Evaluation of Corrosion Resistance of Medium Carbon Steel Using Different Protection Methods

Firas Farhan Sayyid
Production Engineering and Metallurgy Department, University of Technology/ Baghdad
Email: firasabomohamed@yahoo.com
Ali Abdul Munim Ali
Technical College, Foundation technical/Baghdad
Email: ali_techno@yahoo.com
Wadhah Adel Tawfek
Minsitry of science and Technology/Baghdad
Email:wadhahsammaraie@yahoo.com

Received on: 19/7/2011 & Accepted on: 5/1/2012

ABSTRACT

This research involves studying the effect of some different protection methods to increase electrochemical corrosion resistance of medium carbon steel (DIN CK50) in 3.5% NaCl by applying coating with Cr and Sn, with addition of inhibitors ($No3^{-}$, PO4 , $MnO4^{-}$and $SO4^{-}$) and application of cathodic protection by sacrificial anode using Zn anode.

Evaluation of corrosion resistance after different protection methods were measuring performed by static potential test and measurement of corrosion parameters (potentional and current density) by Tafel extrapolation method. The surface of protection specimens was examined by using optical microscopes.

The corrosion rate results show that using coating and inhibition methods give good results in increasing the corrosion resistance compared with the cathodic protection which gives an objective result depending on sacrificed pole.

تقييم مقاومة التآكل لفولاذ متوسط الكربون باستخدام اساليب حماية مختلفة

الخلاصة

يتضمن البحث الحالي دراسة تأثير بعض طرق الحمايةعلى مقاومة التآكل الكهروكيميائي لفولاذ متوسط الكربون (DIN CK 50) في ماء البحر(3. 5% NaCl) باستخدام طرق حماية مختلفة كالطلاء الكهربائي بعنصري الكروم والقصديرو كذلك استخدام المثبطات كالنترات والفوسفات والمولبيدات والكبريتات بالاضافة الى تطبيق الحماية الكاثودية باسلوب الانود المضحي وهو الزنك جهدة (E Zn= -0.76 V). تم تقييم مقاومة التآكل بعد اجراء طرق الحماية باجراء اختبار التآكل باستخدام المجهاد الساكن وتطبيق طريقة تافل الاستقرائية لحساب متغيرات التآكل (جهد التآكل وكثافة تيار التآكل) كما تم اجراء الفحص المجهري لسطح العينات المحمية. بينت نتائج معدل التآكل بان استخدام طريقتي الطلاء واضافة المثبطات تعطي نتائج جيدة في زيادة مقاومة التآكل في حين ان تطبيق الحماية الكاثودية اعطت نتائج ايجابية اعتمادا على نوع القطب المضحي.

https://doi.org/10.30684/etj.30.7.14
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

الكلمات المرشدة : التآكل ، الطلاء الكهربائي ، الفولاذ متوسط الكربون، المثبطات ، الحماية الكاثود

المقدمة

يعد الفولاذ من المعادن الواسعة الاستخدام في التطبيقات الهندسية وبنسبة 85% ويحتاج إلى طرق حماية من التآكل لمقاومته المحدودة له [1]. يستخدم الفولاذ في صناعة أجزاء من وسائط النقل البحرية ومعظم أجزاء وسائط النقل البرية وكذلك في أنابيب نقل البترول وهياكل البنايات والجسور.

ونظراً لأهمية الفولاذ في التطبيقات الهندسية ومقاومته الضعيفة للتآكل في معظم الأوساط لذا اهتمت العديد من الحلقات البحثية بدراسة مقاومته للتآكل وحساب كلفة الحماية منه. ان التآكل يصيب المعدن نتيجة تفاعل كيميائي او كهروكيميائي مع الوسط الموجود فيه، حيث ان التآكل الكيميائي ينشأ بسبب التفاعل المباشر بين الفلز او السبيكة مع البيئة المتصلة بها اما التآكل الكهروكيميائي ينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض له المعدن نتيجة تسليط جهد خارجي او تآكل ناتج عن تفاعل كلفاني ويتخذ التآكل عدة أشكال يعتمد على ظروف الوسط ومن أنواعه تآكل منتظم، تآكل إجهادي، تآكل تقصف الهايدروجين، تآكل مابين الحدود الحبيبية، تآكل التعرية، تآكل نقري، تآكل التقشر و تآكل ميكانيكي . هناك العديد من العوامل تؤثر على معدل التآكل في الوسط السائل منها الحامضية (pH) وكذلك معدل جريان الوسط المغمور به ودرجة حرارة الوسط وكذلك وجود عناصر السبك في المعدن[2].

