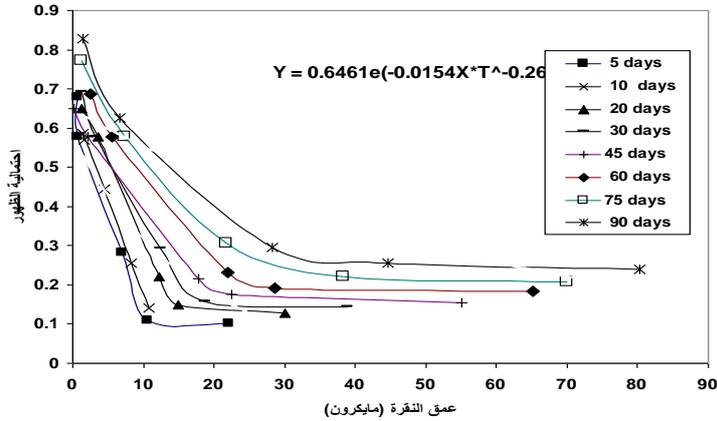
شكل (3): احتمالية ظهور نقر بعمق معين عند فترات عمر مختلفة للعينات كما هي.



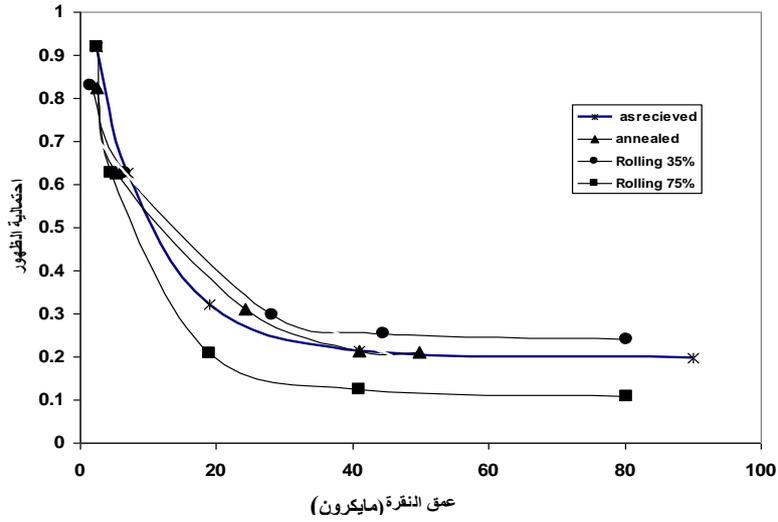
شكل (٤): احتمالية ظهور حفر بعمق معين عند فترات مختلفة للعينات المخمرة.



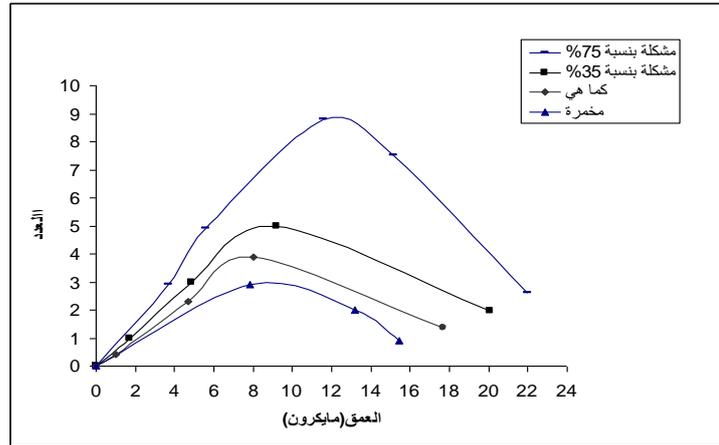
شكل (٥): احتمالية ظهور حفر بعمق معين عند فترات غمر مختلفة للعينات المشكلة ٠.٣٥٪.



