حماية أسطح نماذج الصلب المعاملة حرارياً من التآكل بغشاء السلبية أو الخمولية في الأجواء الصناعية

د. قحطان خلف الخزرجي* هيثم محمد وعدالله** و طارق خالد عبد الرزاق**

تاريخ التسلم:21\6\2010
تاريخ القبول:7\10\2010

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة إمكانية إجراء عملية السلبية أو الخمولية لأسطح نماذج الصلب متوسط الكاربون(CK45) المعاملة حرارياً بالتخمير والتخمير ألتكوري والمعادلة والتصليد بالماء، ، مع دراسة إمكانية مقاومة هذه النماذج المحمية من التآكل بغشاء السلبية أو الخمولية لعملية التآكل في الأجواء الصناعية لمدة (.hr 720) و (.hr 1440).

وتبين من النتائج إن معدل تآكل النماذج غير المحمية هو الأعلى مقارنة بنماذج الصلب المحمية بغشاء السلبية.

الكلمات الدالة: الحماية من التآكل، غشاء السلبية، أسطح نماذج الصلب، المعاملة الحرارية، الأجواء الصناعية.

Corrosion Protection of Heat Treated Carbon Steel Surfaces By Passivity in the Industrial Atmospheres

Abstract

The object of this research is to study the passivity of surfaces of heat treated medium carbon steel (CK45) by annealing, spheroidise annealing, normalising, and water hardening. This research also studies corrosion resistance of corrosion protected samples by passivity in the industrial atmospheres for two periods (720 hr. and 1440 hr.).

The results, which have been obtained, show that the corrosion rates in the unprotected samples are high compared with the corrosion protected samples by passivity.

Keywords: Corrosion protected, passivity, carbon steel surfaces, heat treated, industrial atmospheres

المقدمة:

يعرف التآكل بأنه تلف في المعادن نتيجة تفاعله كيميائيا أو كهر وكيميائياً مع الجو أو الوسط المحيط به[1] ، وهو عملية تلقائية طبيعية يتم فيها إعادة المعدن إلى صورته الأصلية الحرة الثابتة التي كان عليها في الطبيعة قبل استخلاصه ، أو هو فشل المعدن بأي سبب غير السبب الميكانيكي البحت . ويعتبر التآكل احد المشاكل الصناعية المستعصية، والخسائر المادية التي تنتج عنه باهظة وكبيرة وذلك بسبب العوامل المتغيرة العديدة التي تتعلق به، لذا فان دراسة التآكل ومسبباته والحد منه تعتبر أساسية[2]. يشكل التآكل ومضاره وأساليب الحماية منه مشكلة هندسية من المتوقع أن تزداد مع التطور السريع والمستمر الحاصل في الصناعات الهندسية[3] . إن تأثيرات التآكل تكون عادة على نوعيين ، يتمثل النوع الأول في تلف أو

*رئيس الجامعة التكنولوجية/بغداد
** الكلية التقنية،هيئة التعليم التقني/الموصل

https://doi.org/10.30684/etj.28.20.20
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

فقدان المعدن كما هو الحال مع تآكل الحديد أو الفولاذ ، والنوع الثاني عبارة عن تآكل موضعي يـ دي إلى حدوث تلف ميكانيكي مثل الكسر أو الفشل أو الانهيار. ويعتبر التآكل الموضعي (LocalCorrosion) في الأجهزة والمعدات من الأمثلة على ذلك حيث يكون حدوثه خطرا جسيما ، على سبيل المثال تسرب الغازات السامة أو السوائل المضرة بالصحة من الخزانات والأنابيب وكذلك كسر الأجزاء الميكانيكية الفعالة في القوالب والموجهات والمفاصل الميكانيكية [4 , 5] . إن جميع دول العالم وخاصة الصناعية منها تتخذ الإجراءات الضرورية لمنع التآكل أو الحماية منه ، فالأجزاء الميكانيكية مثلا تتعرض للتآكل خلال مراحل إنتاجها أو عند خزنها أو خلال عملها في المواقع المختلفة كأجزاء السيارات والأجزاء الإنشائية والأجزاء الميكانيكية المتحركة وأجزاء القوالب والعدد المختلفة[6] .أن الصلب الكاربوني أكثر عرضة للتآكل من أي معدن آخر وذلك بسبب كثرة تطبيقاته واستخداماته الصناعية مما يجعله عرضة للأوساط المختلفة، هذا وان التآكل في الصلب الكاربوني يعود إلى سببين الأول هو نشوء خلايا التآكل بين الأطوار المجهرية (Phases) الناتجة عن اختلاف نسبة الكاربون في الصلب الكاربوني، إذ أن البنية المجهرية التي تحتوي على طورين مختلفين مثل الفرايت (Ferrite) والسمنتايت (Cementite) تكون أكثر عرضة للتآكل من البنية المجهرية ذات الطور الأحادي (Single Phase) وذلك لاحتمال نشوء خلايا التآكل ألموقعي بسبب اختلاف فرق الجهد المتوقع بين الطورين المجهريين، حيث تتكون خلية التآكل الكلفاني ألمجهري من قطبين يمثل الفرايت فيها الكاثود (Cathode) ويمثل والسمنتايت الانود (Anode) وان فرق الجهد بينهما يمكن أن يكون خلية كلفانية. أي إن البرلايت (Pearlite) يعتبر خلية تآكل كلفاني بحد ذاته . والثاني هو نشوء خلايا التآكل الكلفاني بين الخلايا المجهرية (Grains)وحدودها(Grain Boundary) ، فالفرايت(كاثود) وحدود الخلايا (أنود) .