إن الحامضية (pH) من العوامل المهمة ففي حالة كون حامضية (pH) الوسط قليلة فان مقدار آيون الهيدروجين يزيد من معدل التآكل أي ان التآكل يستمر بينما الوسط القاعدي (قلوي) فيكون التآكل فيه أبطئ. وهناك اساليب تستخدم لتقليل معدل التآكل منها الطلاء الكهربائي الذي هو ترسيب طبقة من المعدن المراد الطلاء به من خلال عملية تحليل كهربائي لمحلول يحتوي على ملح المعدن الذائب وبذلك يكتسب سطح السبيكة الأساس مواصفات وخواص المعدن المطلي به. والطلاء الكهربائي من الطرق الشائعة الاستعمال وطورت لتصبح تقنية ممتازة ولا تعتمد على تفاعل كيميائي بين معدن الطلاء والسبيكة الأساس لذا يجب تهيئة سطح المعدن (Metal Surface Preparation) لعملية الطلاء الكهربائي. تتلخص عملية الطلاء بالترسيب الكهربائي بجعل المعدن المراد طلاءه كاثود يغمر في سائل مكون من محلول أملاح معدن الطلاء الذي يدعى اليكتروليت مع إضافة بعض المواد المساعدة التي قد تكون عوامل مضافة تعمل على تحسين خواص طبقة الطلاء او مواد محفزة للتفاعل، ويربط المعدن المراد ترسيبه بالانود في خلية الطلاء الكهربائي. في هذه الدراسة تم استعمال مادة الكروم والقصدير لغرض طلاء الفولاذ المتوسط الكربون ومعرفة مدى تأثيره على معدل التآكل.

قام الباحث Lowen [3] بدراسة تاثير الطلاء الكهربائي على مقاومة التاكل الكهروكيمياوية . وقام الباحث Praveen [4-5] بدراسة تاثير الطلاء بالزنك على مقاومة التاكل لانابيب متناهية في الصغر. في البحث الحالي تم دراسة الطلاء الكهربائي بعنصري القصدير والكروم على مقاومة التاكل الكهروكيميائي اما استخدام المثبطات وهي مادة كيمياوية تضاف إلى السوائل فتمنع التآكل على جدار الوعاء الذي يحتويها لأنها تحول دون حدوث التفاعلات الكيمياوية عند الأنود أو الكاثود أو كليهما وتوقف بالتالي مفعول خلايا التآكل كما أنها تترك طبقة خفيفة عازلة على جدار الوعاء. يضاف مانع التفاعل الكيمياوي إلى السوائل بتركيز معين دوريا ويمكن استعمال هذا الأسلوب في آبار الحفر والمراجل ومنظومات المياه ، وقد قام ايضا العديد من الباحثين بتناول موضوع استخدام المثبطات ودورها في تقليل التآكل ومنهم الباحث Nervana [6] باستخدم سليكات الصوديوم كمادة مثبطة في حالتي السكون والحركة مختبرا معدل التآكل بطريقة الوزن المفقود وقد اوجد ضرورة اضافة المثبطات دوريا وان تحريك الوسط اعطى نتائج

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

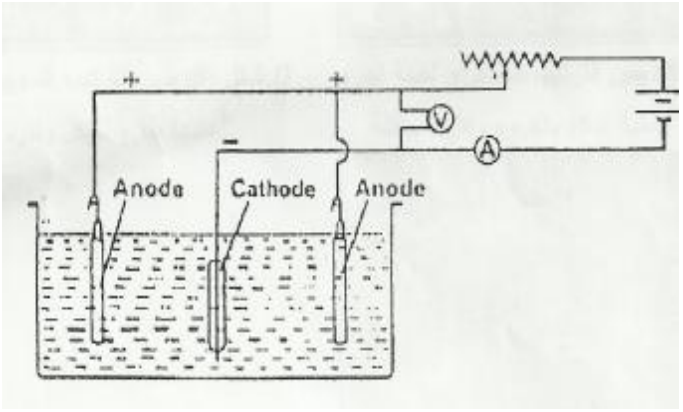
افضل . والباحث Aramide [7] الذي درس استخدام نتريت الصوديوم بتراكيز مختلفة على تآكل الفولاذ في ماء البحرباستخدام طريقة الوزن المفقود ووجد ان افضل تركيز هو نسبة 4%.