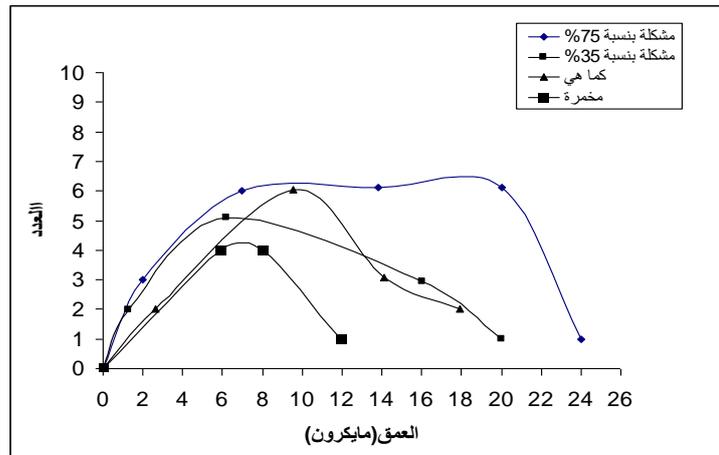
شكل (٦): احتمالية ظهور نقر بعمق معين عند فترات غمر مختلفة للعينات المشكلة ٠.٧٥٪.



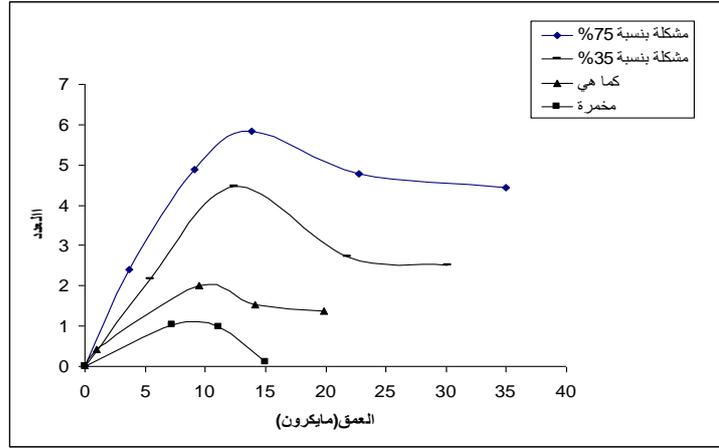
شكل (٧): احتمالية ظهور نقر بعمق معين عند فترة عمر ٩٠ يوماً لجميع أنواع العينات.



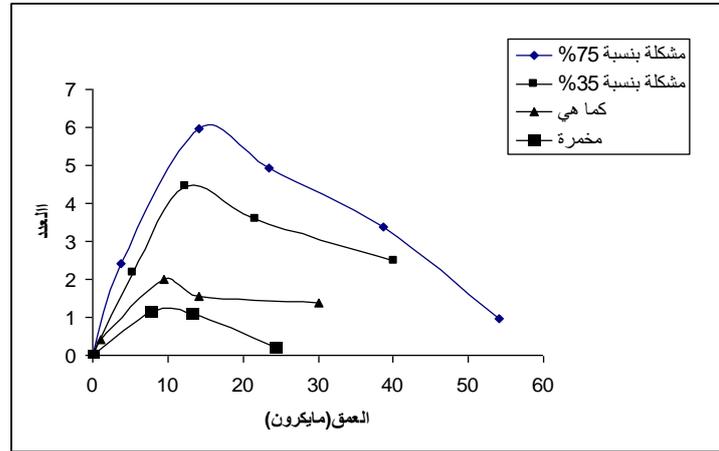
شكل (٨): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة عمر (٥) أيام.