وبذلك يصبح سهل للمساحات المكشوفة من الصلب أن تتآكل إذا توفرت الرطوبة والأوكسجين اللازمين لذلك، وتتطور هذه المساحات السطحية لتكون أكبر عند استمرار التفاعل الكهروكيميائي بين الصلب المتآكل والوسط المسبب للتآكل وهذا يعطي فرصة لانتشار التآكل بشكل اكبر [2 , 7]. تتضمن المعاملات الحرارية تسخين المعدن إلى درجات حرارة معينة بالاعتماد على نوع المعاملة ونسبة الكاربون ، ولفترة زمنية محددة تعتمد على سمك النموذج ، ثم يبرد بمعدلات تبريد مختلفة حسب نوع المعاملة الحرارية أو الخواص الميكانيكية المطلوبة. أن من أهم أنواع المعاملات الحرارية المألوفة هي: التخمير (Annealing) ، المعادلة(Normalising)،التخمير ألتكوري (Spheroidise Annealing)، والتصليد (Hardening) [8]. تَعتمدُ الخواصُ الميكانيكيةُ للمعادن على البُنيّة المجهرية والتي تظهر نتيجة للتحولات والتغيرات الطورية أثناء المعاملة الحرارية، أي أن المعاملة الحراريةِ تَتعاملُ مع العوامل والوسائل التي يتم من خلالها السَيْطَرَة على البنية المجهرية للمعدن وبالتالي التأثير على الخواص الميكانيكية [9] . ولذلك يعد الصلب الكاربوني من المعادن الواسعة الاستخدام في التطبيقات الهندسية والصناعية بسبب إمكانية الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة وخاصة بعد أجراء المعاملات الحرارية عليه ، غير أن بعض أنواع المعاملات الحرارية قد تؤدي إلى تحفيز التآكل من خلال نشوء خلايا التآكل الغلفاني بين الأطوار المجهرية [10]. التشغيل الميكانيكي للأجزاء المصنعة يؤدي إلى توليد إجهاد يؤثر على سلوك المعدن ويجعله أكثر عرضة للتآكل . أن وجود قوة تؤثر في المعدن داخلياً تجعل ذراته غير مستقرة في البنية البلورية مما يجعل المعدن يميل للاستقرار والعودة إلى طاقته الأصلية (الطاقة الحرة) من خلال التآكل ، وبذلك يعطي معدلات تآكل مرتفعة إذا قورن بأخر مماثل له غير انه لم يتعرض لأي إجهاد، ويعرف هذا النوع بالتآكل الاجهادي (stress corrosion)[11].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الإجهاد قَدْ يَكُون داخلياً أو خارجيا ومن جانب آخر قد يصنف على أساس الإجهاد الميكانيكي أو الإجهاد الحراري[12]، وكما يلي :

1. الإجهاد الحراري: كالمعاملات الحرارية(Heat-Treatments)أو اللحام (Welding).
2. الإجهاد الميكانيكي: كالتشغيل السطحي أو التشكيل على البارد(Cold Working).

درس الباحث(Wadullah2006)[7] تأثير المعاملات الحرارية على مقاومة التآكل في صلب CK45 وصلب CK60 مستخدما الهواء الجوي وماء الشرب والتربة وسطا للتآكل. وتبين من النتائج إن الصلب المعامل بالتبريد بالماء سبب أعلى معدلات التآكل بسبب احتمال وجود الاجهادات الحرارية الناتجة بفعل معدل التبريد السريع للصلب المصلد بالماء . وان معدلات تآكل الصلب المعامل حرارياً بالمعادلة أعلى من معدلات تآكل الصلب المعامل حرارياً بالتخمير وذكر بان السبب هو زيادة حجم الخلايا المجهرية للصلب المعامل حرارياً بالتخمير وبالتالي نقصان عدد الخلايا المجهرية والحدود التي بينها (قلة عدد خلايا التآكل الغلفاني ألمجهري)، بينما يحدث خلاف ذلك للصلب المعامل حرارياً بالمعادلة . وحلل سبب انخفاض معدلات التآكل للصلب المعامل حرارياً بالتخمير ألتكوري بقلة عدد خلايا التآكل الغلفاني بين الأطوار المجهرية والتي تتمثل بحبيبات السمنتايت المكورة (أنود) والمنتشرة في الفرايت(كاثود) بسبب تكور وتجمع هذه الحبيبات مع بعضها البعض نتيجة لتأثير نوع المعاملة الحرارية.

وجدالباحث(الخزرجي وزملائه2007) [13] بأنه يمكن حماية الصلب واطئ الكاربون من التآكل بغمره في محلول يتكون من الصودا الكاوية ونترات الصوديوم بتركيز 1% وسيانيد الصوديوم بتركيز 1.5% وكرومات الصوديوم بتركيز 1.5% . ولاحظ في نهاية التجارب العملية بان أفضل سطح خامل للعينات ، ومقاوم للتآكل لفترة أربعة أشهر ، يمكن الحصول عليه عند تركيز 5% للصودا الكاوية والفترة الزمنية لغمر العينات 20 دقيقة ودرجة حرارة محلول الغمر 45 درجة مئوية.