اما استخدام طريقة الحماية الكاثودية حيث أن التآكل في المعادن يقع في المنطقة الأنودية نتيجة تفريغ التيار الكهربائي منها إلى الوسط من حولها مع بقاء المنطقة الكاثودية سليمة وخالية من التآكل. من الواضح أذن أن عملية التآكل تتوقف إذا أصبحت جميع أجزاء المعدن كاثودية ويمكن تحقيق ذلك باستخدام تيار كهربائي من مصدر خارجي يسري باتجاه مضاد لتيار خلايا التآكل وبكثافة كافية لتجعل من سطح المعدن بأكمله كاثوداً يستقبل التيار الكهربائي من البيئة التي حوله بدل أن يفرغه إليها ومن هنا جاء اصطلاح الحماية الكاثودية وهناك اساليب للحماية الكاثودية [8] .

1- منظومات الحماية باستخدام أقطاب التضحية Sacrificial Anodes

2- منظومات الحماية باستخدام التيار القسري Impressed Current

وايضا تناولت دراسات عديدة هذا الاسلوب من الحماية منهم الباحث William [9] الذي اعد مقالة بخصوص حماية اسلاك التسليح المستخدمة في الخرسانة باستخدام طريقة التيار القسري الموضحة في الشكل رقم(1).



شكل رقم (1) يبين مخطط لطريقة الحماية الكاثودية باستخدام التيار القسري

الهدف من البحث

دراسة تأثير طرق الحماية المختلفةللمعدن على معدل التآكل ودور كل طريقة في التأثير على مقاومة التآكل واستنتاج افضل طريقة مستخدمة في هذاالمجال .

الجانب العملي:

ويتضمن الجانب العملي ما يلي:

اختيار المعدن (Metal Selection)

تم اختيار فولاذ متوسط الكاربون (DIN CK50)) ومن اجل التعرف على التركيب الكيمياوي للمعدن تم إجراء عملية التحليل للمعدن باستخدام جهاز المطياف الضوئي وان التحليل الكيميائي للمعدن المستخدم مبين في جدول (1) .

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

جدول (1) التحليل الكيميائي للمعدن المستخدم.

العنصر %	C	Mn	P	S	Ni	CR	Si	Mo	Cu	V	Fe
W.%	**0.51**	**0.86**	**-**	**-**	**0.14**	**0.24**	**0.21**	**0.03**	**0.35**	**-**	**Rem**

تصنيع عينات الاختبار

تم تصنيع عدد من عينات اختبار التآكل نوع من المعدن وان أبعاد العينة كانت وفق المواصفه القياسيه للاختبار(G 71-30 ASTM) هي
(1.5* 1.5 *0.2) سم.

صنيف العينات

بعد الانتهاء من عملية تصنيع العينات تم تصنيفها الى مجاميع كما مبين في الجدول (2) والذي يبين تصنيف عينات الاختبار.

جدول (2) يبين تصنيف عينات اختبار المعدن المستخدم

حالة العينة	رمز العينة
عينات فولاذ متوسط الكاربون من المعدن الأساس	A
عينات فولاذ متوسط الكاربون مطلية بالقصدير	B
عينات فولاذ متوسط الكاربون مطلية بالكروم	C
عينات فولاذ متوسط الكاربون باستخدام الحماية الكاثودية واتخذ الزنك كقطب مضحي	D
عينات فولاذ متوسط الكاربون بأستخدام المثبط المكون من مجموعة من الاملاح	E

فحص البنية المجهرية

لقد تم تحضير العينات للفحص ألمجهري وفق الخطوات التالية:

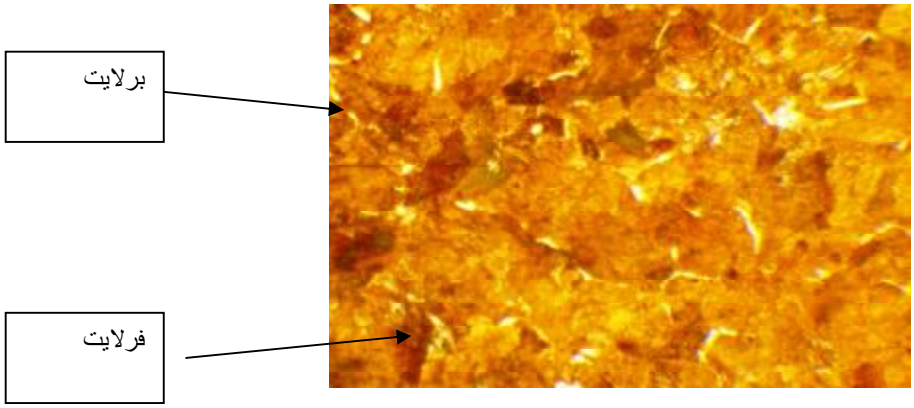
1- تنعيم العينات على جهاز (Rotating Grinding) باستخدام ورق التنعيم مختلف الدرجات(180-250-400-500-800-1000) Grid مع استعمال الماء.

2- عملية الصقل باستخدام قماش صقل مع مساعد صقل هو اوكسيد الالمنيوم Al_2O_3 وبحجم حبيبي 0.3 µ .

3- المعاملة المحلولية : تم اجراء المعاملة المحلولية باستخدم محلول النيتال (2% حامض النتريك + 98 % كحول اثيلي) .

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

4- تصوير البنية المجهرية بواسطة المجهر الضوئي Computerized optical) microscopy) في وزارة العلوم والتكنولوجيا / مختبر التآكل وان صور البنية المجهرية مبينة في الشكل(2) .



شكل رقم(2) يبين البنية المجهرية للفولاذ المستخدم بقوة تكبير 40x

عملية الطلاء

اجريت عملية الطلاء الكهربائي [4] على مجاميع العينات بالرمز (B,C) من الجدول رقم (2) وتضمنت عملية الطلاء المراحل التالية:

1- تنظيف العينات بمحلول قاعدي يتكون من كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) بوزن يتراوح ما بين (30-45 gm/L) وثلاثي صوديوم فوسفيت ($Na_3PO_4.H_2O$) بوزن يتراوح مابين (30-45gm/L) وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بوزن يتراوح ما بين (7.5-15 gm/L) داخل خلية كهروكيميائية حيث تمثل العينة قطب الكاثود اما قطب الانود فمصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ (stainless steel) باستعمال فولتية 6 فولت وذلك لإزالة الدهون والمتعلقات العضوية من سطح العينة.

2- الغسل بالماء البارد عن طريق الغمر بالماء لإيقاف التفاعل للمحلول القاعدي.

3- تغطيس العينات في محلول مخفف من حامض الهيدروكلوريك 5% لمدة 15 دقيقة لازالة ما تبقى من المحلول القاعدي وتهيئة السطح لعملية الطلاء.

4- الغسل بالماء لنفس الغرض في الفقرة (2) .

5- تهيئة الخلية

تتكون خلية الطلاء من حوض على شكل مكعب ابعاده (20*20*20) سم ويحتوي على محلول الطلاء ومن قطبين مصنوعين من سبيكةمكونة من الرصاص مع 7% من الانتمون حيث يتم ربط العينة المراد طلائها بالقطب السالب اما القطب الموجب المصنوع من سبيكة الرصاص فيربط بمجهز القدرة الذي يعمل بالتيار المستمر (DC).

6- تهيئة المحلول المطلوب لعملية الطلاء:

يتكون المحلول من لتر من ماء مقطر اذيبت فيه المحاليل المبينة تراكيزها ادناه

1- يتكون المحلول الخاص بالطلاء بالقصدير من كلوريد القصدير 100غرام /لتر وهيدروكسيد الصوديوم 50 غرام /لتر و سيانيد الصوديوم 150غرام /لتر .

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

2- يتكون المحلول الخاص بالطلاء بالكروم من 250غرام /لتر حامض الكروميك و 1غرام /لتر حامض الكبريتيك.

7- تمت عملية الطلاء بعنصر القصدير و الكروم وفق ظروف الطلاء المبنية كما مبينة في جدول(3)

جدول (3) ظروف عملية الطلاء

العنصر	الزمن دقيقة	كثافة التيار امبير/سم^2	درجة الحرارة مئوية	الفولتية فولت
القصدير (Sn)	7	25	70	6
كروم(Cr)	7	7	25	6

اختبار التآكل

تم تهيئة الوسط المائي الذي سوف يتم فيه الغمر والمتكون من ماء البحر (3.5% NaCl) الذي يتكون من 35 غرام من ملح كلوريد الصوديوم مع 1000 مل من الماء المقطر. تم قياس نسبة الحامضية (pH) بواسطة (pH meter) وقد وجد إنها تساوي (6.9).