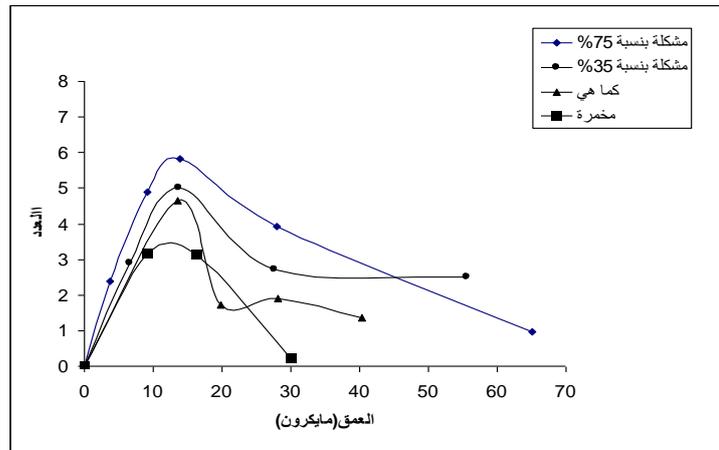
شكل (٩): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة عمر (١٠) أيام.



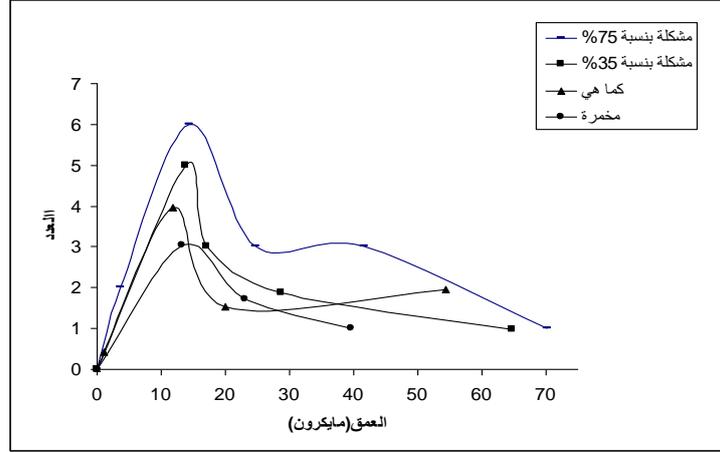
شكل (١٠): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة غمر (٢٠) يوما.



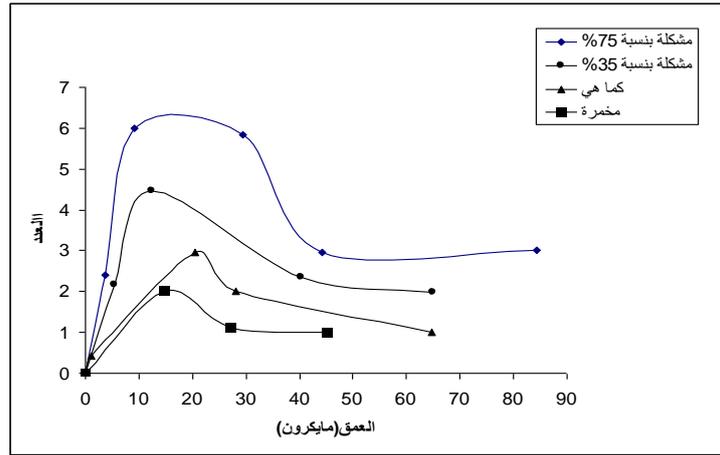
شكل (١١): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة غمر (٣٠) يوما.



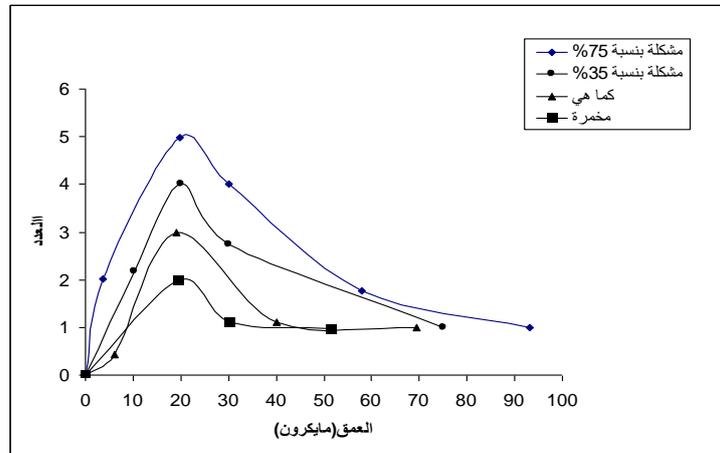
شكل (١٢): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة غمر (٤٥) يوما.



