

## دراسة تآكل ملحومات من النحاس في أوساط ملحية و حامضية

جودت علي يعقوب  
مدرس  
فارس موسى روبا  
مدرس  
إحسان فاضل عباس  
مدرس مساعد  
الكلية التقنية كركوك

### الخلاصة

أنجزت الدراسة الحالية بتعريض عينات من الملحومات النحاسية التي حضرت بعمليات اللحام بالأوكسي أستيلين لأنبوب نحاسي باستخدام سبيكة البرونز كمعدن حشو إلى محاليل مائية ملحية وحامضية بتركيز  $(3, 1.5, 0.5) \text{ wt\% NaCl}$  و  $(2, 1.5, 0.5) \text{ wt\% H}_2\text{SO}_4$  على التوالي . أظهرت سلوك تآكل الملحومات في المحاليل الملحية عموماً انخفاض معدلات التآكل مع زيادة زمن التعريض ونفس الشيء بالنسبة للملحومات المعرضة إلى المحلول الحامضي بتركيز  $(0.5) \text{ wt\% H}_2\text{SO}_4$  ، بينما انخفضت معدلات تآكل الملحومات المعرضة إلى المحاليل الحامضية بتركيز  $(1 \text{ و } 2) \text{ wt\% H}_2\text{SO}_4$  لحين بلوغ فترة التعريض (288hr) ثم بدأت بالزيادة نسبياً مع زيادة فترة التعريض .

كما بينت نتائج معدلات التآكل الإجمالية ( $C_{IT}$ ) المحسوبة بأن قيمها كانت أعلى للملحومات المعرضة إلى المحاليل الحامضية إذا ما قورنت مع تلك العائدة للملحومات التي عرضت إلى المحاليل الملحية ولفترة (696hr). علاوة على ذلك لقد بين الفحص بالمجهر الضوئي تعرض مناطق اللحام للملحومات المعرضة إلى المحاليل الملحية والحامضية إلى التآكل ، بينما كان التآكل العام هو السائد للجزء النحاسي من هذه الملحومات في المحاليل المستخدمة .

**الكلمات الدالة:** تآكل النحاس في الأوساط الملحية والحامضية، تآكل الملحومات النحاسية

### المقدمة

يعد النحاس الفلز الثالث بعد الحديد والألمنيوم من حيث الوفرة والاستخدام ويملك هذا الفلز طروقية جيدة وتوصيلية حرارية وكهربائية حسنة [1، 2] . لقد شكل النحاس لوحده في عام 1995 نسبة 14.5% من الأنابيب المصنوعة في الولايات المتحدة الأمريكية، أذ تستخدم هذه الأنابيب في المبادلات الحرارية التي تتعامل مع الماء الاعتيادي (Fresh Water) وماء البحر [1، 3] . كما تستخدم هذه الأنابيب

بصورة واسعة في أنظمة تجهيز الماء [4] وفي المحطات الكيميائية والصناعية ومحطات توليد القدرة وأجهزة التبريد والتكييف [3، 5، 6] . تمتلك المنتجات النحاسية عموماً مقاومة جيدة للتآكل في الماء [7] والأجواء الاعتيادية والصناعية والبحرية وفي الحوامض الخالية من الأوكسجين وعوامل مؤكسدة أخرى [8] . تزداد نشاطية المحلول المائي الملحي بوجود أيونات ( $\text{Cl}^-$ ) وزيادة تركيزها الناتجة من انحلال جزيئات ( $\text{NaCl}$ )

(صنع شركة FLUKA AG. CHEM. FABRKCH, 9470 Buchs وبالتركيب الكيميائي المبين في الجدول رقم (1) بنسبة 10%wt إلى منصهر النحاس الناتج من صهر قطعة من نفس نوعية الأنبوب النحاسي المستخدم في الدراسة الحالية بالفرن الكهربائي وعند درجة حرارة ( $1150^{\circ}\text{C}$ ) ثم صببت على هيئة أسلاك في قالب معدني .

1-حامض الكبريتيك المركز ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) chem.. (95 - 97)% Pure.

M=98.08 gm/ r mol . Sleeze – Riede-Dehaen, AG- Hannove-Germany.

2- ملح كلوريد الصوديوم ( $\text{NaCl}$ ) بنقاوة (99.5%) صنع شركة (Fluke Garantie) السويدية.

3-ماء مقطر رقم الأس الهيدروجيني له ( $\text{PH}=7.4$ ).

4- محلول إظهار (كلوريد الحديدك الحامضي) حضر أنياً أثناء عملية الإظهار باستخدام ( $1\text{gm}$ ) كلوريد الحديدك ( $3\text{cm}^3$ ) حامض الهيدروكلوريك ( $\text{HCl}$ ) و( $12\text{cm}^3$ ) ماء مقطر .

5- منظومة لحام أوكسي-أستلين.

6-ميزان حساس نوع (Precisa) موديل (XB220A) دقه ( $0.1\text{mg}$ ).

7-مجهر ضوئي مزود بأله تصوير نوع [Trindcular Metallurgical Microscope Model BEAM rmm-vt2003/INDIA].

#### خطوات العمل

أنجزت متطلبات الدراسة الحالية وفق الخطوات

الآتية :-

1-حول الأنبوب النحاسي بعملية القطع والأستبدال بالطرق بمطرقة مطاويه الى صفيحه التي قطعت فيما بعد طولياً الى جزئين متماثلين.

2-أجري لحام الجزئين بعمليات لحام الأوكسي أستلين بأستخدام لهب معتدل وأسلاك الحشو

أثناء عملية التآكل تساهم ا في زيادة وتيرة تمزق الطبقة الخامدة على سطح الفلز التي تحميه من التآكل ويدورها زيادة سرعة ومعدل التآكل<sup>[10,9]</sup>. كما تنخفض وتستقر معدلات تآكل النحاس مع زيادة فترة التعريض بسبب نواتج التآكل الذي يعمل أولاً على خفض كمية الأوكسجين الواصل لسطح الفلز كما أشار إليه<sup>[9]</sup>، ثانياً قيامه على خفض توصيلية المناطق الأنودية من سطح العينة<sup>[3]</sup>. يتعرض الأنابيب المستخدمة في أجهزة التبريد والتكييف وفي المبادلات الحرارية عادة إلى التآكل وذلك بعد ربط هذه الأنابيب بهذه المنظومات بعمليات اللحام بالأوكسي أستلين المتبع بصوره واسعه<sup>[11]</sup>، إذ تنتم المنطقة التي تلي منطقة اللحام عادة بضعفها بسبب الأجهادات الحرارية المتبقية فيها بعد عمليات اللحام تلك إضافة إلى بعض العيوب التي قد تنشأ في منطقة اللحام<sup>[12]</sup>. لأجل التحقق من تأثير عمليات اللحام هذه على مقاومة تآكل الأنابيب النحاسية الملحومة فقد استهدفت الدراسة الحالية دراسة مقاومة التآكل لمعلومات نحاسية حضرت بعمليات اللحام بالأوكسي أستلين في أوساط حامضية مخففة من حامض الكبريتيك ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) وأخرى ملحية من ملح كلوريد الصوديوم ( $\text{NaCl}$ ) علاوة على ذلك ملاحظة التغيرات الحاصلة على أسطح المعلومات بفعل أوساط التآكل.