وتم اجراء فحص التآكل باستحدام جهاز المجهاد الساكن (potentiostat) نوع (MIab200of Bank Elec.) والمنشأ (Germany) عند معدل سرعة تساوي 3mv./sec باستعمال الخلية الكهروكيميائية المبينة في الشكل (3) ثلاثية الاقطاب،حيث يمثل القطب العامل عينة الفولاذ متوسط الكربون والقطب الثاني قطب البلاتين كقطب مساعد والقطب الثالث هو المرجع وهو قطب الكالوميل الذي يربط الى الخلية من خلال التوصيل المبين في الشكل (3) .

شكل (3) الخلية الكهروكيميائية

حيث يتم إمرار تيار كهربائي عند جهد يتم تحديده من جهد دائرة مفتوحه ومقارنته مع جهد المعدن في السلسلة الكلفانية وبعدها يتم غلق الدائرة ويمرر التيار بجهد +_ 100ملي فولت عن الجهد الذي تم تحديده وعند حدوث تغيير في الجهد يشير الى ان التآكل قد حدث ويتم قياس التيار

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

عند هذا الجهد وتطبيق طريقة تافل في حساب معدل التآكل .طبق هذا الاختبار على عينات المجموعة A,B,C في جدول رقم(2) بعد تثبيتها بحامل خاص بالجهاز بدون اسناد.

الحماية الكاثودية

تم جعل العينة كقطب كاثود اما قطب الانود (قطب التضحية) كان من الزنك الذي يقع عليه التآكل حيث انه يقع فوق الحديد بالسلسلة الكهروكيميائية بينما القطب المرجع كان الكالوميل المشبع واجري اختبار التآكل على عينات المجموعة (D) كما حصل في النماذج الاخرى بطريقة المسح الجهدي واستخراج منحنى تافل ومن ثم تيار التآكل.

الحماية باستخدام مثبط

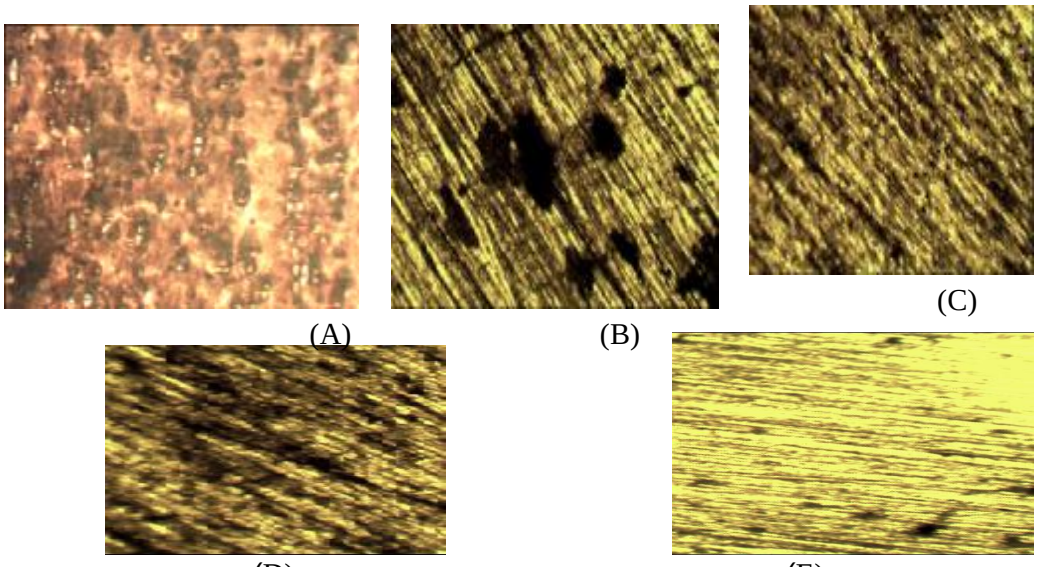
تم اعداد كمية اخرى من ماء البحر واضيفت لها الاملاح مجتمعة في الجدول رقم (4) وذلك لبيان تاثير هذة المواد معا على مقاومة التآكل لان المواد المضافة بشكل مفرد درست في بحوث سابقة وتم قياس الحامضية للمحلول الجديد فوجد انها تساوي 7.49 واجري الاختبار على عينات المجموعة (E) من الجدول رقم (2) باستخدام جهاز potentiostat وبنفس الخلية الموضحة بالشكل رقم (3) لبيان دور المثبط على معدل التآكل وان تراكيز المثبط مبينة في الجول رقم (4)