شكل (١٣): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة عمر (٦٠) يوما.



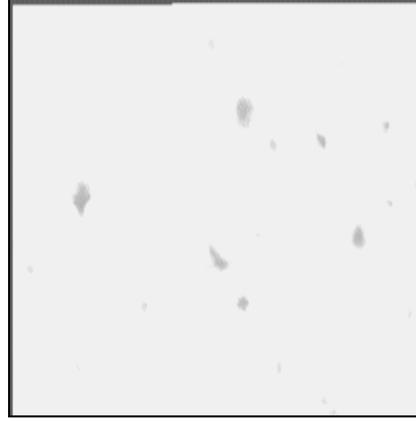
شكل (١٤): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة عمر (٧٥) يوما.



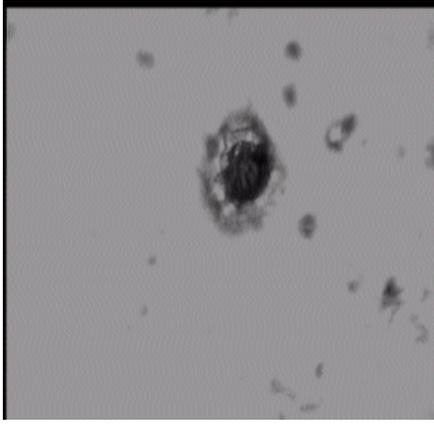
شكل (١٥): التوزيع الطبيعي للعينات المستخدمة عند فترة عمر (٩٠) يوما.