نظرا لأهمية هذا الموضوع تم انجاز هذا البحث والذي اشتمل على دراسة وفهم لهذه الظاهرة الخطيرة إلا وهي ظاهرة تآكل الأجزاء الميكانيكية المعاملة حرارياً والمخزونة كالمعدات وأجزاء القوالب والأجزاء المشغلة كالدلائل(Guides) والموجهات(Bushes) والدشالي (Gears) والمحاور(Axles) وغيرها ، والعمل على إيجاد طرق الحماية ذات الكلف الاقتصادية الأقل والكفاءة العالية لاستخدامها في التطبيقات الهندسية والصناعية المصنعة والتي يتم خزنها كمواد أولية وذلك لأجل منع تعرضها للتآكل طول فترة الخزن وقبل الاستعمال.

الجزء العملي:

تضمنت خطوات الدراسة تحضير عينات من الصلب متوسط الكاربون (CK45) بشكل دائري بنصف قطر مقداره (1.63) سنتمتر، وبسمك مقداره (0.4) سنتمتر ،والموضح تركيبه الكيميائي بالجدول (1). تم إزالة الشوائب العضوية كالدهون وغيرها بواسطة السوائل العضوية(النفط ومشتقاته والثنر)، أما الشوائب اللاعضوية كطبقات الصدأ (الاكاسيد ،الهيدروكسيدات ، الكاربونات والكبريتات) فتتم إزالتها بواسطة السوائل اللاعضوية كالحوامض والقواعد. المعاملة بالحوامض المخففة ولزمن محدد تؤدي إلى إزالة هذه الشوائب دون المساس بسطح المعدن لذا يجب استعمال حامض معين أو قاعدة معينة حسب نوع المعدن ، على سبيل المثال لإزالة صدا الحديد يفضل استخدام حامض الكبريتيك أو حامض الهيدروكلوريك المخففين علما إن الأخير يعطي مظهرا خارجيا أفضل حسب ASTM G1. عرضت نماذج الصلب بعد التنظيف للمعاملات الحرارية الأساسية وهي التخمير والتخمير ألتكوري والمعادلة والتصليد بالماء وكما موضح في الجدول (2) والشكل (1). الخمولية أو السلبية تعني جعل سطح المعدن متعادلا نسبيا مع الوسط المحيط به كالهواء

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مثلا ، إذ يتكون غشاء يقي سطح المعدن من التفاعل مع الرطوبة والأوكسجين وبالتالي يمنع حدوث التآكل ، وكلما كان الغشاء المتكون ذات سمك اكبر أعطى مقاومة للتآكل أفضل . وقد استُخدِم في هذه الدراسة محلول غمر قاعدي يتكون من الصودا الكاوية بنسبة 5% ونترات الصوديوم بتركيز 1% وسيانيد الصوديوم بتركيز 1.5% وكرومات الصوديوم بتركيز 1.5% ، حيث تم غمر نماذج الصلب المعاملة حرارياً في محلول الصودا القاعدي (محلول الغمر) في ظروف معينة (مدة غمر العينات 20 دقيقة وعند درجة حرارة محلول الغمر 45 درجة مئوية) على اعتبار إن الغشاء المتكون من هذه الظروف هو الأفضل في مقاومة التآكل [13]، لاحظ الشكل(2). جرى اختبار عينات الصلب الكاربوني المعاملة حرارياً والمحمية من التآكل بغشاء السلبية والمعرضة للتآكل في العراء(المحيط الجوي) في المنطقة الصناعية لمدينة الموصل/الساحل الأيسر لمدة اختبار (720 hr.) و(1440 hr.). تم حساب معدل التآكل بواسطة إزالة نواتج التآكل من العينات باستخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف ليتم غسل النماذج بالماء ثم بالكحول وتجفف لتوزن الوزن النهائي باستخدام ميزان حساس(10^{-4}) بغية احتساب الفرق بالوزن وبالتالي معدل التآكل الذي تم حسابه بوحدة مايكرومتر/سنة(µmpy) [7].

$$\mu mpy = \left[\frac{8.7\times10^{7}W}{DAT}\right] \text{.....(1)}$$

حيث إن: -

(μm) : مايكروميتر ويعادل 10^{-6} m .
(W) : الفقدان في الوزن(g)، وتمثل الفرق بين الوزن قبل الاختبار(w_1)والوزن بعد الاختبار(w_2).
(D) : كثافة الحديد (g/cm^3) .
(A): المساحة السطحية (cm^2) .
(T) : فترت الاختبار أي زمن التعرض للتآكل (.hr) .

تستخدم هذا العلاقة في حساب معدل التآكل وقد ورد ذكرها في كثير من كتب التآكل ومنها[8, 14, 15]، وفي بحوث العلمية ومنها [17, 16, 2] .

النتائج والمناقشة:

الأشكال (3) ، (4) ، (5) ، (6) ، (7) تبين النتائج التي تم الحصول عليها بعد انتهاء فترات اختبار التآكل لمدة(.hr 720)، و(1440 .hr) في الأجواء الصناعية لمدينة الموصل/الساحل الأيسر كوسط لتآكل نماذج من الصلب الكاربوني المعاملة حرارياً وغير المحمية مع أخرى محمية من التآكل بغشاء سطحي مكتسب نتيجة لغمر النماذج في محلول الصودا القاعدي في ظروف معينة.

