دراسة تجريبية للاجهادات المسببة لهشاشة الآثار الحديدية وطرق علاجها

د. عبير غريب عبد الله إبراهيم♦

ملخص البحث:

يتعرض معدن الحديد للهشاشة بسبب تعرضه للحام والصب والتنظيف بالليزر والمعالجة الحرارية والتشكيل والقطع والقص ، حيث يحدث إجهاد Fatigue بالمعدن بتكرار تعرضه لأحمال فيتلف تدريجياً بسبب ذبذبات الضغط والشد بالإضافة إلى الاجهادات الداخلية بالمعدن ويبدأ ظهور الكسور ثم انتشارها ، كما إن هناك العديد من الكسور والتشققات التي تظهر بلحام المعادن خاصة في معدن الحديد وأغلبها ناتج عن التعرض للهيدروجين و تظهر الكسور بالقرب من المنطقة المنصهرة في منطقة اللحام، كما يتسبب التلف بالهيدروجين Hydrogen Damage إلى حدوث تصلب Hardening وتقصف وهشاشة وبالتالي يحدث تلف بالتركيب البنائي الداخلي للمعدن.

ولقد ركزت معظم الدراسات على الاجهادات الحادثة بالمعادن بتأثير الضغوط والأحمال بينما استخدمت التجارب لدراسة الاجهادات في المحاليل المائية حيث إن المقاومة الجيدة للمعدن تعتمد على ثبات الطبقة الحامية للمعدن وتجانسها وتركيبها البنائي ، لذا اهتمت هذه الدراسة بإجراء تجارب لتقييم تأثير البيئة لحدوث الكسر و قياس أشد تلك البيئات تلف بمعدن الحديد والمسببة لحدوث اجهادات ومن ثم اقتراح طرق العلاج المناسبة لتجنب حدوث هشاشة وضعف لمعدن الحديد.

نبذة عن الآثار الحديدية وسبائك الحديد وطرق استخلاص الحديد :-

عرف معدن الحديد باسم معدن السماء وذلك لأن قدماء المصريين عرفوا الحديد الشهبي (تحتوي الشهب على حديد يتميز بوجود نسبة من النيكل تصل إلى حوالي١٠%) ، أما خامات الحديد فتوجد بكثرة في الطبيعة في حين أن معدن الحديد الخالص لا يوجد إلا بكميات قليلة ووجد الحديد في رواسب الصخور في الصحراء الشرقية والتي عرفت واستخدمت للتعدين منذ عصور بداية الأسرات أو العصر العتيق

♦ مدرس بقسم ترميم الاثار – كلية الفنون الجميله – جامعة المنيا

1- Ogden S., Metal in Egypt, London, 2001, P.2.

(٣١٠٠ ق.م) واختلفت الآراء في تحديد متى بدأ استخلاص معدن الحديد من[١] الخامات الأرضية واستخدامه في مصر حيث يتعرض المعدن للصدأ والتآكل بسرعة وبسهولة إلا أنه ازدادت قطع الحديد منذ عهد الملك توت عنخ آمون – الأسرة الثامنة عشر (١٤٥٠ ق .م) حتى الأسرة الخامسة والعشرين في العصر المتأخر (١٠٨٥ – ٣٣٢ ق.م) وعثر على العديد من الأدوات الحديدية بالمحاجر ثم أصبح شائع الاستخدام في العصور الرومانية (٣٠ ق .م – ٦٤٠ م) وفي العصور الإسلامية أصبح استخدام الحديد بصفة أساسية في صناعة الأسلحة والمدافع والسيوف والخناجر وغيرها من الأدوات .[٢]

وتبلغ درجة انصهار الحديد حوالي ١٥٣٥ °م ويبلغ الجهد الإلكتروليتي له –٠.٤٤٠ فولت ويذوب في حامض الكبريتيك المخفف وحامض الهيدروكلوريك المخفف ولا يتفاعل مع المحاليل القلوية لذا يمكن استخدامها في تنظيفه ويعتبر المعدن غير ثابت في وجود الماء ، وتحتوي معظم خامات الحديد على الحديد في صورة أكاسيد الحديد وتتميز بانتشارها على سطح الأرض انتشاراً واسعاً ومنها : الهيماتيت Hematite أكسيد الحديديك Fe_2O_3 والجوثيت Goethite أكسيد الحديديك المائي $HFeO_2$ والليمونيت Limonite أكسيد الحديد المائي $2Fe_2O_3$ كرواسب بكميات كبيرة كذلك هناك رواسب أخرى توجد بنسبة قليلة كالماجنتيت Magnetite أكسيد الحديد المغناطيسي Fe_3O_4 هذا بالإضافة للحديد ذو المصدر السماوي والذي يعرف بالحديد الشهبي حيث يسقط من الشهب والنيازك على سطح القشرة الأرضية .

وتحتوي سبائك الحديد على الكربون والمنجنيز و الفسفور والكبريت وآثار من السليكون ويعتبر الكربون أكثر العناصر وجودا مع معدن الحديد في سبائكه ويتراوح نسبته في السبيكة من صفر إلى ٥% وتؤثر هذه النسبة بدرجة كبيرة على نوع السبيكة الناتجة بل تؤثر أيضاً على نوع الأطوار الموجودة في السبيكة فإذا كانت نسبة الكربون تتراوح مابين ٠.٠٨ –٠.٢% تعرف السبيكة باسم الحديد المطاوع Wrought Iron أما إذا كانت نسبة الكربون تتراوح ما بين٠.٥ – ١.٦ % فتعرف السبيكة باسم الحديد الصلب Steel و إذا كانت نسبة الكربون تتراوح ما بين ٢.٥ – ٥% فتعرف السبيكة باسم الحديد الزهر Cast Iron .[٣]

2- Ogden S., Metal in Egypt, London, 2001, P.2.

3- Breasted , J.H., Mining Ancient Egyptian mining : Copper , gold , silver , iron , precious stones , salt, natron , galena ,London, 2003 , PP.3,4.

أما عن صناعة الحديد الأولية في مصر فكان الحديد يصهر إما في مكان قريب من المنجم أو ينقل بالزحافات إلى أقرب موقع يتوفر فيه الوقود وكان خام الحديد المسحوق يخلط بالفحم النباتي (لاختزاله) إما على سطح الأرض أو في حفرة مفرغه معده لذلك وقد توصل المصريون القدماء عن طريق الخبرة العملية إلى كيفية إشعال النار في الموضع المناسب للاستفادة الكاملة من التيارات الهوائية ثم يتم صبه في القوالب المعدة لذلك لتشكيله .[٤]

أسباب حدوث الاجهادات :-

إن التلف الحادث بالمعدن لا ينتج بتعرضه فقط للأكسدة حيث إن الأضرار الناتجة عن الهيدروجين تحدث به كثير من التلف وتنتج ذرات الهيدروجين كنتيجة لتفاعلات المهبط الناتجة من العمليات الإلكتروكيميائية أثناء تفاعلات الصدأ فينطلق الهيدروجين ويمتص من خلال المعدن لكن هذا يعتمد أيضاً على طبيعة سطح المعدن وبسبب صغر حجم ذرة الهيدروجين فإن لها قدرة عالية على الانتشار بداخل المعدن ومن ثم فإنها تخترق معظم المعادن بسهولة وتنتقل بسرعة حتى تبقى في الأماكن الملائمة لها ثم تترسب كذرة لتشكل ضغط بداخل المعدن ينتج عنها حفر وكسور، ويحدث التلف على ثلاث مراحل هى بداية ظهور الكسر ثم نموه ثم ظهور تصدع عبر المنطقة .