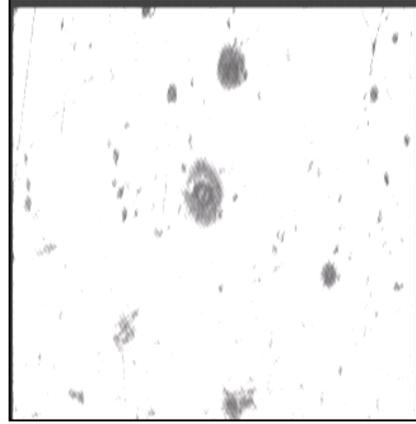
(ب) فترة غمر ٣٠ يوماً



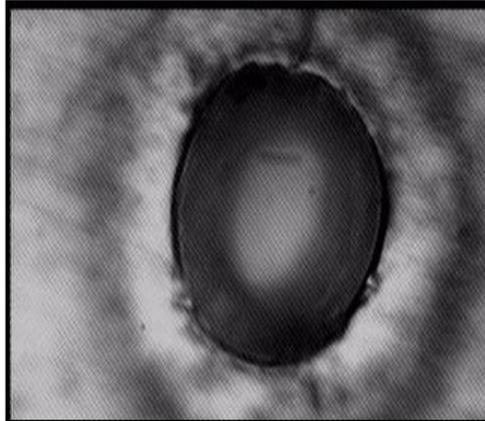
(أ) فترة غمر ١٠ أيام



(د) فترة غمر ٩٠ يوماً

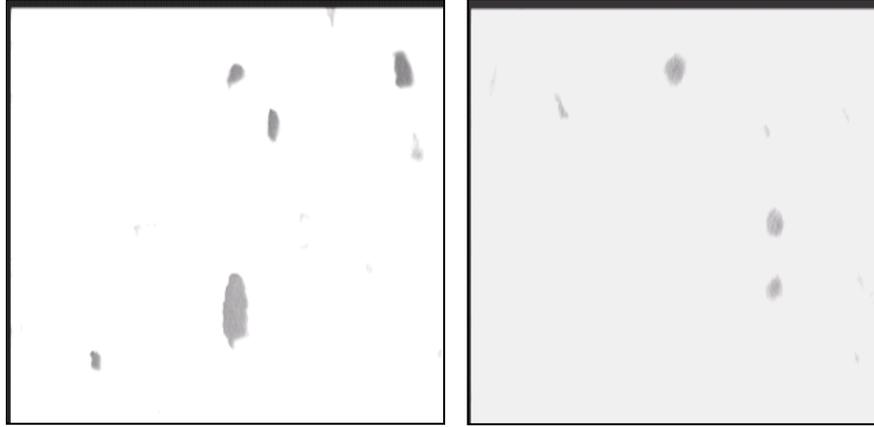


(ج) فترة غمر ٦٠ يوماً



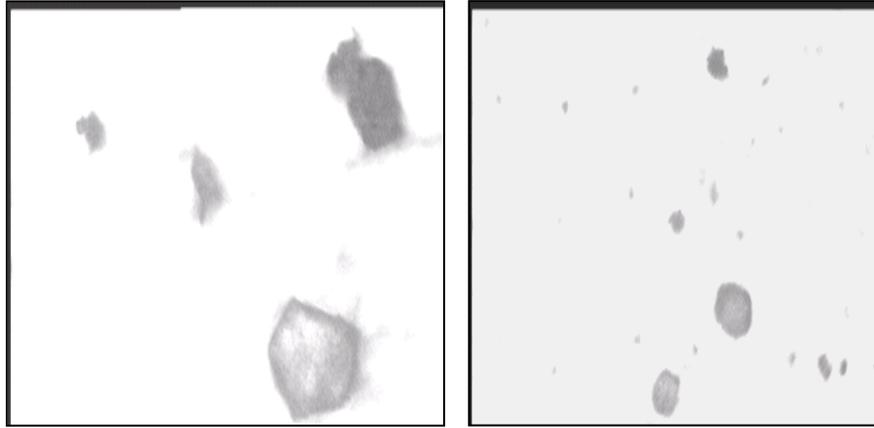
(هـ) نقرة نموذجية (تكبير 50X)

شكل (١٦): يوضح الصورة الفوتوغرافية للعينات كما هي.



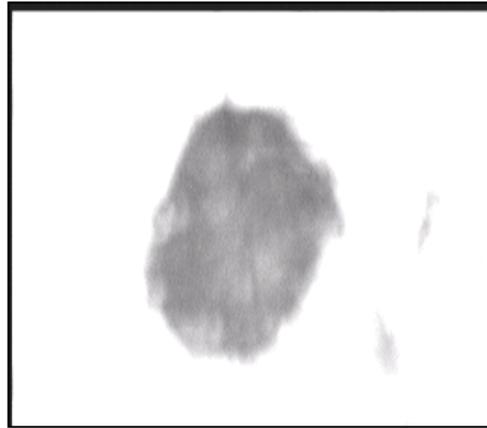
(ب) فترة غمر ٣٠ يوماً

(أ) فترة غمر ١٠ أيام



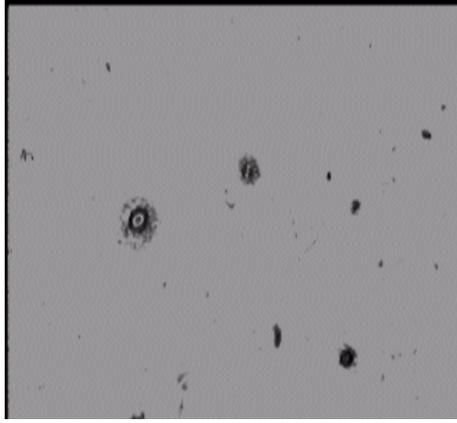
(د) فترة غمر ٩٠ يوماً

(ج) فترة غمر ٦٠ يوماً



(هـ) نقرة نموذجية (تكبير 50X)

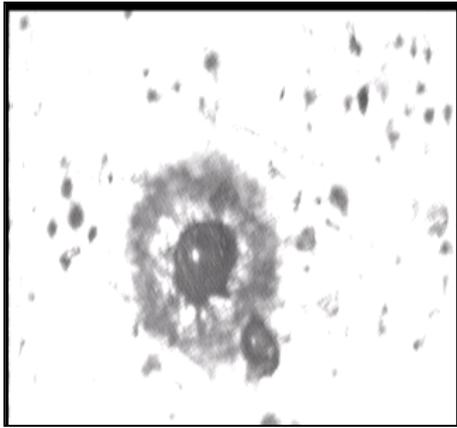
شكل (١٧): يوضح الصورة الفوتوغرافية للعينات المخمرة.