#### المواد والأجهزة المستخدمة

1- أنبوب نحاسي بقطر (12.5) المبين نتيجة فحصه بحيود الأشعة السينية في الشكل ( 1 ) .

2- سبيكة حشو (Filler Alloy) نوع برونز قصديري (Tin Bronze) صنعت تحديدا لهذه الدراسة بإضافة فلز القصدير على هيئة أقراص

هذه العينات بعد فترة (20 hr) ثم غسلت أسطحها بالماء ومسحت بالقطن بعدها جففت بفرن التجفيف الكهربائي عند  $105^{\circ}\text{C}$  ثم وزنت بالميزان الحساس لتحديد قيمة الوزن الجديد ( $W_1$ ) لكل عينة. 6- أعيدت الخطوة (5) لهذه العينات لثلاث مرات أخرى وبعد فترات غمر (408,220,48)hr وقيست الأوزان الجديدة ( $W_4, W_3, W_2$ ) على التوالي. 7- حسبت معدلات تآكل العينات الكبيرة ( $Cr_4, Cr_3, Cr_2, Cr_1$ ) بوحدات (mpy) لكل عينة بتطبيق العلاقة الآتية [13]:

$$Cr = \frac{534 \times \Delta W}{A \times D \times T} \dots\dots\dots(1)$$

حيث:

$\Delta W$ : التغير الحاصل في الوزن عوضت عنها بـ ( $\Delta W_4, \Delta W_3, \Delta W_2, \Delta W_1$ )  
 $D$ : كثافة النحاس  $8.96\text{gm/cm}^3$  (لم يتم الأخذ بنظر الاعتبار الشوائب التي قد تتواجد غالباً) بنسب ضئيلة مع النحاس وبدورها تأثيرها الضئيل على قيم معدلات التآكل المحسوبة).  
 $A$ : المساحة السطحية  $\text{Inch}^2$ .  
 $T$ : زمن الغمر عوضت عنها بالفترات (408,220,48,20)hr.  
 8- حسبت معدل التآكل الإجمالي ( $Cr_T$ ) لكل عينة بالتعويض عن ( $T$ ) بفترة الغمر الكلية البالغة (696)hr وعن ( $\Delta W$ ) بالمقدار ( $\Delta W_T$ ) لكل عينة والتي حسبت كالآتي:

$$\Delta W_T = (W_0 - W_4) \dots\dots\dots(2)$$

المحضرة المشار إليه في الفقرة (2) أعلاه في الجزء الخاص بالمواد والأجهزة المستخدمة .  
 3- قطعت جزء من الملحومة النحاسية إلى عينات كبيرة بأبعاد  $(2 \times 3) \text{ cm}^2$  بعدد (6)، ثم ثقت هذه القطع من إحدى نهايتها بقطر (2 mm)، بينما قطع الجزء الآخر إلى عينات صغيرة بنفس العدد (6) بأبعاد  $(1 \times 3) \text{ cm}^2$  ثقت من نهايتها بمقدار (3mm) تقريباً .

4- سويت ونعمت وجهي العينات الكبيرة جميعاً بعملية التنعيم الرطب باستخدام أوراق تنعيم مختلفة الدرجات وصولاً إلى (1000) درجة ثم غسلت بتيار من الماء الجاري، بالماء المقطر ثم بالكحول فجفقت بالفرن الكهربائي عند  $105^{\circ}\text{C}$  للتخلص من الرطوبة التي تؤثر على قيم الوزن الأولي ( $W_0$ ) المقاسة للعينات وبدورها على معدلات التآكل المحسوبة، ثم وزنت بالميزان الحساس لتحديد الوزن الأولي ( $W_0$ ) لكل عينة .

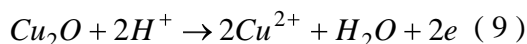
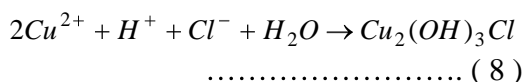
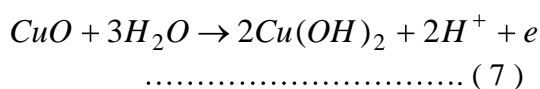
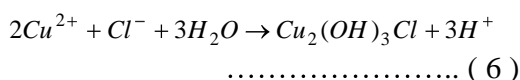
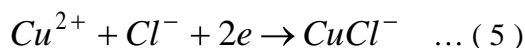
أسندت العينات الصغيرة على البارد باستخدام بوليمر الإسناد الخاص كما موضح في الشكل (2)، ثم أجريت عمليات التنعيم الرطب والصقل ثم غسل أسطحها بالماء الجاري، بالماء المقطر ثم بالكحول بعدها جفقت، تبعها أظهار عينة واحدة بتعريض سطحها لمحلول الإظهار كلوريد الحديدك الحامضي ثم غسل سطحها بالماء المقطر فجفقت بعدها أجري الفحص والتصوير المجهرى، أعيدت عملية الصقل لهذه العينة مرة أخرى ليتسنى استخدامها مرة أخرى مع العينات الصغيرة لاحقاً".

5- غمرت عينة واحدة من العينات الكبيرة في كل وسط من الأوساط الملحية والحامضية المخففة المبيته في الجدول (2) لدراسة سلوك تآكلها بتعليقها شاقولياً وعند نفس العمق تحت سطح المحاليل ثم أخرجت

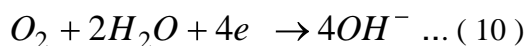
ذرات النحاس في المحلول المائي المحتوي على ملح (NaCl) وفق التفاعلات الآتية<sup>[4]</sup>.