يلاحظ من خلال النتائج إن نماذج الصلب الكاربوني المعاملة حرارياً والمحمية بغشاء السلبية أو الخمولية ذات مقاومة تآكل اعلي بكثير من النماذج الأخرى غير المحمية، ويمكن تعليل ذلك بتكون غشاء من نوع معين أدى إلى عزل المعدن عن الوسط المحيط (الهواء والرطوبة) مما جعل من سطح الصلب المستخدم خاملا أو سلبيا كما إن مدة بقاء الصلب سلبيا تعتمد على سمك ومقاومة الغشاء المتكون على سطح الصلب المراد حمايته من التآكل، وقد جاء ذلك مطابقا لما ذكر من قبل الباحث [13] ، إلا إن نتائج هذه الدراسة قد بينت أيضا الفعل ألتأثيري لنوع المعاملة الحرارية على البنية المجهرية وبالتالي على معدل التآكل في ظروف الحماية من التآكل بغشاء السلبية او بدون حماية ، لاحظ الإشكال(1) ،(3) ، (4) ، (5) . يكون تأثير الأوكسجين على عملية التآكل متباين ومعقد، حيث يساعد الأوكسجين على زيادة معدل التآكل كونه يعمل كمستقبل للالكترونات ويعمل على إزالة طبقة الهيدروجين عن القطب السالب فيتيح استمرار عملية التآكل ، إلا إن تركيز الأوكسجين العالي و التركيز ألايوني يعطلان عملية التآكل [18, 16, 14] . إن بعض السبائك ومنها الصلب لها القابلية على تشكيل غشاء واقي من الأوكسيد يلتصق

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بسطحها التصاقا قويا وذلك عندما تغمر في أوساط مؤكسدة مثل محلول الغمر الذي يحتوي على الصودا الكاوية ، حيث اكتسبت العينات المستخدمة في البحث خاصية السلبية أو الحماية الآنية أي إن مقاومتها للصدأ قد ازدادت زيادة ملحوظة. ولكن هذا الغشاء لايقي السبيكة وقاية كافية إذا استخدمت في وسائط تآكل حامضي مثل حامض الهيدروكلوريك [13, 3] .

يتبين من خلال الشكل(6) إن معدل التآكل لمدة (1440 hr.) اقل من معدل التآكل لمدة (720 hr.) ويبدو إن تأثر طبقات التآكل المتكونة على سطح الصلب تعيق استمر الخسارة في الوزن بشكل خطي وخاصة وان العلاقة بين الخسارة في الوزن ومعدل التآكل هي علاقة طردية غير إن الجانب الايجابي والأكثر تأثير هو إن العلاقة بين معدل التآكل وزمن الاختبار هي علاقة عكسية ، لاحظ العلاقة (1) والتي تم من خلالها حساب معدل التآكل بوحدة (µmpy). ولأجل الحصول على معدل تآكل ثابت مع زيادة زمن التعرض للتآكل يتطلب ذلك أن تكون حاصل قسمة الفقدان في الوزن على زمن التعرض للتآكل(W/T) قيمة ثابتة وهذا الأمر نظري ولا يمكن تحقيقه في التجارب العملية كون إن هناك الكثير من العوامل التي تؤثر على استمرار أو إيقاف عملية التآكل ومنها نوع المعدن ونوع الوسط المسبب للتآكل ودرجة الحرارة وقيمة الرقم الهيدروجيني (pH) والتركيز الأيوني وغيرها [15, 14, 8, 3] .

من خلال الجدول (3) والشكل (7) ، يلاحظ إن نماذج الصلب متوسط الكاربون المعاملة حرارياً والمحمية من التآكل بغشاء السلبية والمعرضة للتآكل لمدة (720 hr.) لم تسجل أي معدل تآكل ، وعند إجراء المعاينة الموقعية لم يظهر أي أثار للصدأ على خلاف النماذج غير المحمية إذ كانت أثار الصدأ واضحة وبنسب مختلفة . ويعود ذلك إلى غشاء السلبية أو الخمولية المتكون على سطح النماذج التي غمرة في محلول الصودا القاعدي في ظروف معينة. غير إن هذا الغشاء بدأ يفقد مقاومته للتآكل بشكل نسبي مع زيادة زمن التعرض للتآكل كما حصل في النماذج المعاملة حرارياً بالمعادلة والتصليد بالماء بينما لم تتأثر ولم تتغير مقاومة تآكل النماذج المعاملة حرارياً بالتخمير والتخمير ألتكوري. ونقرأ من خلال ذلك الفعل ألتأثيري لنوع المعاملة الحرارية ، فالصلب الذي يحتوي على زيادة في عدد خلايا التآكل الغلفاني ألمجهري(الخلايا المجهرية والحدود التي بينها) وهو الصلب المعامل حرارياً بالمعادلة ، والصلب الذي يحتوي على الاجهادات الحرارية الناتجة بفعل معدل التبريد السريع للصلب المصلد بالماء ، تتطلب عملية حمايتهم من التآكل بغشاء السلبية او الخمولية جهد اكبر . إذ لابد أن تغمر هذه النماذج مرة / شهر في محلول الصودا القاعدي طول فترة الخزن ولغاية مرحلة التجميع أو الاستعمال لضمان عدم تعرض التطبيقات الهندسية المعاملة حرارياً بالتصليد بالماء للحصول على الصلادة أو المعاملة حرارياً بالمعادلة للحصول على المتانة والصلادة مع نسبة من المطيلية للتآكل وبالتالي الفشل.