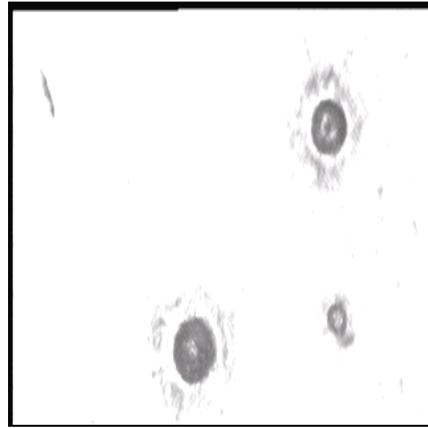
(ب) فترة غمر ٣٠ يوماً (تكبير 10X)



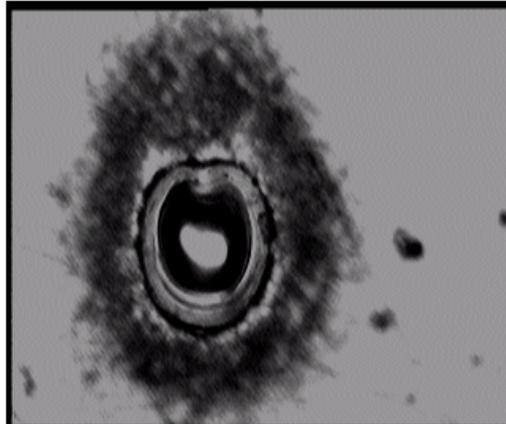
(أ) فترة غمر ١٠ أيام (تكبير 10X)



(د) فترة غمر ٩٠ يوماً (تكبير 20X)

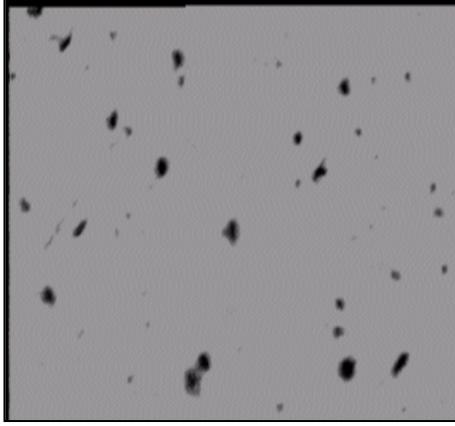


(ج) فترة غمر ٦٠ يوماً (تكبير 20X)

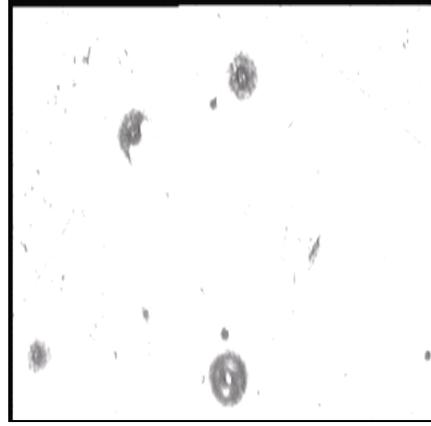


(هـ) نقرة نموذجية (تكبير 50X)

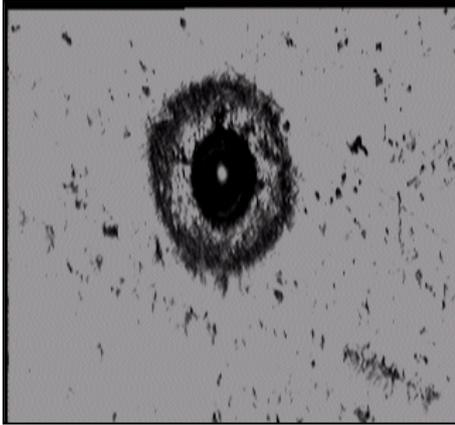
شكل (١٨): يوضح الصورة الفوتوغرافية للعينات المشكلة بنسبة ٣٥٪.