تساهم ايون الكلوريد ( $Cl^{-}$ ) وجزيئات ( $H_2O$ ) وايون ( $H^{+}$ ) في تآكل النحاس و الاكاسيد ( $Cu_2O, CuO$ ) المتكونة على سطح النحاس في المحلول من خلال التفاعلات الآتية<sup>[17,16,4]</sup>



كما تساهم جزيئات ( $O_2$ ) و ( $C_2O$ ) الذي يذوب في المحلول المائي الملحي من الجو المحيط في انحلال ذرات النحاس وتكوين مركبات أخرى حسب التفاعلات الآتية:



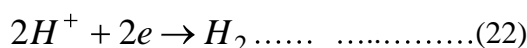
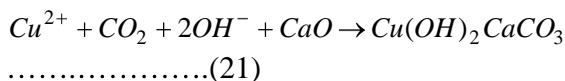
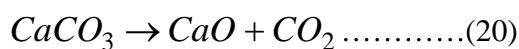
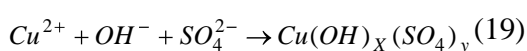
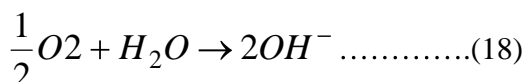
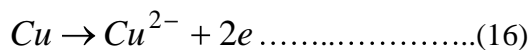
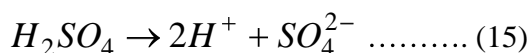
9- عرضت (6) عينات صغيرة مسندة على البارد لنفس المحاليل التي عرضت مثيلاتها من العينات الكبيرة المبينة في الجدول (2) ولكن لفترة غمر واحدة بلغت (220)hr ثم أخرجت من المحاليل وغسلت بالماء المقطر ومسحت أسطحها بالقطن بصورة جيدة لإزالة الترسبات الناتجة من عملية التآكل والعالقة بأسطح هذه العينات التي تسهل إزالتها إن وجدت ثم غسلت مرة أخرى بالماء المقطر فجففت ثم صورت أسطحها بالمجهر الضوئي.

### النتائج والمناقشة

#### أولاً: "سلوك ومعدلات تآكل الملحومات النحاسية"

يلاحظ من الشكل (3) سلوك تآكل الملحومات النحاسية في المحاليل الملحية ، إذ بداء تآكل العينات بمعدلات عالية نسبياً عند التعريض لفترة (20hr) ثم انخفضت مع زيادة فترة التعريض الى (48hr) بشكل ملحوظ ثم حدث إنخفاض متزايد فأستقرار في سلوك التآكل مع زيادة الفترة الى (220hr) فأكثر عند معدلات تآكل متدنية . كما يظهر من الشكل (3) أيضاً زيادة معدل تآكل العينات وتحديداً عند (20hr) مع زيادة تركيز الملح من (0.5wt%) الى (1.5wt%) وحدوث زياده ملحوظة عند زيادة التركيز الى ((3wt%) ، فتراوحت قيمتها للعيينة المغمورة في المحلول بتركيز (3wt%NaCl) بين (1.2-3.95)mpy وهي أعلى نسبياً من التي وردت في المصدرين<sup>[6,3]</sup> والبالغتين على التوالي (0.4-1)mpy و (1.34)mpy بسبب خضوع الملحومات في الدراسة الحالية في الوسط الآكل إلى التأثير الجلفاني الناتج من سلوك منطقة اللحام البرونزي (سلك الحشو) ككاثود وتحول المناطق النحاسية المجاورة إلى أنود<sup>[15,14]</sup> يحدث انحلال

تظهر هذه السلسلة المعقدة من التفاعلات إلى المساهمة بفاعلية لايون ( $Cl^-$ ) بصورة مباشر وغير مباشر في التفاعلات (5, 6, 8, 13) وبدورها إلى مساهمتها الفاعلة في الارتفاع الملحوظ في قيم معدلات تآكل الملحومات النحاسية في المحاليل الملحية . بينما يعزي الهبوط الملحوظ في معدل تآكل الملحومات النحاسية في المحاليل الملحية إلى نواتج التآكل تلك التي ترسبت على المساحة



وعليه فان التأثير الفعلي لايونات ( $SO_4^{2-}$ ) يقتصر على التفاعلات (17,18) من جانب آخر يعزى معدلات التآكل العالية نسبيا للملحومات المعرضة للمحاليل الحامضية لفترة (220hr) ثم زيادتها مع زيادة زمن التعريض إلى احتفاظ المحاليل الحامضية لنشاطيتها لفترات أطول بسبب اعتماد تفاعلات الأكسدة فيها على أيون ( $H^+$ ) [18] كما يظهر في التفاعل (22) فتركيز أيون ( $H^+$ ) العالي في هذه المحاليل يحافظ على ديمومة هذا التفاعل .

بينما لا يحدث التفاعل (22) في المحاليل التي تحتوي على ملح ( $NaCl$ ) [19] إذ تشترك أيونات ( $H^+$ ) بصورة غير مباشرة في تكوين نواتج تفاعل أخرى ، كما تكون محاليل كلوريد الصوديوم قاعدية إذ قيمة الأس الهيدروجيني له تكون أكبر من (7.6) لذا فإن مساهمة هذه الأيونات ستكون أقل في المحاليل

لمجاوراتها النحاسية التي تصبح أنود [15,13] أما ما يخص سلوك تآكل الملحومات النحاسية في المحاليل الحامضية المبينة في الشكل (6) فيلاحظ اختلافها عن سلوك تآكلها في المحاليل الملحية الأنفة الذكر من الجوانب الآتية :

1-ابتداء التآكل عند التعريض لفترة (20hr) عند تركيز ( $2wt\% H_2SO_4$ ) أي ما يعادل (عيارى 0.4) بمعدلات أقل إذا ما قورنت مع قيم معدل التآكل للملحومة النحاسية المغمورة في المحلول الملحي المحتوي على ( $3 wt\% NaCl$ ) أي (عيارى 0.5).

2-انخفاض معدلات تآكل الملحومات المعرضة إلى المحاليل الحامضية المبينة في الشكل (6) عموما عند الفترات الزمنية المحصورة بين (220-696)hr بنسبة أقل من مثيلاتها المعرضة إلى المحاليل الملحية.

3-زيادة معدلات تآكل الملحومات المعرضة إلى المحاليل بتركيز ( $2,1 wt\% H_2SO_4$ ) مع زيادة فترة التعريض عن (220hr) ، يعكس معدلات تآكل الملحومات المعرضة إلى المحاليل الملحية التي انخفضت باستمرار مع زيادة فترة التعريض كما مبين من الشكلين (3) و (6) .

بالنسبة للملحومات المغمورة في المحاليل الحامضية المخففة من الحامض ( $H_2SO_4$ ) يستبعد تكوين كل من المركبات ( $Cu_2O, Cu(OH)_2$ ) بسبب تكوين هذه المركبات عند قيم (PH) محصورة بين (7.0-12.4) [4] ، بينما كانت قيم (PH) للمحاليل الحامضية المستخدمة في الدراسة الحالية والمقاسة قد تتراوح بين (1.63 - 2.6) ، ففي هذه الحالة فان التفاعلات الممكن حدوثها هي:

حسب التصنيف الذي ورد في المصدر [18] كما مبين في الجدول (3) .

#### ثانياً: مظهر تأكل الملحومات النحاسية

يوضح الشكل (8) اثر خطوط التشكيل على سطح الأنبوب النحاسي المستخدم في تحضير الملحومات مع وجود بعض النقر السوداء الصغير. أما الشكل (9) فيوضح البنية المجهرية للأنبوب بعد إجراء الأظهار بمحلول كلوريد الحد يدك الحامضي. أما الشكل (10) فيوضح البنية المجهرية لمنطقة اللحام في الملحومات المكونة من سبيكة البرونز القصديري المتكونة من أرضية شبه داكنة اللون من المحلول الجامد (  $\alpha$  ) من القصدير مذاب في النحاس والطور الثانوي اليوتكتويد (  $\delta$  ) المكونة ضمناً من  $(Cu_{31}Sn_8 + \alpha)$  كما ورد ذلك في المصدرين [21,20].