كما تتفاعل ذرة الهيدروجين مع المعدن الأساسي أو مع عناصر السبيكة مما ينتج عنه تغيرات بالتركيب البنائي للمعدن[٥] كما يظهر بلحامات المعادن (خاصة في معدن الحديد) العديد من الكسور والتشققات وأغلبها ناتج عن التعرض للهيدروجين خلال عمليات اللحام وينتج عنه كسور بالقرب من المنطقة المنصهرة عند اللحام ، ويلاحظ أن التركيب البنائي لحدود الحبيبات في منطقة الانصهار يكون له ملامح فريدة ومميزة حيث توجد عدة أشكال من الكسور منها ما هو عمودي على منطقة اللحام ومنها موازي لمنطقة اللحام .[٦]

4- Breasted, J.H., Metals : Source, Technologies , uses , Ancient Egyptian raw materials : metal- Copper, bronze , Iron , Gold , Silver , Lead ,London, 2003 , P.P.11,12.

5- Guthrie, J., Battat, B. and Grethleing, C., Accelerated Corrosion Testing , Advanced Materials and Process Technology , The AMPTIAC Quarterly , V.6 , No. 3 , 2000 , P.12.

6- Rowe, D., Nelson, T.W. and Lippold, J.C., Hydrogen Induced Cracking along the Fusion Boundary of Dissimilar Metal Welds , Welding Journal , U.S.A., 1999 , P.31.

كما أن معظم السبائك المعدنية تحتوي على فجوات و هذه الفجوات تكون أكثر عرضة للتأثر بالضغوط ويبدأ التلف وظهور التصدعات من خلال تلك الفجوة لتماثل ما يحدث في السبيكة المعدنية عند تعرضها لحمل عدة ساعات أو حتى عدة أيام .

بالاضافة إلى أن الجزء من المعدن الذي يتعرض للتشكيل على البارد يزداد به تركيز العيوب كالتوقيع الخاطئ وبالتالي تصبح هذه المنطقة أنودية بالنسبة للجزء الذي لم يتعرض للتشكيل على البارد فيصبح الجزء الذي تم تشكيلة أكثر عرضة للصدأ بمعدل سريع. (٧)

وقد تبين من خلال مظهر الكسور خاصه عند الفحص الميكروسكوبي أن تلك الكسور تحدث إما داخل الحبيبات Intergranulars المعدنية أو كسور عبر الحبيبات Transgranular المعدنية وهذا يتوقف على ما إذا كانت الحدود هي أقوى من الحبيبات المعدنية أم أضعف منها .

وتعتبر سبيكة الحديد متجانسة في التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية والخواص الميكانيكية وتبدو تحت الميكروسكوب مكونه من حبيبات ذات قطر أقل من ٠.١مم ومتماسكة معاً لتكون البلورات بالإضافة إلى وجود الشوائب التي يمكن أن تكون منعزلة بداخل السبيكة المعدنية لتصبح غير متجانسة في توزيعها بداخل السبيكة المعدنية وبالتالي فإن التركيب الكيميائي لهذه الشوائب تكون مختلفة عن باقي الحبيبات المعدنية وتظهر سلوك مختلفة عند تعرضها للصدأ خاصة عند حدود الحبيبات (٨) لذا وجد أيضا أنه من أسباب ظهور الكسور في سبيكة الحديد هو ترسيب الكربون عند حدود الحبيبات المعدنية وبالتالي يزداد الجهد عند حدود الحبيبات المعدنية ليمثل هذا الجزء منطقة أنودية Anodic في المعدن مما يزيد عندها معدلات الصدأ. (٩)

ومما سبق نجد أنه يوجد أنوع عديدة من الاجهادات التي تتعرض لها سبائك الحديد و منها :-

١) البثرات :-

وتنتج هذه البثرات عن التلف بالهيدروجين الذي يتسبب في حدوث تصلب Hardening وتقصف أو ضعف وهشاشة Embrittlement وعندما تتعرض السبيكة المعدنية لأقل ضغط تبدأ ظهور بعض العيوب في التركيب البنائي للمعدن كالتزحلق(١٠)

7-Guthrie,J.,Battat,B.and Grethleing, C., Op.Cit. P.13.

8- Sieradzki,K.,Stress–Corrosion Cracking , Arizona State University , July 30 , 2003 , P.P.1,2.

9- Guthrie, J., Battat, B., Grethleing, C., Op. Cit., P. 13.

10- Seo, J.S., Kim , H.J. and Ryoo , H.S., Micro Structural Parameter Controlling Weld Metal Cold Cracking , Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering , International LOCSCO World Press , Vol. 27 , 2008 , P. 3.

وظهور البثرات والكسور كما إن الهيدروجين المتداخل في سبيكة الحديد يتفاعل مع الكربون الموجود بالسبيكة المعدنية مسبب ضعف وهشاشة السبيكة .[١١]

٢) الكسور الناتجة عن ضغط الصدأ :-

وهى عبارة عن كسور داخلية بالمعدن ناتجة عن تعرض المعدن للضغط والصدأ فيتعرض المعدن للتلف في مستويات الضغط حيث يحدث الضغط بأحمال داخلية أو خارجية وتنتج الضغوط الداخلية عن الاجهادات الناتجة عن العيوب بالتركيب البنائي الداخلي للمعدن التي تحدث أثناء عمليات التشكيل على البارد فعندما يتعرض المعدن للتبريد المفاجئ من درجات الحرارة العالية يحدث تغيرات بحجم البلورات المعدنية وتغير في ترتيبها كما يحدث ذلك أيضاً عندما يتعرض المعدن للصب والمعالجة الحرارية والقطع والقص كما إن تراكم مركبات الصدأ في أماكن ضيقة يمكن أن تولد شد وضغط كبير ينبغي عدم تجاهله ، أما الضغوط الخارجية فتشمل بيئات معينة تتسبب في حدوث كسور ناتجة عن صدأ الضغط مثل محاليل الملح وماء البحر خاصة مع سبائك الحديد مع توفر بعض العوامل كالضغط والحرارة وغيرها وقد تكون الكسور الناتجة عن ذلك عبر أو بين الحبيبات المعدنية . [١٢]