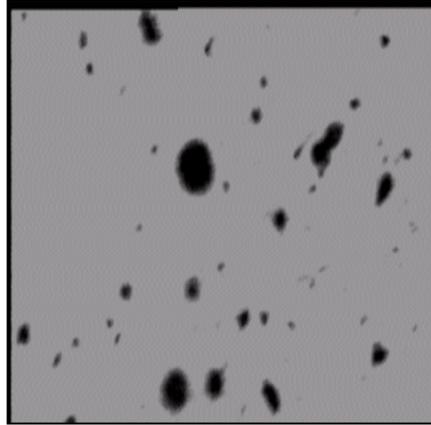
(ب) فترة غمر ٣٠ يوماً (تكبير 10X)



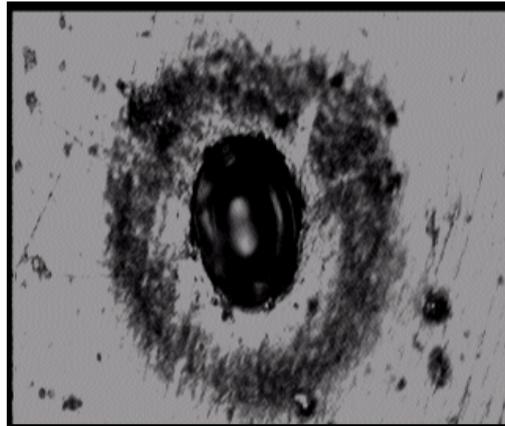
(أ) فترة غمر ١٠ أيام (تكبير 10X)



(د) فترة غمر ٩٠ يوماً (تكبير 20X)



(ج) فترة غمر ٦٠ يوماً (تكبير 20X)



(هـ) نقرة نموذجية (تكبير 50X)

شكل (١٩): يوضح الصورة الفوتوغرافية للعينات المشكلة بنسبة ٧٥٪.

Study of Pitting Corrosion Behavior for Aluminum Alloy 1100 in 3% NaCl Solution

Farouk M. Mahdi¹, Abdul Mun'em A. Karim², Eman G. Gi'baz¹

¹ College of Engineering / Tikrit University,

² College of Engineering / Diyala University

ABSTRACT - Pitting corrosion behavior of aluminum alloy 1100 was studied in this investigation in a neutralized and aerated 3% NaCl solution and all experiments were performed at room temperature. There were four groups of specimens to be studied: **1.** As received, **2.** Annealed at 760 °C, **3.** Cold 35% rolling, and **4.** 75% rolling. Numbers of pits was counted, and pits depth was measured by used digital photo fixed on a microscope a digital photo were taken. The numbers of pits increase as duration increase within the period of (5-90) days. The graduation of increasing is mostly uniform for all groups' leads to the conclusion that nucleation and initiation of pits are continuing with the continuity of pits growth. Also it was observed that the annealed specimens have the lowest tendency (0%) to corrode by pitting and this tendency increase forwarding as follows:

Annealed < as received < rolling 35 % < rolling 75%.

Also, it was observed that maximum depth of pitting increases gradually with duration for all groups. Also, it was proved that metallurgic factor (cold rolling) increases with increase pits number, maximum pit depth and pit growth towards depth. Probability of pits appear was observed to be increased with duration for all groups and it is high expected for the shallow pits, in contrast for the deep pits. Through the examination of pit's normal distribution due to its number and depth, it was concluded that the recent pits depth and due to their high rate of growth will reach the same depth of the recent one leads to a mean value of depth for all. It was concluded that morphology and concentration of pitting are function of duration and specimen treatment. Pitting concentration increases with duration.

Keywords: - Pitting corrosion, 3% NaCl solution, 1100 Aluminum alloy.