الاستنتاجات:

1) يمكن حماية نماذج الصلب الكاربوني المعاملة حرارياً من التآكل بواسطة غشاء السلبية او الخمولية المكتسب نتيجة الغمر في محلول الصودا القاعدي في ظروف معينة.
2) يمكن حماية الأجزاء الميكانيكية كالمعدات وأجزاء القوالب والأجزاء الأخرى المشغلة كالدلائل (Guides) والموجهات(Bushes) وأجزاء الصلب التي تم معاملتها بالمعاملات الحرارية الأساسية بغية الحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة كالصلادة والمتانة والمطيلية بغمرها في محلول الصودا القاعدي في ظروف معينة ، وذلك لأجل منع تعرضها للتآكل طول فترة الخزن وقبل الاستعمال.
3) الغشاء المتكون على سطح الصلب المعامل حرارياً بعد الغمر في محلول الصودا القاعدي في ظروف معينة أدى إلى عزل الصلب عن الوسط المحيط به مما جعل سطح الصلب سلبيا أو خاملا، وان مدة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقاومة التآكل تعتمد على طبيعة الصلب المتأثرة بنوع المعاملة الحرارية وعلى زمن التعرض للتآكل.

4) يمكن الاعتماد على هذا النوع من الحماية في الأجزاء الميكانيكية المصنعة والتي تخزن كمواد أولية لحين استعمالها ، بينما تصبح هذه الحماية من التآكل غير مجدية للأجزاء التي تتعرض للعمل أو للاحتكاك بسبب إزالة أو خدش الغشاء الواقي المتكون على السطح مما يؤدي إلى تكون خلية تآكل غلفاني (منطقة الخدش أنود والمنطقة المحمية كاثود).

المصادر:

[1]- Ali Jamal M. , Sameh Shatha A., Abbas Qasim M," The Corrosion of (Fe,Zn,Cu) Metals in 3.5%Nacl Solution Under Different Flow Conditions", Eng. & Tech. Journal, Vol.27, No.12, 2009.

[2]- وعدالله.هيثم محمد ،عبد الرزاق.طارق خالد." دراسة تأثير نسبة الكاربون على معدل التآكل في الصلب الكاربوني "،مجلة الهندسة والتكنولوجيا ،الجامعة التكنولوجيا ، المجلد 28 ، العدد 4، العراق ،2009.

[3]- الخزرجي . قحطان خلف محمد ، الشريف . عبد الجواد محمد احمد، التآكل أسبابه - أنواعه -طرق الحماية منه ، جامعة بغداد ، العراق1987 .

[4]- H. Mcarthur, "Motor Vehicle Corrosion" , corrosion presentation and control , Vol. 28, No. 3, 1981 ,pp. (216-220).

[5]- H. P. Haverty , "The Technology of Automotive Corrosion Protection A Complete Concept", corrosion presentation and control , Vol. 33, No. 5, 1985 ,pp. (21-22) .

[6]- Bollton W., Engineering Materials Technology, 3rd Edition, Butter Worth- Heinemann, London, U.K., (1998), pp. (85-120).

[7]- Wadullah H. M., " Influence of Heat Treatments on The Corrosion Resistance of Plain-Carbon Steels", MSc. Theses. College of Engineering. Department of Mechanical Engineering , University Of Mosul , Iraq., (2006) , pp. (16-55).

[8]- William D., and Callister Jr. , Fundamentals of Materials Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc., U. S. A., (2001) , pp. (205-234).

[9]- Higgins R.A., Engineering Metallurgy, The English University Press. Ltd., London, U.K (1984), pp. (507-536) .

[10]- Van Vlack H., Elements of Materials Science and Engineering , 5th Edition, Wesley Publishing Company, Inc., U.S.A (1985).

[11]- Abdullah I., and Hossain A.S, " Influence of Heat Treatment on the Corrosion of Microalloyed Steel in Sodium Chloride Solution"The Journal of Corrosion Science and Engineering, Vol. 7, 2004,pp.(1-12).

[12]- Avallone E.A., Standard Handbook for Mechanical Engineering , McGraw –Hill, New York,U.S.A (2000), pp.(94-100).

[13]- الخزرجي . قحطان خلف محمد ، النعيمي . علاء الدين، عبدالقادر. نيفين جمال. "إجراء عملية السلبية أو الخمولية لأسطح المعادن المشغلة ميكانيكيا"،مجلة الهندسة والتكنولوجيا، الجامعة التكنولوجيا ، المجلد 25 ، العدد 1، العراق ،2007، ص(1-7).

[14]- Winston R. , Uhlig's Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, Inc., Canada(2000),pp. 100-125

[15]- Fontana G. and Green, D., Corrosion Engineering, 3rd Edition, McGraw-Hill International,U.S.A,1986,pp.(171-174).

[16]- Yunping X., and Zhaohui X., "Corrosion Effect of Magnesium Chloride and Sodium Chloride on Automobile Components", University of Colorado, U. S. A., Report no.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

CDOT – DTD – R – 2004 – 4, 2002, pp. (55-60).

[17]- Malik, A.U., Asrar, N., Andijani, I. N., and Haiy, M. A. A.,"Corrosion Prevention of Steel Structure With Sodium Silicate", in Proc. wsta sixth gulf water conference, riyadh, Saudi Arabia (2003), March 8-12, Vol. II, p. 363.