#### أ- مظهر تأكل الملحومات النحاسية في الأوساط الملحية

أصبحت لون منطقة اللحام للملحومة المعرضة إلى المحلول الملحي بتركيز (0.5wt%NaCl) فاتحاً عموماً كما يوضح ذلك (الجزء الأيمن) من الشكل (11) ، مع اختفاء طور اليوتكتويد واحتوائها على بعض النقر السوداء الصغيرة. أما المنطقة النحاسية المجاورة فبذبت بلون رصاصي فاتح وحدث تأكل بمعدل اكبر في المنطقة البينية الفاصلة بين منطقة اللحام والنحاس وتحولت إلى خط غامق اللون كبيرة العرض نسبياً في بعض المناطق واقل عرضاً في مناطق أخرى . بزيادة تركيز الملح إلى (1.5wt%NaCl) أصبحت منطقة اللحام أكثر سطوعاً مع زيادة عدد النقر السوداء الصغيرة الحجم فيها بالمقابل تحول لون المنطقة النحاسية إلى لون داكن نسبياً مع تكوين نقر سوداء اللون دائرية الشكل

المائية الملحية. يعزى زيادة معدلات التآكل بزيادة فترة التعريض للمحلولين الحامضين بتركيز (1 , 2) wt%  $H_2SO_4$  عن (220hr) إلى بقاء الفرق بين المساحات الكاثودية والانودية كبيرة نسبياً وبدوره زيادة انحلال الذرات السطحية من المساحات الانودية من سطح الفلز إلى المحلول ، من جانب آخر فزيادة معدلات التآكل الإجمالية ( $Cr_T$ ) للملحومات في المحاليل الحامضية المبينة في الشكل (7) مع زيادة تركيز الحامض يتفق مع ما ورد في المصدر [6] الذي أشار إلى زيادة معدلات تأكل النحاس مع زيادة تركيز حامض ( $H_2SO_4$ ) في المحلول المائي بسبب زيادة تركيز ايونات ( $H^+$ ) في المحلول وبدوره حدوث حالة عدم اتزان في منظومة التآكل (الملحومة النحاسية والمحلول ألامضي) ولأجل إعادة الاتزان إلى منظومة التآكل فتميل هذه الايونات بالتحول إلى الحالة الذرية باكتسابها الكترون من المواقع الكاثودية على سطح الملحومة وباتحاد ذرتي هيدروجين تتكون جزيئة ( $H_2$ ) التي تتجمع مجموعة منها مع بعضها الأخر وتتحلل على هيئة فقاعات غازية خارج المحلول ولحدوث هذه التفاعلات بانسيابية يحدث زيادة في سرعة انحلال ذرات النحاس الموجودة في المناطق الانودية من سطح الملحومة التي تتجه إلى داخل المحلول وهكذا يزداد معدل تأكل النحاس . لقد جاءت قيم معدلات التآكل الإجمالية ( $Cr_T$ ) للملحومات المعرضة إلى المحاليل الحامضية المحصورة بين (6.78-10.99) متفقة مع معدلات تأكل النحاس في المحاليل الحامضية بتركيز wt%  $H_2SO_4$  (0 إلى 30) ودرجة حرارة  $^{\circ}C$  (0 إلى 100) البالغة اقل من (20mpy) الذي ورد في المصدر [13] . كما يمكن تصنيف تأكل الملحومات النحاسية في المحاليل الملحية والحامضية

### ب مظهر تأكل الملحومات النحاسية في الأوساط الحامضية

يوضح الشكل (16) مظهر تأكل الملحومة المعرضة إلى المحلول الحامضي المحتوي على ( $2\text{wt}\% \text{H}_2\text{SO}_4$ ) ، إذ تعرض منطقة اللحام (الجزء الأيمن من الشكل (16)) في بعض المساحات إلى التآكل بتحولها إلى لون داكن نتيجة اتصال نقر صغيرة مع بعضها الآخر مع حدوث تآكل عند منطقة اللحام لمحاذية الحد لفصل أيضا ، بينما تعرض الجزء النحلي للتآكل لعدم وتحول إلى لون داكن في معظم المساحات مع بقاء المناطق قليلة لغير المتآكلة بسطوح كبير. ويعبر الشكل (17) بصورة لُق عن لقر لسوداء شبه منتظمة لمختلفة الأحجام المتكونة في منطقة اللحام مع تغيير شكل ولون بنية منطقة اللحام الموضحة في الشكل (10) لقد تركز تكوين لقر لصغيرة لسوداء غالبا عند مناطق لمحاذية بين الأرضية (المحلول الجامد  $\alpha$ ) والبنية الشجرية (اليونكتويد) وكما هو موضح في الجزء المكبر من نفس الشكل (17) والمثبت في الركن العلوي الأيمن منه وذلك بسبب تكوين الخلايا الجلفانية المجهرية بين الطورين . لقد تكونت بعض تشققات اللحام الطولية في منطقة اللحام التي امتدت لمسافات طويلة نسبيا محولة بذلك المناطق المحاذية لها على طول امتدادها إلى منطقة كاثودية بيضاء كما موضح في الشكل (18) والمؤشر عليها بالسهم الأسود كما يوضح الشكل (19) تشققات اللحام التي ظهرت في ملحومة أخرى ، كما نشأت تشققات اللحام أيضا عند حافات الفجوات الكبيرة الناتجة من عمليات اللحام كما مبين في الشكل (20) . بسبب استخدام سبيكة حشو من البرونز القصديري ، إذ تتعرض هذه السبيكة إلى القصفاء على الساخن ( Hot Shortness ) كما ورد ذلك في المصدر [11] ، حيث يزيد وجود القصدير من قابلية السبيكة للتحسس للتشقق على الساخن ( Hot