جدول رقم (4) يبين انواع وتراكيز الاملاح المستخدمة كمثبط

الملح المستخدم كمثبط	نتريت الصوديوم	سداسي فوسفات الصوديوم	مولبيدات الصوديوم	كبريتات الزنك المائية
التركيز ppm	5	80	80	5

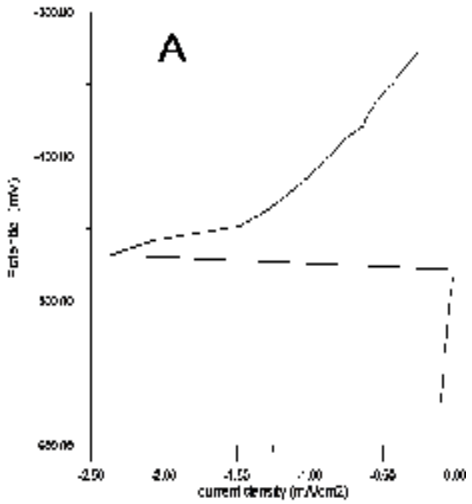
النتائج

الشكل(4) يبين صورالعينات A,B,C,D,E بعد عملية التآكل الكهروكيميائي ، الشكل (5) يبين نتائج اختبار التآكل الكهروكيميائي للفولاذ الكربوني المستخدم، الجدول (5) يبين نتائج التآكل الكهروكيميائي للفولاذ ومعدل التآكل.

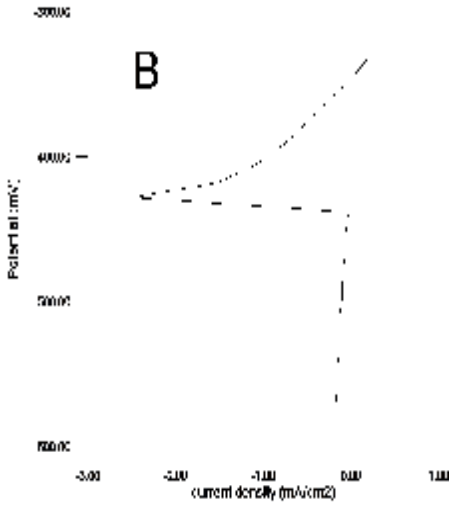


شكل رقم (4) يبين صور للعينات المستخدمة بعد عملية التآكل.

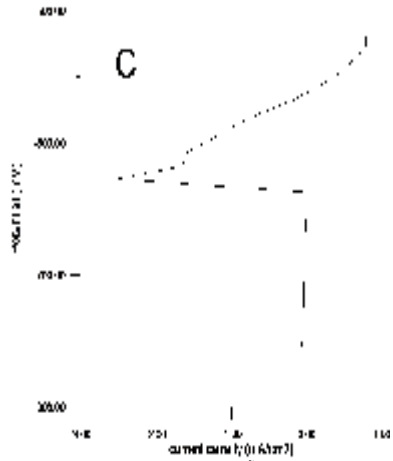
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



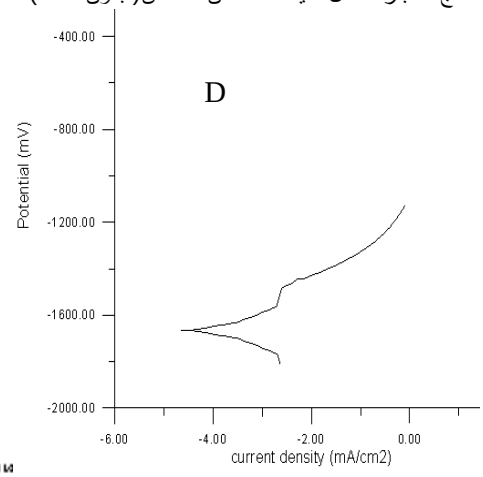
نتائج اختبار التآكل لعينات المعدن الاساس(بدون طلاء)