٣) الهشاشة بسبب المعدن السائل :-

إن الهشاشة أو التقصف الناتج عن المعدن السائل هى عبارة عن نقص في مرونة المعدن نتيجة اتصاله بمعدن سائل وهذا يحدث خلال عملية اللحام وهو يعتبر أسلوب أو طريقة من التلف الداخلي الذي يحدث بدون ملاحظة أي عيوب أو تلف على المعدن بالخارج وينتج عنه كسور عبر الحبيبات المعدنية أو بين الحبيبات المعدنية مما يؤدي لاختزال الصفات الميكانيكية للمعدن وبالتالي عدم تماسكه . [١٣]

٤) الاجهادات الناتجة عن العلاج بالموجات فوق الصوتية :-

إن الضغوط التي تتعرض لها السبيكة المعدنية خلال عمليات العلاج بالموجات فوق الصوتية تتسبب في حدوث تحول لطور الأوستنيت Austenite (وهى تطلق على جاما الحديد Iron γ ويتكون من محلول صلب من الكربون الذائب في جاما الحديد وهو ذو تركيب بنائي [F.C.C.] مكعب ممركز الأوجه وأكثر ذوبانية[١٤]

11- Seo, J.S., Kim , H.J. and Ryoo , H.S., Op.Cit. , P. 3.
12- Sunder, R., Scientific Correspondence, Current Science, Vol.81,No.11,12,2001,P1402.
13-Guthrie,J.,Battat,B.and Grethleing, C., Op.Cit, P.13.
14- Zhinwa, C., Shin, T., Phase Transformation and Fatigue Properties of Alloyed and unalloyed Austen Pared Ductile Irons, World Conference on ADI Paper Tem Plate, 2002, P.2

للكربون هى ٢% عند درجة حرارة ٢٠٦٥°م) إلى الطور ألفا مع كربيد Carbide + (α) حيث أنه مع ارتفاع درجة الحرارة ما بين ٢٩ – ٤٠°م الناتجة عن استخدام العلاج بالموجات فوق الصوتية فإن هذا يعمل على انتشار الكربون ليتحول الأوستنيت Austenite إلى فريت Ferrite (وهو يطلق على المحلول الصلب لألفا الحديد Iron Solid Solution(α) ويحتوي على كمية صغيرة من الكربون لا تزيد عن ٠.٠٢% ذائبة في ألفا الحديد Iron (α)- وهو يتبع فصيلة [B.C.C.]) وكربيدات Carbides وذلك لأن الموجات فوق الصوتية تتكون من دوائر الضغط والتمدد مما يتسبب عنها ضغوط تتسبب في ظهور فجوات وفقاعات بالسائل المستخدم في العلاج وعند انهيار هذه الفقاعات يتولد عنها موجات أو صدمات في السائل و عند اصطدامها بالأسطح الصلبة كالأثر الحديدي فإنها تحول طور الأوستنيت كما سبق توضيحة. (١٥)

الدراسة التجريبية :-

لقد ركزت معظم دراسات الاجهادات التي تتعرض لها سبائك المعادن بتأثير الأحمال والضغوط على دراسة الاجهادات في المحاليل المائية حيث إن المقاومة الجيدة للمعدن تعتمد على طبيعة سطح المعدن ، لذا تم اختبار قطع من سبيكة الحديد سمكها حوالي ٤.٤مم وعرضها حوالي ٤سم كما هو موضح بالصورة رقم (١) لضمان تعرض الأسطح وما بداخلها أي جميع بدن العينة للضغط (الناتج عن الهيدروجين المنطلق من المهبط كنتيجة لتفاعلات الصدأ و امتصاصه من خلال المعدن طبقا لطبيعة سطح المعدن ثم ترسبه كذرة بداخل التركيب البنائي للمعدن مما يشكل ضغط بداخل المعدن ينتج عنه حفر وكسور) وتمت جميع التجارب في درجة حرارة الغرفة في بيئات عديدة كالتالي : -

١- في الهواء بمحلول ٠.٥% كلوريد الصوديوم NaCl في ماء مقطر .
٢- في الهواء بمحلول ٠.٥% كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 في ماء مقطر .
٣- في الهواء بمحلول ٠.٥% كلوريد الصوديوم ومحلول ٠.٥% كبريتات الصوديوم في ماء مقطر .
٤- في الهواء بمحلول ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم NaClO في ماء مقطر .

وتم تكرار كل تجربة من ١ : ٣ مرات على عينات منفصلة للتأكد من نتيجة التجربة ثم فحص وتحليل كل عينة وما بها من مركبات صدأ بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح (JEOL JXA – 840A Electron prob Microanalyzer)

15- Zhinwa, C., Shin, T., Op.Cit., P.2

المزود بوحدة التحليل EDX ثم قياس درجة ومعدل التلف لمعرفة أشد تلك البيئات تلفاً والمسببة للاجهادات التي تعاني منها الآثار الحديدية .
وتوضح الصورة رقم(١) العينات قبل بدء التجربة،بينما توضح الصورة رقم(٢)العينات بعدوضعها في بيئات الصدأ لمدة ٤٥ يوم في درجة حرارة تتراوح ما بين ٣٠-٣٥°م

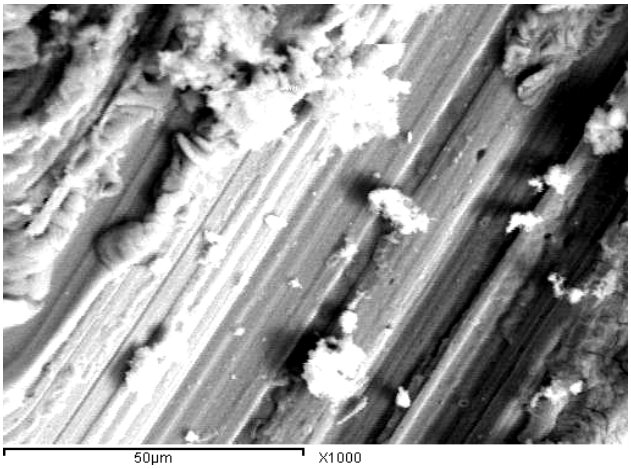
١ ٢ ٣ ٤

صورة رقم (١) توضح العينات قبل وضعها في بيئات التلف المختلفة.