بأحجام مختلفة مما يدل زيادة تأكل الملحومة كما هو موضح في الشكل (12) ، بزيادة تركيز الملح إلى ( $3\text{wt}\%$ ) تحول لون منطقة اللحام عموما إلى اللون الأسود و أحتوت على نقر كبيرة الحجم نسبيا" كذلك أصبحت لون المنطقة البينية داكنا أيضا" مما يدل على حدوث التآكل عندها بالفعل الجلفاني بمعدل اكبر من المناطق المجاورة لها باتجاه النحاس ذي القتامة الأقل نسبيا" وهذه الملاحظات يتضح في الشكل (13) . أما الشكل (14) فيوضح البنية المجهرية للجزء النحاسي من الملحومة البعيد من منطقة اللحام المعرضة إلى المحلول الملحي بتركيز ( $0.5\text{wt}\% \text{NaCl}$ ) . حيث يبدو السطح بلون فاتح نسبيا" مع احتوائها على خطوط متصلة أحيانا" مع بعضها الآخر والتي تمثل حدود الحبيبات المضاعة والطولية التي حدثت عندها التآكل بمعدل اكبر من مراكز الحبيبات باللون الأكثر سطوعا . بزيادة تركيز الملح إلى قيم أعلى تعرضت المنطقة النحاسية من الملحومة البعيد من منطقة اللحام إلى تآكل أكبر فالشكل (15) يظهر البنية للمنطقة النحاسية من الملحومة عند تعرضها للمحلول الملحي المحتوي على ( $3\text{wt}\% \text{NaCl}$ ) . إذ أصبحت لون المساحات المتآكلة قاتما نسبة إلى اللون الفاتح للمناطق الأقل تآكل" ، هذه القتامة في اللون (أي المناطق السوداء في الشكل (15) البعيدة عن سطح المحلول المائي وباتجاه العمق يعود إلى نواتج التآكل المتكونة عند الدرجات التي تساوي أو أقل من ( $50^\circ\text{C}$ ) هي ( $\text{Copper II Hydrate Cu(OH)}_2$ ) وأوكسيد النحاسيك ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) كما ذكره (ADELOUJ) وآخرون [4] على سطح النحاس الذي يتميز بلونه الداكن كما أورد ذلك (Thomas) [10] .

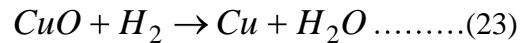


يشير اللون الداكن إلى تكوين أوكسيد النحاسيك  $(\text{Cu}_2\text{O})$  (Thomas) [10] ، ومن الجدير بالذكر بأن مظهر تآكل الملحومات التي عرضت إلى المحاليل الحامضية المحتوية على  $(0.5 \text{ wt\%H}_2\text{SO}_4 \text{ و } 1)$  لنفس الفترة البالغة ( 220hr ) كانت اقل قتامة. هذه الأشكال تؤكد حقيقة تعرض مناطق اللحام عموماً في الأوساط الملحية والحامضية إلى تضرر اكبر من حيث التآكل وتعددت مظاهره قياساً بالجزء النحاسي البعيد عن منطقة اللحام مما يؤكد حقيقة الملاحظات العملية حول حدوث غالبية الفشل في الأنابيب النحاسية المربوطة باللحام في منظومات التبريد وغيرها في مناطق اللحام .

#### الاستنتاجات

- 1- بدأت تآكل الملحومات النحاسية المبينة في المحاليل الملحية والحامضية وبصورة عامة بمعدلات تآكل عالية فانخفضت مع مرور الزمن .
- 2- كانت معدلات تآكل عند (20hr) للملحومات في المحاليل الملحية أعلى من مثيلاتها التي عرضت إلى المحاليل الحامضية.
- 3- كانت قيم معدلات التآكل في المدى المستقر (220hr) فأكثر في الأوساط الملحية اقل من قيم مثيلاتها التي حسبت في المحاليل الحامضية.
- 4- كانت معدلات التآكل الإجمالية  $(\text{Cr}_T)$  للملحومات في المحاليل الحامضية أعلى من مثيلاتها المعرضة إلى المحاليل الملحية.
- 5- أظهرت الفحص للبنى المجهرية للملحومات المتآكلة تعرض مناطق اللحام وكذلك الجزء النحاسي المجاور لمنطقة اللحام عموماً إلى التآكل الموضعي (التتقري) في المحاليل الملحية والحامضية المستخدمة.

Crack Susceptibly) أثناء اللحام ، كما أن غاز الهيدروجين ( $\text{H}_2$ ) القادم من فوهة لحام الأوكسي أستيلين أثناء اللحام تنتشر إلى داخل السبيكة وتتفاعل مع أوكسيد النحاسيك المتكون أولاً ليكون البخار كما في التفاعل أدناه :



لذا فقد تحتوي السبيكة على الغاز في بنيتها وبذلك تكون ضعيفة وهشة ( Michael ) [22] ، هذه الأسباب مجتمعة أدت إلى تكوين هذه التشققات . لقد توسعت الفجوات الكبيرة نحو العمق وبصورة مستعرضة كما يظهر من الشكلين ( 21 , 22 ) والتي بدأت بتكوين شق على هيئة حلقة متقطعة تحيط بالفجوة على مسافة من حافتها الأصلية ونفوذ المحلول الحامضي من خلالها ومن مركزا لفجوة إلى تحت الطبقة التحتية مؤدية إلى تآكل جزء من هذه الحلقة كمرحلة أولى كما يظهر في الشكل (21)، مع استمرار تعريض العينة إلى المحلول الحامض المحتوي على تركيز  $(2\text{wt\%H}_2\text{SO}_4)$  استمرت توسع الفجوة الأصلية عمقا وبصورة مستعرضة كذلك تأكلت الحلقة المحيطة بها كما مبين في الشكل (22)، فهذه الظاهرة الفريدة التي تم ملاحظتها في هذه الدراسة تلعب دورا "خطيرا" في انهيار منطقة اللحام خصوصا" في منظومات التبريد التي تعبر خلال الأنابيب النحاسية المستخدمة فيها غاز التبريد تحت ضغوط عالية مما يؤدي إلى فشلها وتسرب غاز التبريد من خلالها عند تعرضها إلى الأجواء الرطبة الحامضية. لقد أصبح غالبية سطح الجزء النحاسي من الملحومة متآكلة وداكنة اللون بعد التعريض إلى المحلول الحامضي لفترة كما مبين في الشكل (23) إذ

7. P.J. Karditsas et al, Copper corrosion and activation in water cooling loops under fusion irradiations",

8.د. حسين باقر رحمه الله، " هندسة التآكل وحماية سطوح المعادن " مطابع التعليم العالي ، الموصل ، (1989)ص328-329.

9مهندس عادل شلش، " تآكل المعادن " الناشر دار الهارم ، القاهرة ج م ع (1980) ص112,84.

10. Thomas R. Jack, NOVA Chemical Ltd., "Biological corrosion failures", (2002), P.3.

11. James E. Brumbaugh, "Welders guide and hand book" D.B. Tara. Porevala Sons and Co. PVT. LTD, Fourth Indian reprint, (1988). P. 703,705.

12. Andrew D. Thouse et al, "Modern Welding" fourth edition, The Good heart- Willcox. Co. Inc Publishers, Printed in (USA) (1980).P.454, 710

13. MARS G. Fontana, "Corrosion Engineering" second edition, McGrow- Hill, Inc. (USA), (1978), P. 236-237,269-270.

14.د. ابراهيم سالم منصور ، " هندسة التآكل و الطرق الفنية للتصدي له"، دار الراتب الجامعية ، بيروت، ص218.

15.د. محمود عمر عبدالله وآخرون ، " الكيمياء الهندسية " وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، العراق ، الطبعة الاولى ،(1983). ص299.