[18] -Alodan, Maher A., "Modeling of pH Distribution Over Corrosion Sites", *J. King Saud Univ., Eng. Sci.* (1), Vol. 15 , (1423/2002), pp. (1-12).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول(1) : تحليل التركيب الكيمائي للصلب متوسط الكاربون (Steel CK45) .

Type of Steel	Composition (*weight %*)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Fe
Steel CK45	0.45	0.21	0.49	0.027	0.02	0.09	0	0.09	0.07	0	Bal.

جدول (2): المعاملات الحرارية المستخدمة للصلب متوسط الكاربون(Steel CK45).

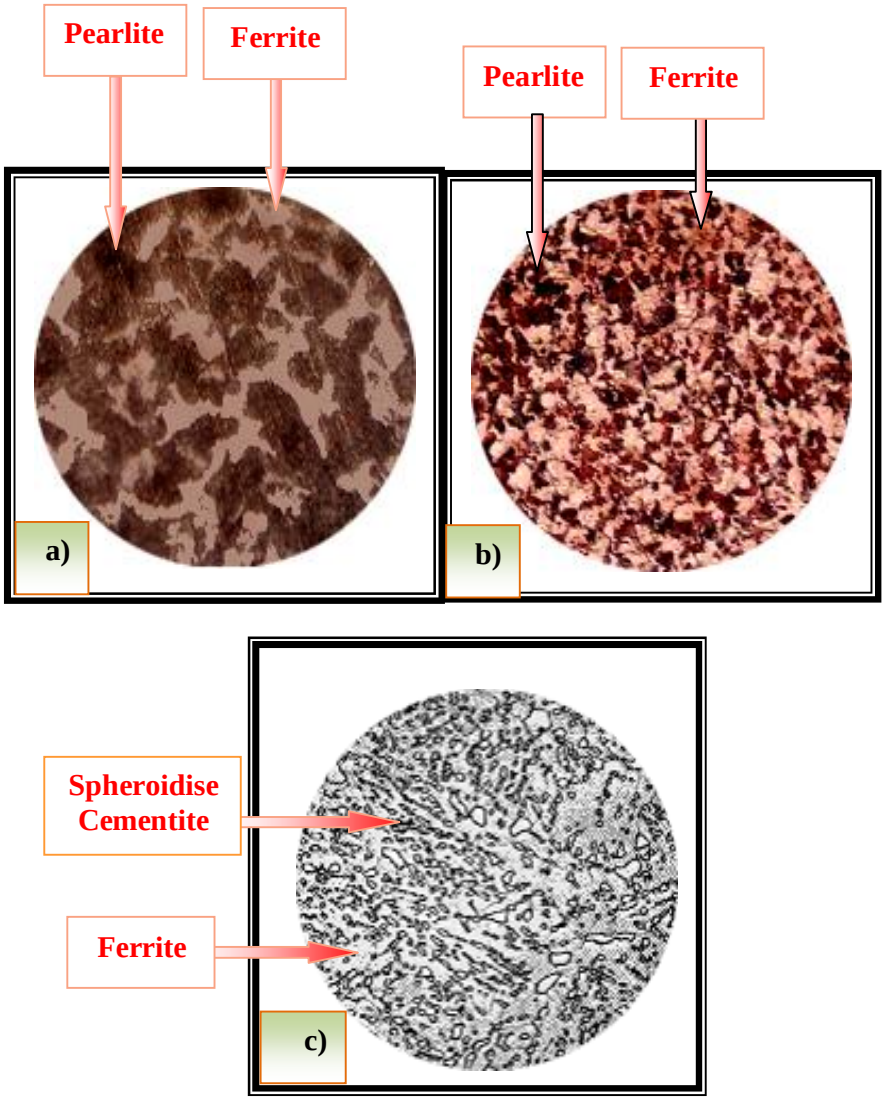
Sample No.	Heat-Treatment Condition	Soaking Temp., ^{0}C	Holding Period, min.
1, 2, 3 and 4	Annealing	900	30
5, 6, 7 and 8	Spheroidise annealed	700	120
9, 10, 11 and 12	Normalising	825	30
13, 14, 15 and 16	Water Hardened	900	30

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

جدول (3) : معدل تآكل نماذج الصلب CK45 المعاملة حرارياً والمعرضة للتآكل في الأجواء الصناعية لمدة (.720 hr) و(.1440 hr).