١ ٢ ٣ ٤

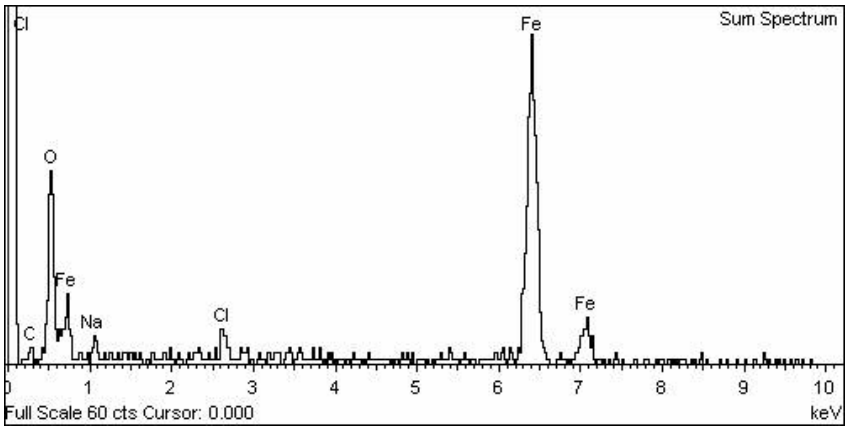
صورة رقم(٢) توضح العينات بعد تعرضها لبيئات التلف فالعينة رقم(١) تعرضت لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم في ماء مقطر ، العينة رقم (٢) تعرضت لبيئة ٠.٥%كبريتات الصوديوم في ماء مقطر ، العينة رقم(٣) تعرضت لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم + ٠.٥% كبريتات الصوديوم في ماء مقطر ، العينة رقم(٤) تعرضت لبيئة ٠.٥%هيبوكلوريت الصوديوم في ماء مقطر .

وأظهرت نتائج فحص العينة رقم(١)المعرضة لبيئة٠.٥%كلوريد الصوديوم باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة التحليلEDXعند درجة تكبير١٠٠٠x مرة وجود العديد من الكسور والتشققات بسطح طبقة الصدأ وتبلور مركبات الصدأ مما يشير لتعرض سطح المعدن للاجهاد كما هو موضح بالصورة رقم(٣)



صورة رقم (٣) توضح فحص جزء من العينة رقم (١) (المعرضة لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم مدة ٤٥ يوم) بالميكروسكوب SEM عند درجة تكبير x١٠٠٠ مرة ويتضح بها العديد من الكسور والتشققات.

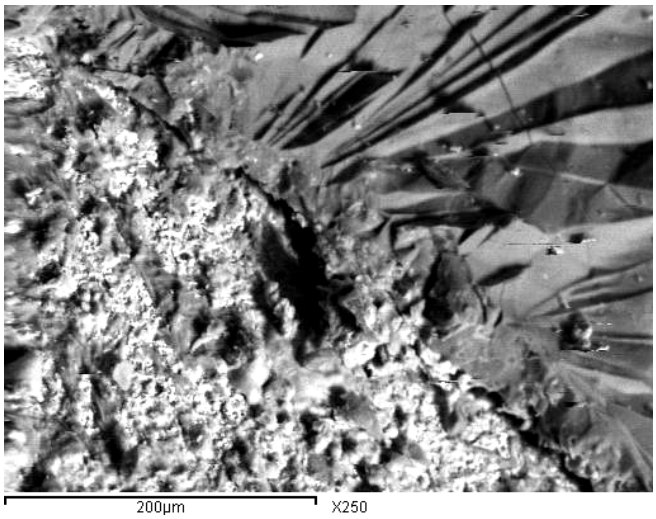
كما أظهر التسجيل البياني للعناصر المكونه للعينة رقم (١) التي تم فحصها بالميكروسكوب SEM كما هو موضح بالشكل رقم (١) إلى أن الحديد بنسبة ٤١.٩٦% والكربون بنسبة ٧.٧% مما يشير إلى أن السبيكة هى حديد زهر و الأكسجين بنسبة ٤٣.١٦% و الكلور بنسبة ١.٩% والصوديوم بنسبة ٥.٢% وهى العناصر المكونه لمركبات الصدأ.



Element	Weight%	Atomic%	
C K	7.73	14.72	
O K	43.16	61.67	
Na K	5.22	5.19	
Cl K	1.93	1.24	
Fe K	41.96	17.18	
Totals	100.00		

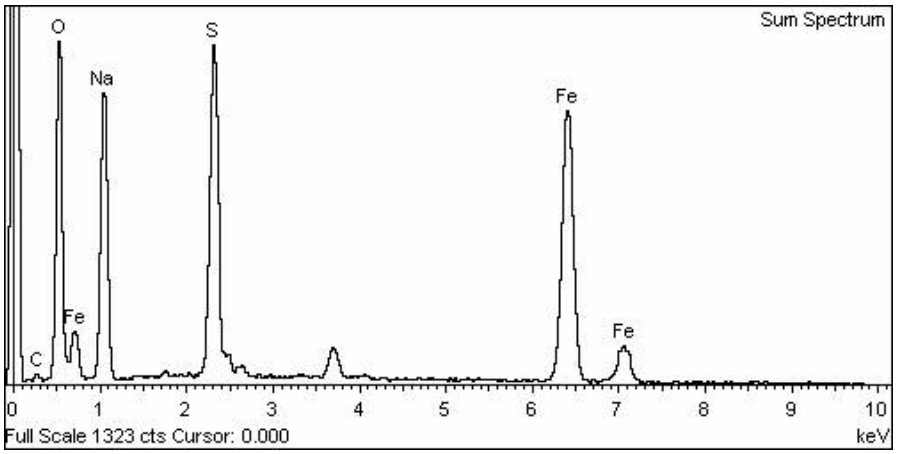
شكل رقم (١) يوضح تحليل EDX للعناصر المكونه للعينه رقم (١) التي تعرضت لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم عند فحصها بالميكروسكوب SEM.

وأعطت نتائج الدراسة والفحص للعينة رقم(٢) المعرضة لبيئة ٠.٥% كبريتات الصوديوم باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM المزود بوحدة التحليل EDX عند درجة تكبير ٢٥٠ x مرة ظهور العديد من الكسور مع تبلور مركبات الصدأ مما يشير لتعرض سطح السبيكة المعدنية للإجهاد والتفكك والتحلل كما هو موضح بالصورة رقم (٤) .



صورة رقم (٤) توضح فحص جزء من العينة رقم (٢) (التى تعرضت لبيئة ٠.٥% كبريتات صوديوم مدة ٤٥ يوم) بالميكروسكوب SEM عند درجة تكبير X٢٥٠ مرقويتضح بها كسور عديدة مع تبلور لمركبات الصدأ.

كما أظهر التسجيل البياني للعناصر المكونه للعينة رقم (٢) (المعرضة لبيئة ٠.٥% كبريتات الصوديوم) عند فحصها بالميكروسكوب SEM كما هو موضح بالشكل رقم (٢) إلى أن الحديد بنسبة ١٩.٧ % والكربون بنسبة ٤.١١ % مما يشير إلى أن السبيكة هى حديد زهر و الاكسجين بنسبة ٤١.٦٣% و الكبريت بنسبة ٢٤.٥٤% والصوديوم بنسبة ١٠.٥٥% وهى العناصر المكونه لمركبات الصدأ.