6- ساد التآكل العام للجزء النحاسي من الملحومات عند تعرضها للمحاليل الملحية الحامضية بتحول المناطق الأنودية إلى مساحات داكنة عند المناطق المجاورة لمنطقة اللحام والبعيدة عنها باتجاه النحاس من الملحومة بعد فترة تعريض ( 220hr ).

#### المصادر

1. WWW. Key-to-Metals. Com , "Effects of composition processing and structure on properties of copper and copper alloys,(2005)P.1,2
2. Busby metals, Inc I 55 Davids Drive I Hauppauge, NY 11788,P.1
3. Kenneth R. Tarethewey et al, "Corrosion for Science and Engineering", Printed in Singapore second edition (1996), P.93, 114,120,353,356.
4. S.B. ADELOJU et al, "The corrosion of copper pipes in high chloride –low carbonate mains water ", Corrosion Science Vol.26 , No.10 (1986),P.851-870.
5. O.Suwat PAITOONSURIKARN et al , "High Performance Heat Exchanger ", University of Tokyo Japan,P.2
6. L.L. Shreir et al," Corrosion Metal /Environment Reactions " Vol. 1 ,Third Edition , Printed and bound in Great Britain, (2000),P.393-394,722.

20. يو. لاختين، " علم المعادن والمعاملات الحرارية للمعادن"، دار مير للنشر، موسكو ( 1983)، ص 422- 423.
21. R.A.Higgins, "Engineering Metallurgy" Part 1, S/XTH Edition, Reprinted (1999), by Arnold (1999), P.387-388,390.
22. Michael J.Trzeinski, "Senior Industry Consulatat,Ohio,UAS, , P-8.
16. R.J. Oliphant, "CAUSES OF COPPER CORROSION IN PLUMBING SYSTEMS" ,Foundation for water Research ,U.K. P.31
17. Zhuo Yuan Chen, "The Role of Particles on initial Atmosphoric corrosion of copper and zinc, Royal Institute of Technology, Sweden (2005) P.29.
18. V.I. Posypaiko, "Analytical Chemistry in Metallurgy", Mir publisher, Moscow, (1984), P.69, 281-282.
19. E.C. Snbbarao etal, "Experiments in Materials Science", McGraw-Hill Book company, (USA), (1972).P.93-94.

جدول رقم (3) يوضح تصنيف تآكل الملحومات في الدراسة الحالية في المحاليل المستخدمة

تصنيف التآكل المستنتج من المصدر [16]		
رقم التآكل	الاستقرارية	معدلات التآكل (mpy)
(6- 3)	Stable-Low stable	(0.394-19.7)
(6- 5)	Stable/Ditto-Low stable	(3.94-19.7)
ملحومات الدراسة الحالية		
معدلات التآكل (Cr <sub>T</sub> )(mpy)	نوع الوسط	
(0.851-4.97)	(0.5-3)wt% NaCl	
(6.78-10.99)	(0.5-2)wt% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	

الجدول رقم (1) : يبين التركيب الكيميائي لأقراص القصدير

العنصر %(Max.)	النسبة الوزنية
As	0.0005
Pb	0.005
Bi	0.002
Cu	0.001
Fe	0.01
Zn	0.002
Cd	0.001
Sb	0.02
Sn	Remainder

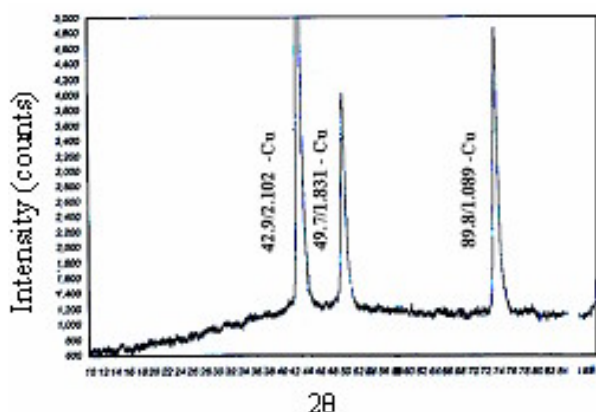
جدول (2) يوضح أنواع أوساط التآكل وفترات غمر العينات (الكبيرة والصغيرة ) فيها

- أ -

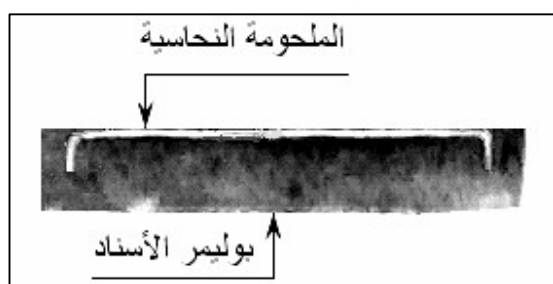
رقم العينة الكبيرة	الوزن الاولي (W <sub>0</sub> )g	نوع وسط التآكل	فترة التعريض (hr)
1	4.913	0.5%NaCl	20 48 220 408
2	4.886	1.5%NaCl	20 48 220 408
3	4.869	3%NaCl	20 48 220 408
4	4.843	0.5%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 48 220 408
5	4.862	1%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 48 220 408
6	4.782	2%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20 48 220 408

- ب -

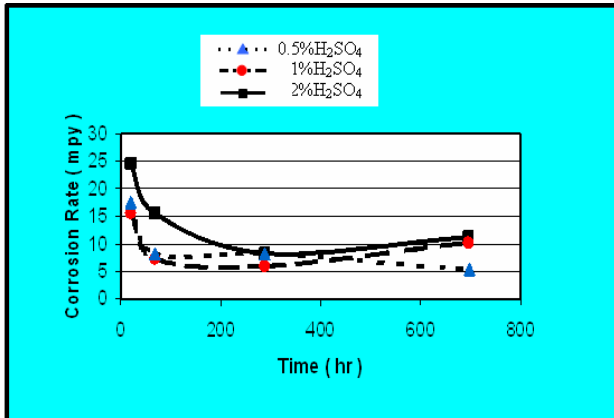
رقم العينة الصغيرة	نوع وسط التآكل	فترة التعرض (hr)
1	0.5%NaCl	220
2	1.5%NaCl	220
3	3%NaCl	220
4	0.5%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	220
5	1%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	220
6	2%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	220



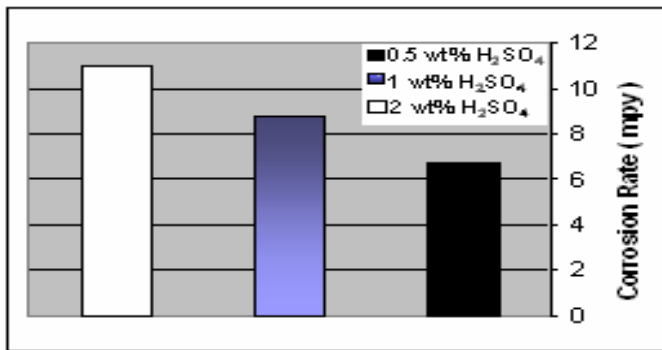
شكل (1) يوضح نتيجة التحليل بحيود الاشعة السينية XRD للانبوب النحاس المستخدمة في الدراسة الحالية