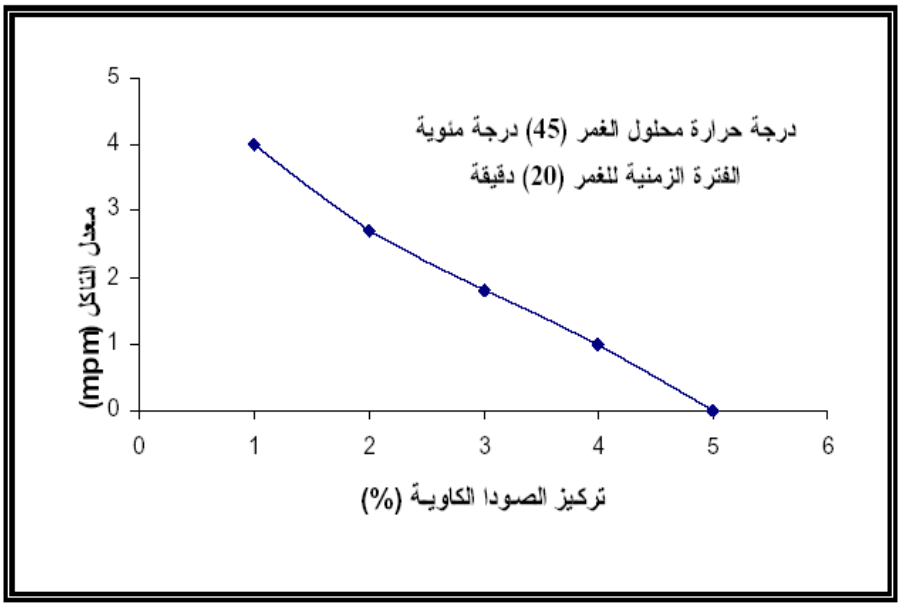
حالة الصلب	نوع المعاملة الحرارية	معدل التآكل بوحدة (µmpy) لمدة (.720 hr)	معدل التآكل بوحدة (µmpy) لمدة(.1440 hr)
غير محمي (بدون طبقة السلبية أو الخمولية)	Spheroidise annealing	4	15
	Annealing	55	46
	Water hardening	160	104
	Normalising	111	90
محمـــي بطبقـــة السلبية أو الخمولية	Spheroidise annealing	0	0
	Annealing	0	0
	Hardening	0	6
	Normalising	0	5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

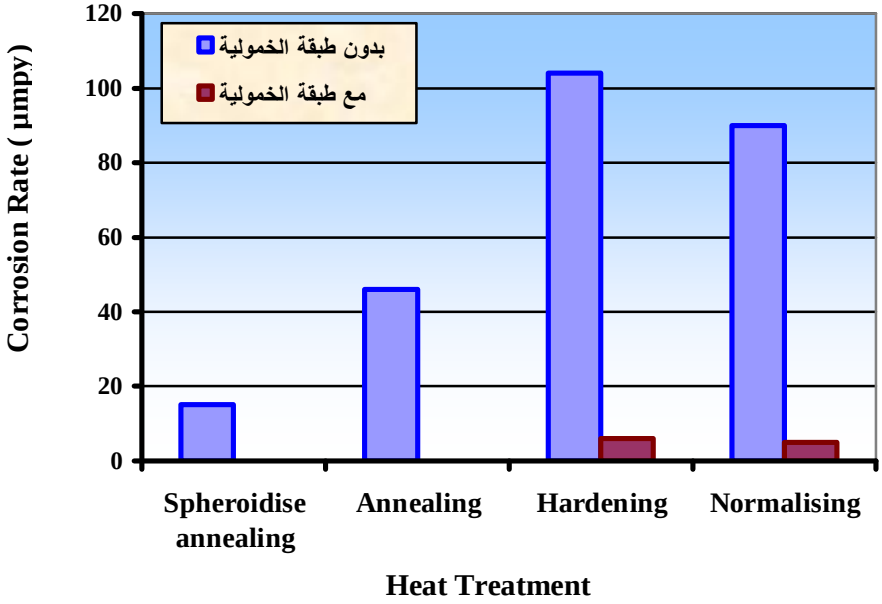


شكل(1): البنية المجهرية للصلب متوسط الكاربون (Steel CK45) المعامل بالمعاملات الحرارية الأساسية:
a) صلب معامل حرارياً بالتخمير(X 150).
b) صلب معامل حرارياً بالمعادلة(X 150).
c) صلب معامل حرارياً بالتخمير ألتكوري(X 750).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

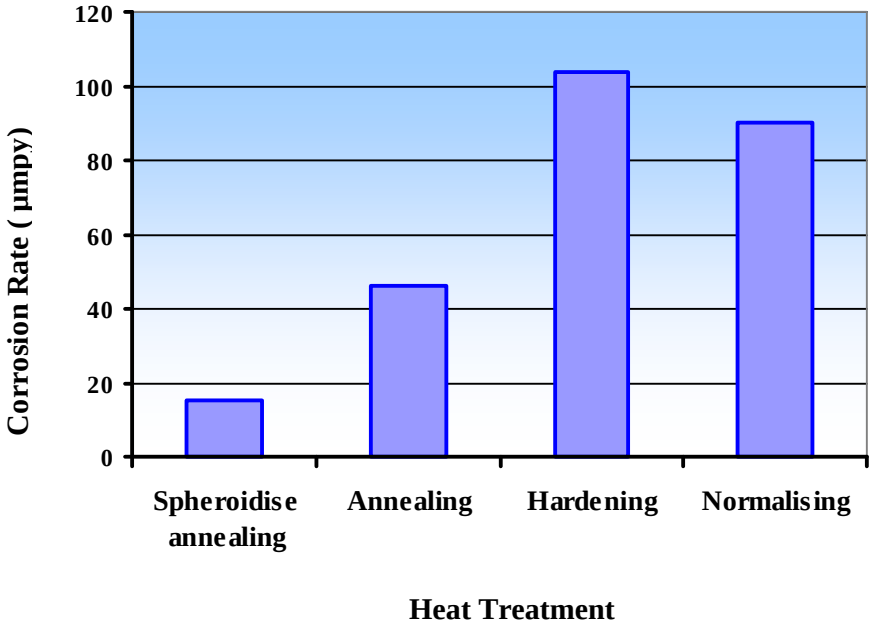


شكل(2) العلاقة بين تركيز الصودا الكاوية ومعدل التآكل[13].