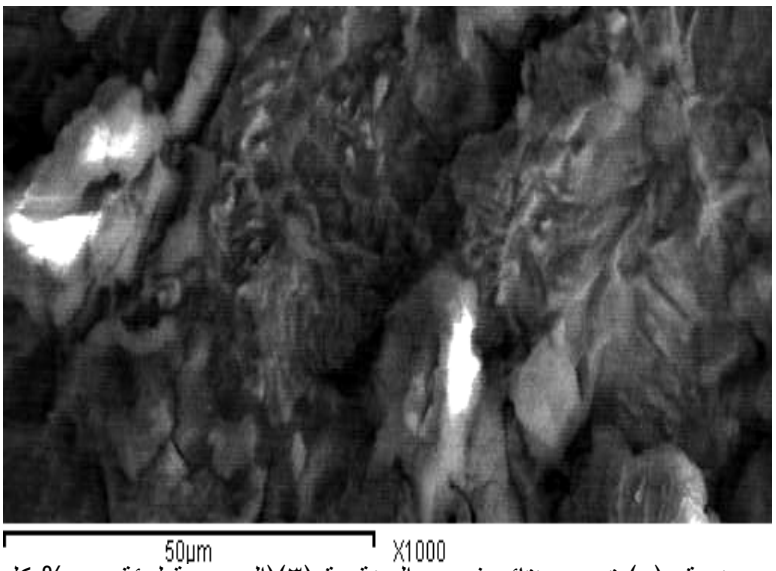


Element	Weight%	Atomic%
C K	4.11	7.30
O K	41.63	55.56
S K	24.54	22.79
Na K	10.55	7.03
Fe K	19.17	7.33
Totals	100.00	

شكل رقم (٢) يوضح تحليل EDX للعناصر المكونه للعينة رقم (٢) (المعرضة لبيئة ٠.٥% كبريتات الصوديوم) عند فحصها بالميكروسكوب SEM .

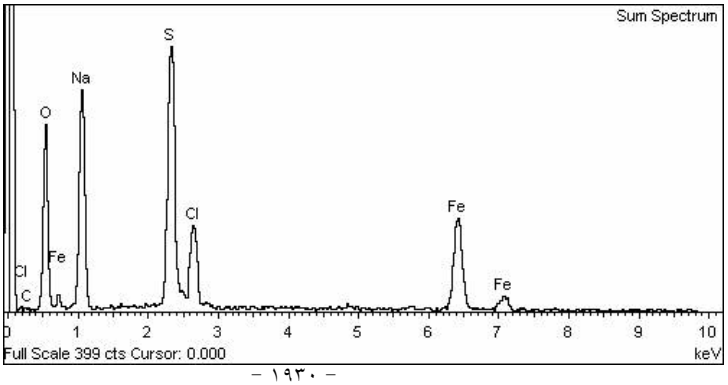
وأظهر نتائج فحص العينة رقم (٣) المعرضة لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم،٠.٥% كبريتات صوديوم باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح

SEM المزود بوحدة التحليل EDX عند درجة تكبير x١٠٠٠ مرة ظهور العديد من التشققات بسطح العينة مما يشير لتعرض سطح السبيكة المعدنية للاجهاد كما هو موضح بالصورة رقم (٥)



صورة رقم (٥) توضح نتائج فحص العينة رقم(٣)(المعرضة لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم ،٠.٥% كبريتات صوديوم) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح عند درجة تكبير X١٠٠٠ مرة ويتضح بها ظهور العديد من التشققات .

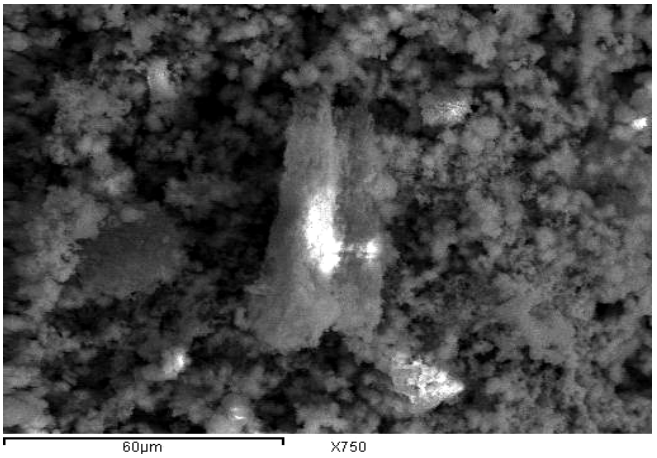
كما أظهر التسجيل البياني للعناصر المكونة للعينة رقم (٣) (المعرضة لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم ،٠.٥% كبريتات صوديوم) التي تم فحصها بالميكروسكوب الالكتروني الماسح كما هو موضح بالشكل رقم (٣) إلى أن الحديد بنسبة ١٠.٦٧% والكربون بنسبة ٣.٦٧% مما يشير إلى أن السبيكة هى حديد زهر و الأكسجين بنسبة ٤٠.٨٩% والكبريت بنسبة ١٣.٣٧% و الكلور بنسبة ٥.٤٨% والصوديوم بنسبة ٢٥.٩٢% وهى العناصر المكونة لمركبات الصدأ.



Element	Weight%	Atomic%	
C K	3.67	2.95	
O K	40.89	56.92	
Na K	25.92	23.94	
S K	13.37	8.85	
Cl K	5.48	3.28	
Fe K	10.67	4.06	
Totals	100.00		

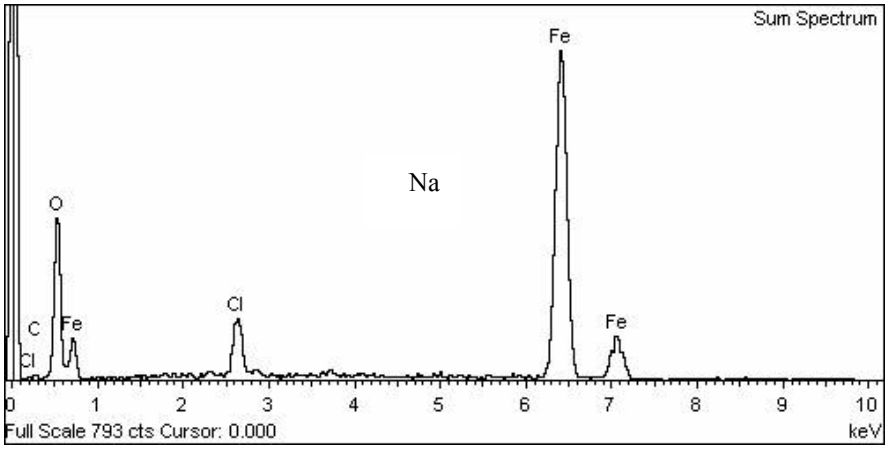
شكل رقم (٣) يوضح تحليل EDX للعناصر المكونة للعينة رقم (٣) (المعرضة لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم ،٠.٥% كبريتات صوديوم مدة ٤٥ يوم) عند فحصها بالميكروسكوب SEM

وأخيرا أعطت نتائج الدراسة و الفحص لجزء من العينة رقم(٤) المعرضة لبيئة ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم NaClO باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM المزود بوحدة التحليل EDX عند درجة تكبير٧٥٠ x مرة اختلاف حجم بلورات سطح المعدن مما يشير لتحلل وتفكك بسطح المعدن كما هو موضح بالصورة رقم(٦).