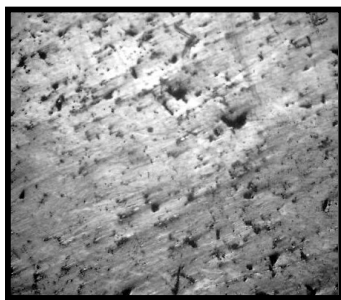
شكل (2) يوضح كيفية تثبيت المحومة النحاسية في بوليمر الاسناد



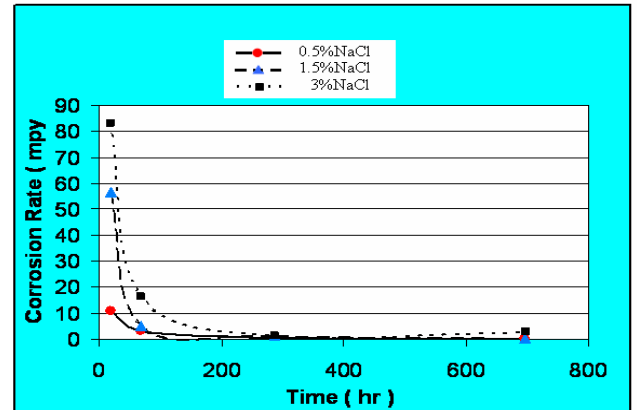
شكل (6) يوضح سلوك تآكل الملحومات النحاسية المعرضة



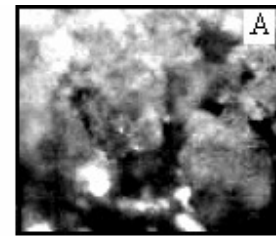
شكل (7) يوضح معدلات التآكل الاجمالية (Cr<sub>T</sub>) للملحومات المعرضة الى المحاليل الحامضية المحتوية على تراكيز المينة اعلاه من (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) لفترة (696)hr.



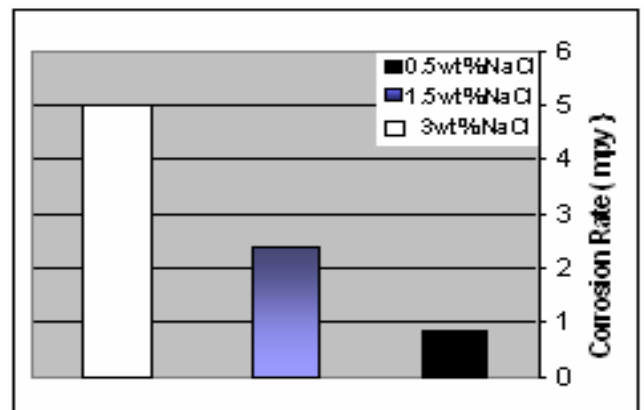
شكل (8) يوضح سطح الانبوب النحاسي بدون الاظهار قوة تكبير 100X



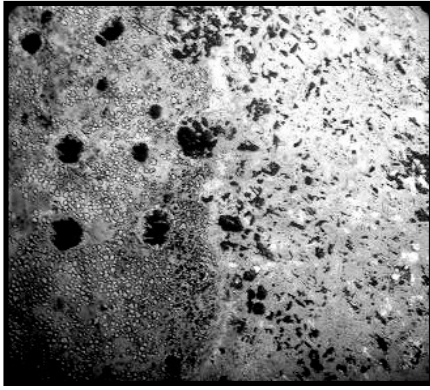
شكل (3) يوضح سلوك تآكل الملحومات النحاسية في المحاليل الملحية المحتوية على مختلف التراكيز



شكل (4): (A) يوضح مظهر الترسبات على سطح الملحومات المغمورة في المحاليل الملحية  
B 500X مقطع عرضي لهذه الترسبات 100X.



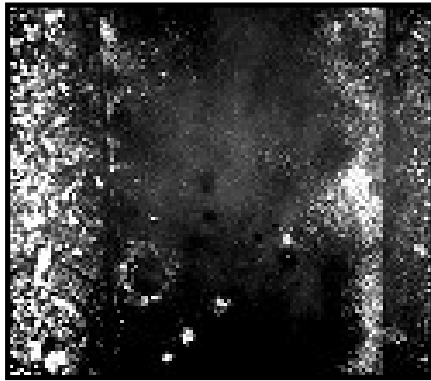
شكل (5) يوضح معدلات التآكل الاجمالية (Cr<sub>T</sub>) للملحومات المعرضة الى المحاليل الملحية المحتوية على NaCl بالتراكيز المبينة اعلاه لفترة (696)hr.



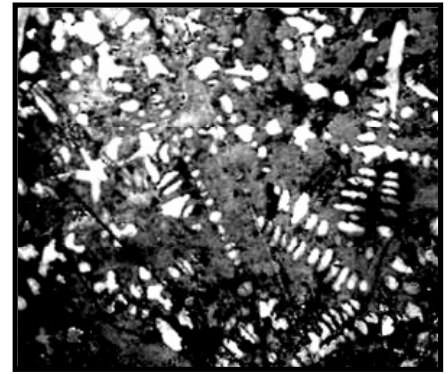
شكل (12) يوضح الملحومة النحاسية المعرضة الى المحلول الملحي المحتوي على (1.5wt%NaCl) قوة التكبير 100X



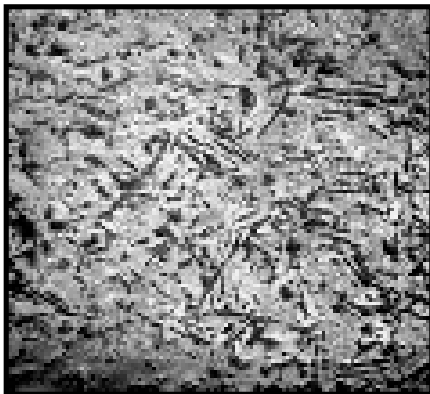
شكل ( 9 ) يوضح سطح الانبوب النحاسي بعد الأظهار و قبل التعريض للتآكل قوة تكبير 100X



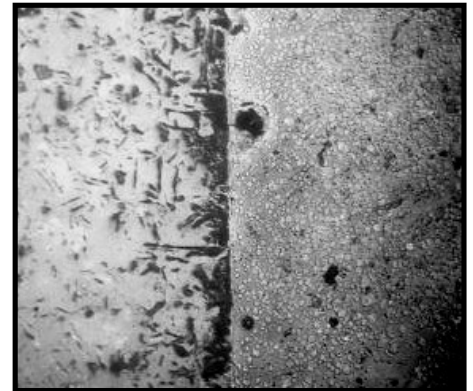
شكل (13) يوضح الملحومة النحاسية المعرضة الى المحلول الملحي المحتوي على (3wt%NaCl) قوة التكبير 100X