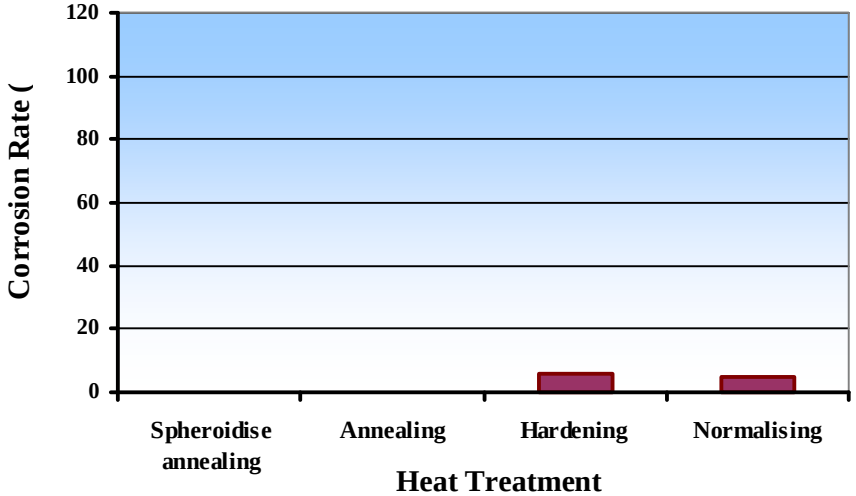


شكل (3) : المقارنة بين معدل تآكل نماذج الصلب المعاملة حرارياً والمحمية بغشاء السلبية مع الأخرى غير المحمية والمعرضة للتآكل لمدة(1440 hr.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

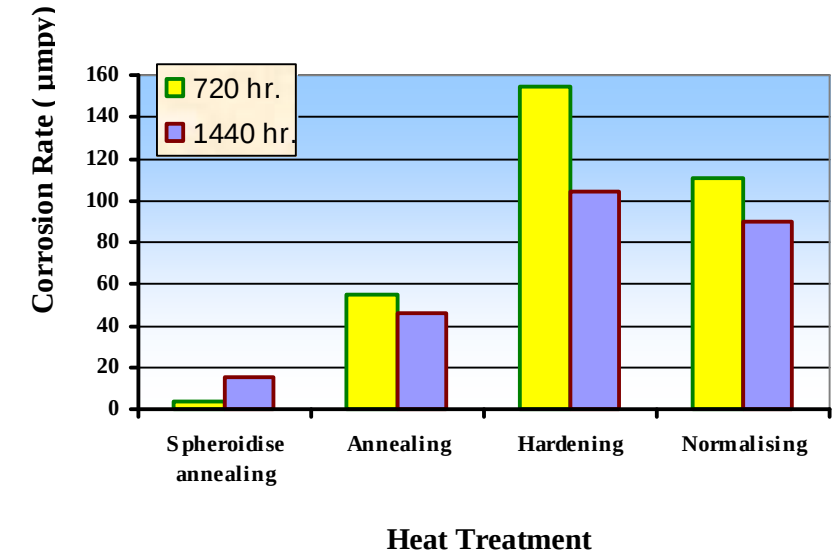


شكل (4) : معدل تآكل نماذج الصلب المعاملة حرارياً وغير المحمية بغشاء السلبية والمعرضة للتآكل لمدة(1440 hr.).

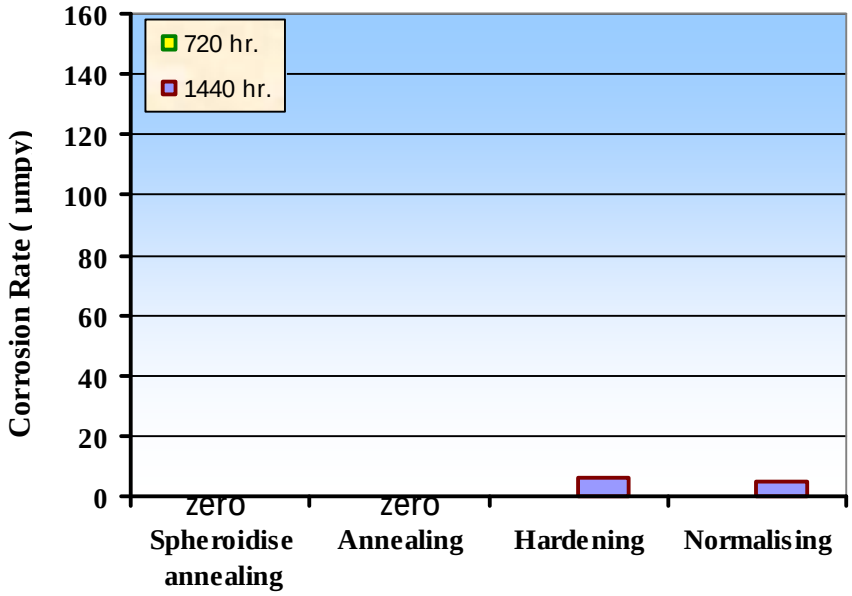


شكل (5) : معدل تآكل نماذج الصلب المعاملة حرارياً والمحمية بغشاء السلبية والمعرضة للتآكل لمدة (1440 hr.).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شكل (6) : تأثير زمن التعرض للتآكل على معدل تآكل نماذج الصلب المعاملة حرارياً وغير المحمية بغشاء السلبية .



شكل (7) : تأثير زمن التعرض للتآكل على معدل تآكل نماذج الصلب المعاملة حرارياً والمحمية بغشاء السلبية.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com