صورة رقم(٦)توضح فحص جزء من العينة رقم (٤) (المعرضة لبيئة ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم لمدة ٤٥يوم)باستخدام الميكروسكوب SEM عند درجة تكبير x٧٥٠ مرة وبها اختلاف حجم البلورات .

كما أظهر التسجيل البياني للعناصر المكونة للعينة رقم (٤) (المعرضة لبيئة ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم مدة ٤٥ يوم) عند فحصها بالميكروسكوب SEM كما هو موضح بالشكل رقم (٤) إلى أن المكون الأساسي بالعينة هو الحديد بنسبة ٥٠.٠١% والكربون بنسبة ٥.١١% مما يشير إلى أن السبيكة هى حديد زهر و الكلور بنسبة ٤.٤٣% والأكسجين بنسبة ٣٠.٢٥% والصوديوم بنسبة ١٠.٢٠ وهى العناصر المكونة لمركبات الصدأ.



Element	Weight%	Atomic%	
C K	5.11	10.71	
O K	30.25	63.62	
Cl K	4.43	3.15	
Na K	10.20		
Fe K	50.01	22.53	
Totals	100.00		

شكل رقم (٤) يوضح تحليل EDX للعناصر المكونة للعينة رقم (٤) (المعرضة لبيئة ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم مدة ٤٥ يوم) عند فحصها بالميكروسكوب SEM.

ولمعرفة أشد تلك البيئات تلفاً والمسببة لحدوث الاجهادات في الآثار الحديدية تم قياس معدل الصدأ باستخدام جهاز الاستقطاب PS6 Weinberger potentiostat Galvanostatحيث تم وضع عينة قياسية لم يتم تعريضها لبيئة صدأ والعينات التي تم تعريضها لبيئات التلف (بيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم NaCl ، بيئة ٠.٥% كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 ، وبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم +٠.٥% كبريتات الصوديوم ، وبيئة ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم NaClO) كل عينة على حدى مغمورة داخل خلية من كلوريد الصوديوم بدرجة تركيز٣.٥%،معدل الاستقطاب ٠.٥ملي فولت/ ثانية وتم تسجيل النتائج في صورة Chart عن طريق جهاز كمبيوتر متصل بالخلية وسجلت النتائج على أشكال بيانية بها منحنيات الاستقطاب بين محورين أحدهما يمثل الجهد (بالملي فولت) والأخر يمثل التيار (بالملي أمبير) .

ويمثل الشكل رقم (٥) منحنى الاستقطاب الخاص بالعينة رقم (١) الموضوعة في بيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم وسجل معدل التآكل (١.٩٢٣) (مم/سنة) .

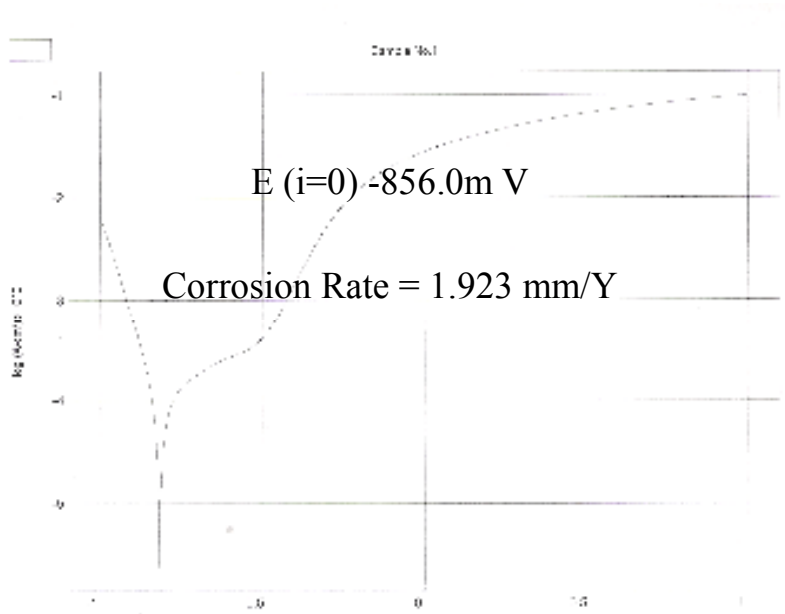
أما الشكل رقم (٦) فيوضح منحنى الاستقطاب الخاص بالعينة رقم (٢) وهى بيئة ٠.٥% كبريتات الصوديوم وسجل معدل التآكل (٠.٤٨٤٠) (مم/سنة) .

ويمثل الشكل رقم (٧) منحنى الاستقطاب الخاص بالعينة رقم (٣) وهى بيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم بالاضافة إلى ٠.٥% كبريتات الصوديوم وسجل معدل التآكل (٠.٢١٠٩) (مم/سنة) .

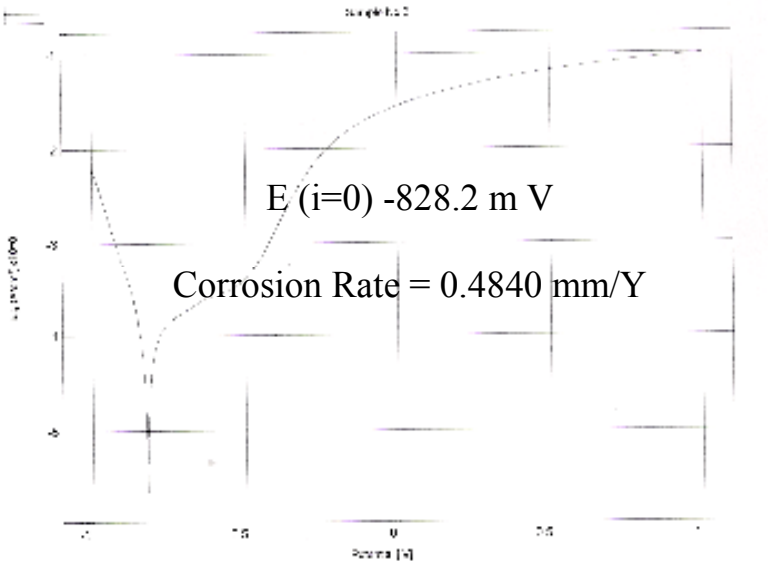
ويوضح الشكل رقم (٨) منحنى الاستقطاب الخاص بالعينة رقم (٤) وهى بيئة ٠.٥% هيبوكلوريت الصوديوم وسجل معدل التآكل (٠.١٤٢٩) (مم/سنة) .