نتائج اختبار التآكل للعينات المطلية بالقصدير

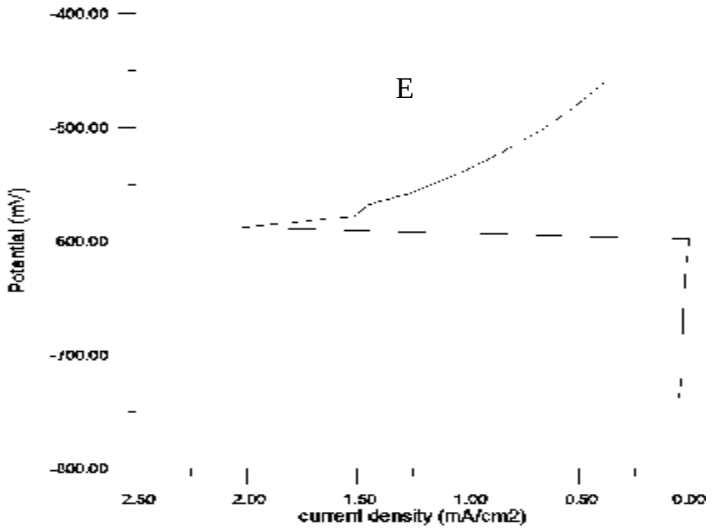


نتائج اختبار التآكل للعينات باستخام الحماية الكاثودية



نتائج اختبار التآكل للعينات المطلية بالكروم

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



نتائج اختبار التآكل للعينات باستخدام مثبط.

شكل رقم(5) العلاقة بين كثافة التيار والجهد لكافة مجاميع العينات المستخدمة في الاختبار

وبالاعتماد على معادلة تافل في حساب معدل التاكل والتي هي:

C.R (mpy) = 0.13 * Icorr * eq.wt / d .....(1)

وان النتائج مبينة في الجدول رقم (5).

جدول (5) يبين نتائج اختبار التآكل للفولاذ عالي الكربون بمختلف ظروف الحماية

Specimen sample	Icore (µA/cm2)	Ecore (mV)	Corrosion rate mpy
A	13.5	-409	5.94
B	7.97	-498.5	3.5068
C	11.79	-351.4	4.84
D	24.3	-862.4	10.692
E	4.3	-688.8	1.38248

مناقشة النتائج

من نتائج البنية المجهرية التي تم الحصول عليها والمبينة في الشكل رقم (2) وجد ان الطـــور السائد هو البرلايت والفرلايت الذي له ميل للاتحاد بالاوكسجين المذاب بماء البحر مولدا طبقـــة الاوكسيد المعروفة بالصدأ، وهذا واضح بصور التآكل لجميع العينات المتمثلـــة بالشـــكل (4)

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

حيث يلاحظ ان اعلى معدل تآكل كان في صورة العينة A واقل معدل في صورة العينة E المستخدم بها المثبط.

من النتائج التي تم الحصول عليها بعد اختبار التآكل الكهروكيميائي الذي اجري على الفولاذ متوسط الكربون المبين في الجدول (5) والذي اجري عند جهد ثابت للمعدن تم تحديده من دائرة مفتوحة كما اسلفنا وتيار متغير يتم زيادته عند كل 10 ملي فولت لبيان السلوك الكاثودي والانودي لغاية +_ 100 ملي فولت وقورن مع الجهد القياسي للفولاذ الذي كان جهده (_ 0.44 وللكروم _0.17 وللقصدير _0.14) فولت ومن منحنيات الاستقطاب في الشكل (5) التي تمثل العلاقة بين تيار التآكل وفرق الجهد ان هذة العلاقة هي علاقة خطية في بداية الامر تشير الى ان زيادة التيار عند جهد ثابت وان اي تغير في هذا الجهد يعطي دلالة على ان التآكل قد حدث ويتم تحديد تيار التآكل اعتمادا على طريقة تافل من خلال رسم مماسات للسلوك الكاثودي والانودي للمنحنيات المستحصلة من الجهاز المزود ببرنامج حاسوبي حيث ان نقطة تقاطع هذه المماسات ستمثل تيار التآكل.