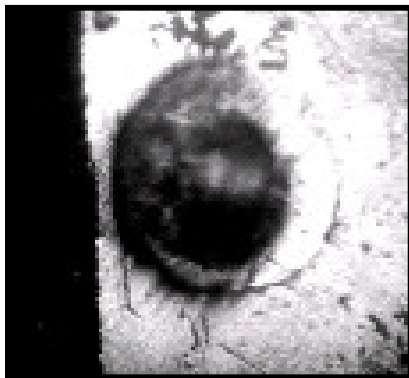
شكل (10) يوضح البنية المجهرية لمنطقة اللحام بعد الإظهار وقبل التعريض للتآكل قوة تكبير 100X



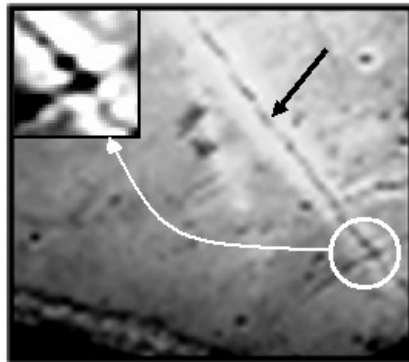
شكل (14) يوضح الجزء النحاسي البعيد من منطقة اللحام المعرضة إلى المحلول الملحي المحتوي على (0.5wt%NaCl) قوة التكبير 100X



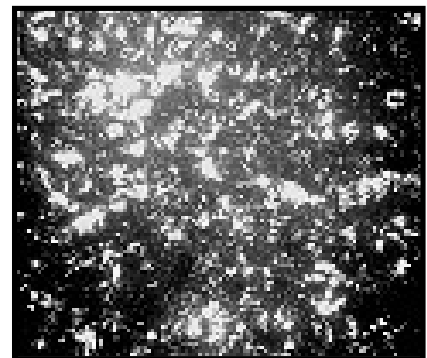
شكل (11) يوضح الملحومة النحاسية المعرضة الى المحلول الملحي المحتوي على (0.5wt%NaCl) قوة التكبير 100X



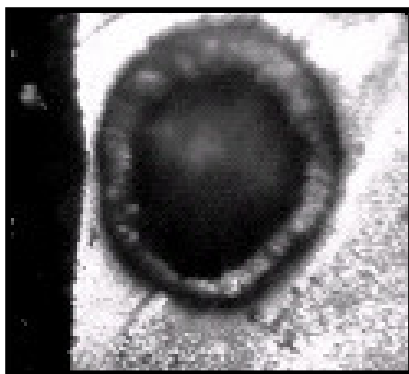
شكل (21) يوضح توسع الجزء اليسر من الفجوة نتيجة تأكلها عند التعريض إلى المحلول الحامضي قوة التكبير 200X.



شكل (18) يوضح تكوين التشققات الطويلة في منطقة اللحم المعرضة إلى المحاليل الحامضية قوة التكبير 100X



شكل (15) يوضح الجزء النحاسي البعيد من منطقة اللحم المعرضة إلى المحلول الملحي المحتوي على (3wt%NaCl) قوة التكبير 100X



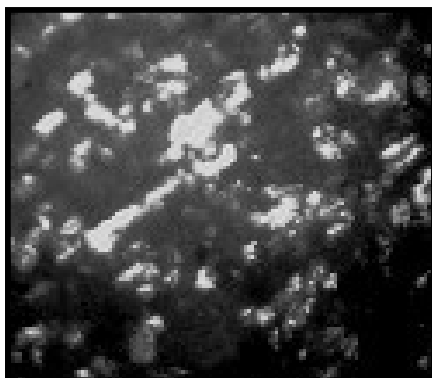
شكل (22) يوضح اكتمال التوسع المستعرض وبتجاه العمق للفجوة نتيجة تأكلها عند التعريض إلى المحلول الحامضي قوة التكبير 200X.



شكل (19) يوضح تشققات اللحم المتكونة على سطح ملحومة أخرى قوة التكبير 500X



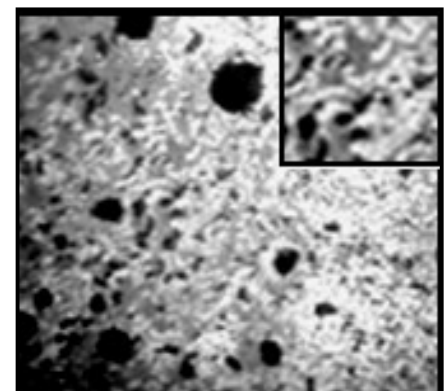
شكل (16) يوضح الملحومة النحاسية المعرضة إلى المحلول الحامضي المحتوي على (2wt%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) قوة التكبير 100X



شكل (22) يوضح اكتمال التوسع المستعرض وبتجاه العمق للفجوة نتيجة تأكلها عند التعريض إلى المحلول الحامضي قوة التكبير 200X.



شكل (20) يوضح تكون الفجوات الكبيرة في منطقة اللحم وكيفية تكوين وانتشار الشقوق الطويلة من حافاتها قوة التكبير 200X



شكل (17) يوضح النقر المتكونة في منطقة اللحم للملحومة المعرضة إلى المحلول الحامضي بتركيز (2wt%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) قوة التكبير 100X

## CORROSION OF COPPER WELDMENTS IN SALTY AND ACIDIC SOLUTIONS

**Jawdat A. Yackaub**  
Lecturer

**Faris M. Rofa**  
Lecturer  
Technical College/ Kirkuk

**Ehsan F. Abbas**  
Assistant Lecturer

### ABSTRACT

The present study is conducted by exposing copper weldment specimens which were prepared by oxy-acetylene welding operation for copper tube by using tin-bronze alloy as a filler metal , to salty and acidic aqueous solutions containing respectively (0.5, 1.5 and 3) wt% NaCl and (0.5, 1 and 2) wt% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . The corrosion behavior of weldments showed a general decrease in corrosion rates in salty solutions with increasing of exposure time . The same thing happened to the weldment specimen which was exposed to the acidic solution containing (0.5) wt% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, while the corrosion rate of the weldments which exposed to the acidic solution containing (1 and 2)wt% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> was dropped during the first (288 hr) of exposure then a relative increase was observed by increasing the exposure time. Also the results of the calculated total corrosion rates (C<sub>T</sub>) indicated higher value for the weldments exposed to acidic solution if they compared with those values obtained with salty solution for (696 hr) exposure. Further more; the examinations by optical microscope for the weldments indicated presence of pitting corrosion at welding zones by exposing the weldment to both salty and acidic solutions, while the general corrosion had a moderate appearance of the cupric part for weldments tested by these two solutions.

**KEY WORDS:** copper weldments, corrosion copper in salty solutions and acidic solution



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.