ويمثل الشكل رقم (٩) منحنى الاستقطاب الخاص بالعينة القياسية التي لم تتعرض لأى بيئة صدأ وسجل معدل التآكل (٠.١٠٤٨) (مم/سنة) .

وبذلك يتضح من هذه النتائج أن أعلى معدل صدا تآكل يوجد في العينة رقم (١) المعرضة لبيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم أي أن بيئة كلوريد الصوديوم هى أشد البيئات تلفا و المسببة لحدوث اجهادات في سبائك الحديد .

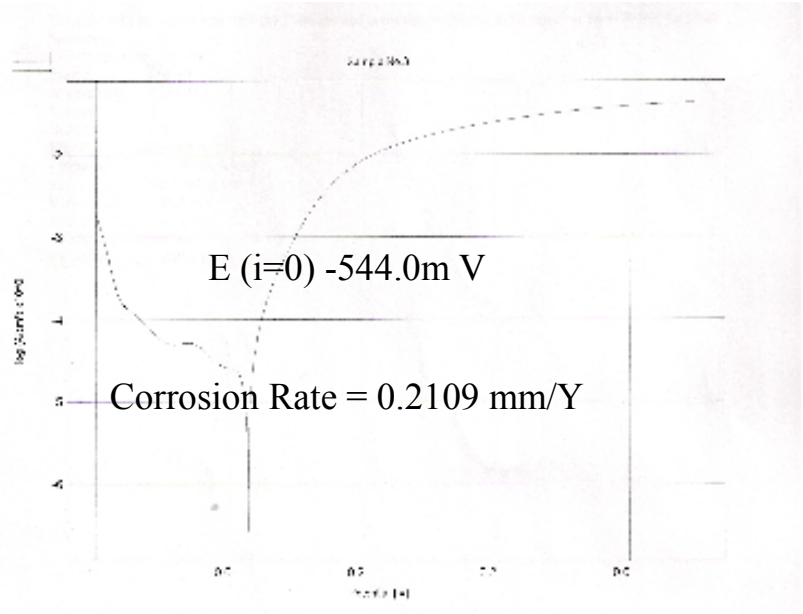


شكل رقم (٥) يوضح المنحنى الخاص بالعينة رقم (١) وهى بيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم في اختبار الاستقطاب ويتضح منه أن معدل التآكل هو (١.٩٢٣) (مم/سنة) وهو أعلى معدل تآكل.

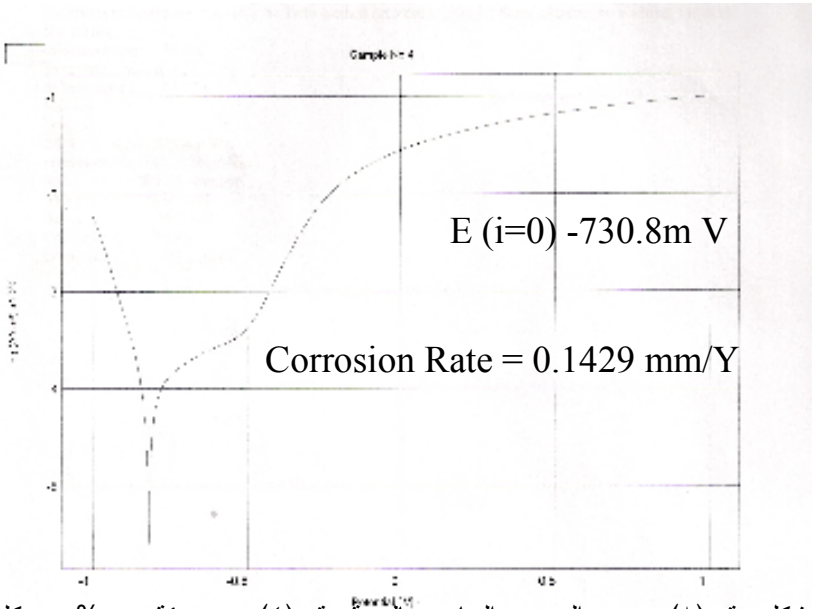


شكل رقم (٦) يوضح المنحنى الخاص بالعينة رقم (٢) وهى بيئة ٠.٥% كبريتات الصوديوم في اختبار الاستقطاب ويتضح منه أن معدل التآكل هو

(٠.٤٨٤٠) (مم/سنة) .

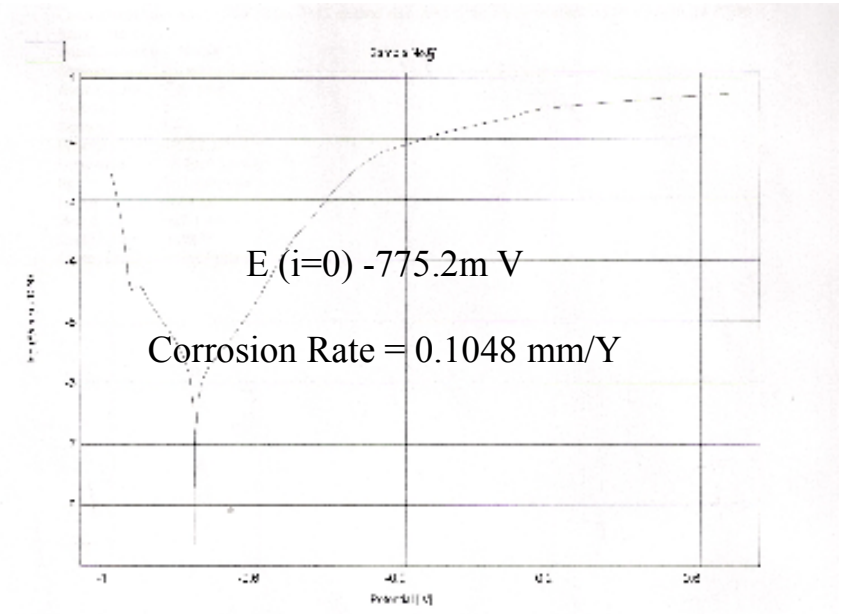


شكل رقم (٧) يوضح المنحنى الخاص بالعينة رقم (٣) وهى بيئة ٠.٥% كلوريد الصوديوم + ٠.٥% كبريتات الصوديوم في اختبار الاستقطاب ويتضح منه أن معدل التآكل هو (٠.٢١٠٩) (مم/سنة) .



شكل رقم (٨) يوضح المنحنى الخاص بالعينة رقم (٤) وهى بيئة ٠.٥% هيبوكلوريت

الصوديوم في اختبار الاستقطاب ويتضح منه أن معدل التآكل هو (٠.١٤٢٩) (مم/سنة) .



شكل رقم (٩) يوضح المنحنى الخاص بالعينة القياسية حيث لم تتعرض لبيئة صدأ في اختبار الاستقطاب ويتضح منه أن معدل التآكل هو (٠.١٠٤٨) (مم/سنة) وهو أقل معدل تآكل .