المنحى الكاثودي يمثل تفاعلات الاختزال التي تتضمن اختزال الاوكسجين وفق التفاعل الآتي

$$O_2 + 4e + 2H_2O \longrightarrow 4OH^-$$

اما المنحني الانودي فيمثل تفاعلات التأكسد اي ذوبان المعدن في المحيط او الوسط

$$Fe \longrightarrow 2e + Fe^{+2}$$

وان طرق الحماية المتبعة في هذة الدراسة تعمل على تقليل ذوبان الحديد للحد من التآكل ولقد ادت كل طريقة من طرق الحماية دورها بشكل مختلف .

ومن الشكل (5) والجدول(5) وجد ان اقل معدل تآكل هو للعينة رقم E بسبب استخدام المثبط الذي هو مادة مؤكسدة تتاكسد مع سطح الفولاذ مانحة له طبقة اوكسيد عازلة تمنع ذوبان المعدن واتحاده بالاوكسجين وبالتالي توقف التفاعل او تقلله، يليها العينة B المطلية بالقصدير حيث اعطت معدل اقل مقارنة بالمعدن الاساس المتمثل بالعينة A بسبب جهد القصدير الذي يقع فوق الفولاذ بالسلسلة الكيميائية ، وكذلك العينة Cالتي تمثل الطلاء بالكروم اعطت معدل اقل مقارنة بالمعدن الاساس ولكن الكروم يقع تحت الفولاذ بالسلسلة الكهروكيميائية وجاء دوره هنا كطبقة وقاية قللت من معدل التآكل.

اما العينة D التي يمثل فيها القطب الموجب العامل فيه هو الزنك اعطى قيم تيار تآكل عالية قياسا الى العينة الاخرى وبالتالي فهذا يعني ان الاقتران سيؤدي الى جعل الحديد قطب سالب (كاثود) والزنك قطب موجب (انود).

الاستنتاجات

1-ساهمت طريقتي الطلاء واضافة المثبطات في تقليل معدل التآكل وبنسب متفاوتة

2-يتم احتيار طريقة الحماية الضرورية وفق خدمة الجزء المراد حمايتة.

3- يتم اضافة المثبطات بشكل دوري مما يتطلب جهد فني اكثر مما تتطلبه عمليات الحماية الاخرى.

4- رغم ان المثبطات تحقق اقل معدل تآكل لكن صعوبة التطبيق تقود الى استخدام طرق الطلاء.

المصـــــــــادر

[1] Alstom Bosch, “Corrosion of Carbon Steel” , keyto Metals Steel,2000.

[2] Dieter Landolt, “Corrosion And Surface Chemistry Of Metals”, EPFL Press, Italy, 2007

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

[3] Lowen Heim F.A "Electroplating ", Mc Graw-Hill , New York , 1978.

[4] دليل الطلاء الكهربائي للمعادن ، المعهد المتخصص للصناعات الهندسية ، دائرة التعامل الكيمياوي ص: 95-117، بغداد ، 1989. -8

[5] Praveen, B. M., Venkatesha, T. V. Arthoba Naik, Y. and Prashantha, K. "Corrosion Studies of Carbon Nanotubes–Zn Composite Coating" Surface & Coatings Technology 201, 2007, 5836-5842

[6] NERVANA A. ABD ALAMEER" Studying the Effect of Sodium Silicate as Inhibitor on the Corrosion Rate of Carbon Steel" F.T.T. scientific International conference In Najaf 2010

[7] Fatai Olufemi ARAMIDE "Corrosion Inhibitors of AISI/SAE Steel in a Marine Environment", Leonardo journal of sciences 15, 2009, P.47-52 .

[8] Samuel Afolabi "Synergistic Inhibition of Potassium Chromate and sodium Nitrite on mild Steel". Leonardo Electronics Journal of practices and Technologies 11, 2007, P.143-145

[9] William T. Scannell and Ali Sohanghpurwala" Cathodic Protection as a Corrosion Control Alternative" CONORR Inc. Concrete Repair Bulletin, July 1993

[10] Kim, D. K., Muralidharan, S., Ha, T. H., Bae, J. H., Ha, Y. C., Lee, H. G. and Scantlebury, J. D. "Electrochemical Studies on the Alternating Current Corrosion of Mild Steel under Cathodic Protection Condition in Marine Environments" Electrochemical Acta 51, 2006, 5259-5267.

[11] Article, "Carbon Steel- Corrosion Technology Laboratory" (file//H:KSC Corrosion Technology laboratory –Materials Selection.htm 3/11/2009.

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