كيفية تجنب الاجهادات وعلاجها :-

لعلاج الكسور الناتجة عن الهيدروجين يتطلب الأمر التحكم وخفض الأضرار التي يسببها الهيدروجين بالسيطرة على الاتصال بين المعدن والهيدروجين وذلك بالتحكم في البيئة الخارجية المحيطة بالمعدن مع إتباع الصيانة الدورية ومراقبة الأثر المعدني ليكون خال من مركبات الصدأ .

كما يمكن تقليل الضغوط والتحكم في البيئة باستبعاد أيونات الكلور واستخدام موانع الصدأ الملائمة لسبيكة الحديد مثل كرومات الصوديوم ٢.١ جرام /لتر أو حامض التانيك ٥٠جرام/لتر (حيث تتكون تانات الحديد وهي ثابتة نسبياً) أو محلول ٣% نيتريت الصوديوم Sodium Nitrite في الإيثانول ، كما يمكن استخدام الموانع البخارية (VPI) حيث لا تطبق على السبيكة المعدنية لكنها توضع لتنتشر في جو التخزين ويراعى استخدامها في وسط مغلق حيث أن أغلبها سامه مثل نتريت[١٦]

١٦-ماري ك. برديكو ، ترجمة محمد أحمد الشاعر ، الحفظ في علم الآثار – الطـرق والأسـاليب العملية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية ، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية بالقـاهرة ، ٢٠٠٢ ، ص ٣٠٥ ، ٣٠٨ .

الديسيكلوهيكسيلامين Nitrite Dedicyclohexylamine وكربونات السيكلوهيكسيلامين Carbonate Cyclohexylamine (٦٠ جزء في ٢٠جزء من الكازيين ، ١٢٠جزء من الماء مطبق على ورق) مع مراعاة أن له تأثير تآكلي على المعادن الأخرى وأخيرا يراعى ظروف الحفظ والتخزين بحيث تخزن المعادن في رطوبة نسبية حوالي ٣٥% وحرارة ٢٢°م . (١٧)

مناقشة النتائج المستخلصة من البحث :-

مما سبق يتضح لنا الآتي :

١- إن التلف الحادث بالمعدن لا ينتج فقط بتعرضة للأكسدة حيث إن الأضرار الناتجة عن الهيدروجين (المنطلق من تفاعلات المهبط خلال عملية الصدأ) تحدث بالمعدن كثير من التلف ولصغر حجم ذرة الهيدروجين فإن لها قدرة عالية على الانتشار بداخل المعدن ومن ثم فإنها تخترق معظم المعادن بسهولة ثم تترسب كذرة في الأماكن الملائمة لها لتشكل ضغط بداخل المعدن ينتج عنه حفر وكسور .

٢- إن الجزء من المعدن الذي يتعرض للتشكيل على البارد أكثر عرضة للصدأ حيث تزداد به تركيز العيوب كالتزحلق (حركة مستوى ذري على آخر) أو التوقيع الخاطئ وبالتالي تصبح هذه المنطقة أنودية بالنسبة للجزء الذي لم يتعرض للتشكيل على البارد.

٣- تنتج الكسور والشقوق عندما يتوفر وجود معدن حساس للصدأ مع اجهادات بالمعدن سواء داخلية أو خارجية بالاضافة لتوافر بيئة مساعدة على التآكل والصدأ .

٤- يوجد أنواع عديدة من الاجهادات (المسببة لحدوث الكسور) منها البثرات Blistering، والكسور الناتجة عن الصدأ والهشاشة بسبب المعدن السائل ، الاجهادات الناتجة عن العلاج بالموجات فوق الصوتية .

٥- يمكن دراسة الاجهادات المؤثرة على المعادن بدراسة الاجهادات في المحاليل المائية حيث إن المقاومة الجيدة للمعدن تعتمد على ثبات الطبقة الحامية للمعدن وتجانسها وتركيبها البنائي .

٦- إن بيئة كلوريد الصوديوم NaCl هى أشد البيئات تلفا والمسببة لحدوث اجهادات في سبائك الحديد .

١٧-ماري ك. برديكو ، ترجمة محمد أحمد الشاعر ، الحفظ في علم الآثار – الطـــرق والأســـاليب العملية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية ، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية بالقـــاهرة ، ٢٠٠٢ ، ص ٣٠٨ .

المراجع العربية :-
١-ماري ك. برديكو ، ترجمة محمد أحمد الشاعر ، الحفظ في علم الآثار – الطرق والأساليب العملية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية ، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية بالقاهرة .
المراجع الأجنبية :-
2- Breasted, J.H., Metals : Source, Technologies , uses , Ancient Egyptian raw materials : metal- Copper, bronze , Iron , Gold , Silver , Lead ,London, 2003 .
3- Breasted , J.H., Mining Ancient Egyptian mining : Copper , gold , silver , iron , precious stones , salt, natron , galena ,London, 2003 .
4-Guthrie, J., Battat, B. and Grethleing, C., Accelerated Corrosion Testing , Advanced Materials and Process Technology , The AMPTIAC Quarterly , V.6 , No. 3 , 2000.
5-- Ogden S., Metal in Egypt, London, 2001.
6- Rowe, D., Nelson, T.W. and Lippold, J.C., Hydrogen Induced Cracking along the Fusion Boundary of Dissimilar Metal Welds , Welding Journal , U.S.A., 1999.
7- Seo, J.S., Kim , H.J. and Ryoo , H.S., Micro Structural Parameter Controlling Weld Metal Cold Cracking , Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering , International LOCSCO World Press , Vol. 27 , 2008.
8- Sieradzki,K.,Stress–Corrosion Cracking , Arizona State University , July 30 , 2003 .
9- Sunder, R., Scientific Correspondence, Current Science, , Vol.81,No.11,12,2001.
10- Zhinwa, C., Shin, T., Phase Transformation and Fatigue Properties of Alloyed and unalloyed Austen Pared Ductile Irons, World Conference on ADI Paper Tem Plate, 2002.

experimental study of the stresses causing the fragility on iron objects and methods of treatment

Exposed iron to fragility state because of exposure to welding, casting, mechanical cleaning, heat treatment, forming and cutting. Where damage occurs repeatedly subjected to metal loads gradually because of vibrations, tensile and internal stresses in metal, the onset of fractures and then spread. There are also many fractures and fissures which appear in welding metal especially in iron objects, mostly the result of exposure to hydrogen, where the fractures appear near the molten area in the area of welding. Damage caused by hydrogen the resulting hardening, bombing and weakness of structural metal. The study focused on the stresses occurring in iron models in aqueous solutions conduct experiments to assess the impact of the environment to fracture and the rate of growth of fractures and measurement of environments in which more damage and then propose methods of treatment to avoid damage in iron objects.