

تأثير انتقال الحرارة والكتلة على تآكل الحديد في ماء يحتوي على كلوريد الصوديوم

د. خالد فرهود جسب

الجامعة التكنولوجية – قسم الهندسة الكيميائية

khalid_farhod@uotechnology.edu.iq

الخلاصة

المحلول يزيد من معدل انتقال الأوكسجين لسطح المعدن لخلق له لدوامات حول سطح المعدن (Convective Forces) بسبب الانحدار الكبير في درجة الحرارة عبر الطبقة المتاخمة للانتشار (δ_{θ}) وبالتالي يزيد من معدل تآكل الحديد إضافة إلى ارتفاع درجة حرارة سطح المعدن والحد الكبير من تكون الطبقات الواقية على سطح المعدن^(٣٢-٣٧) وكلها عوامل محرصة لزيادة التفاعلين الأنودي والكاثودي.

طريقة الاختبار

تم تصميم وبناء جهاز كامل كما في الصورة (١). يتألف الجهاز من جزئين رئيسيين، لهيكل الإسناد ومجموعة القطب القرصي الدوار وهذا يتكون من:

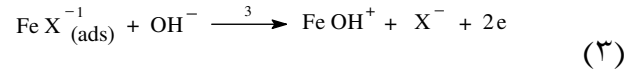
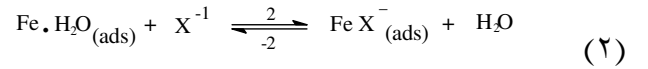
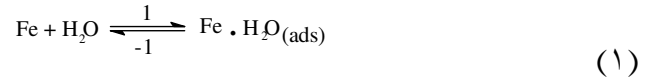
- القرص الدوار (Rotating Disc) وعمود القطب (Electrode Shaft).
 - عمود التحريك (Driving Shaft) ووحدة الحمل (Bearing Unit) وحلقة الانزلاق (Slip-Ring Unit).
 - وحدة القيادة (Driving Unit) وتشمل ماطور (Motor) ومغير السرعة (Speed Controller).
 - الوحدات المساعدة (Auxiliary Units) للتزويد والاستدلال على انتقال الحرارة.
- وللاطلاع على التفاصيل وابعاد كل وحدة مستخدمة يمكن مراجعة المصدرين^(٣٧،٣٨).
- في الدراسة استخدم حديد له المكونات التالية (مقاسه جزء من المليون (PPM)

N	Cr	Cu	Si	C	S
886	178	1065	N.D	0.36	0.24

المقدمة

يبين جميع الدراسات السابقة أن معدل تآكل الحديد في المحاليل المهواة غير مكسبه السلبية للحديد (محاليل حامضية أو حاوية على أيونات الكلوريد) تزداد بزيادة معدل جريان المحاليل وذلك لتناقص ثخن الطبقة المتاخمة للانتشار (δ_{θ}) وبالتالي زيادة معدل وصول الأوكسجين والأيونات التآكلية (aggressive ions) إلى سطح المعدن وكذلك الحد من تجمع نواتج التآكل (corrosion products) على سطح المعدن والتي تعمل على إعاقة تآكل الحديد في الكثير من الأحيان^(٧-١). وفي دراسات لتآكل الحديد في الماء المقطر والماء الخالي من أيونات الكلور ذو العسرة القليلة تحت ظروف انتقال الكتلة (معدل الجريان ٢٦٠-٢٠٠٠ قدم / دقيقة) فقد تكونت طبقة واقية على سطح الحديد حدث من تآكله ولنفس المحاليل في الظروف الساكنة فقد تآكل الحديد لعدم وصول كمية كافية من الأوكسجين على سطحه لتكسبه السلبية حيث توقف التآكل عند ابتداء المحلول بالجريان ضمن المعدلات المذكورة أعلاه. وبإضافه ١ غم / لتر كلوريد الصوديوم إلى الماء المقطر فقد ظهر تآكل عام على سطح الحديد تحت ظروف الجريان حيث ازداد معدل التآكل بزيادة معدل الجريان وبزيادة تركيز كلوريد الصوديوم حتى ٤٠ غم / لتر^(١٥-١٣).

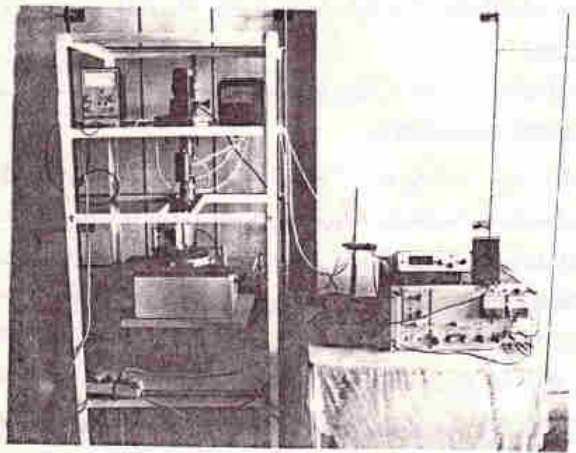
لقد ذكر كل من Cafferty and Hackemen^(١٦) و Kue and Nobe^(١٧) أن أيونات الكلوريد في المحاليل الحامضية تمتاز على سطح الحديد لتغير آلية ذوبانه عن تلك المقترحة من قبل Bockris & Kelly^(١٨،١٩) و Heusler^(٢٠) و Felloni^(٢١) و Voight^(٢٢) لتتبع الآلية المقترحة من قبل Lorenz وجماعته^(٢٣،٢٤،٢٥) وكالتالي:



(Rate determining step)

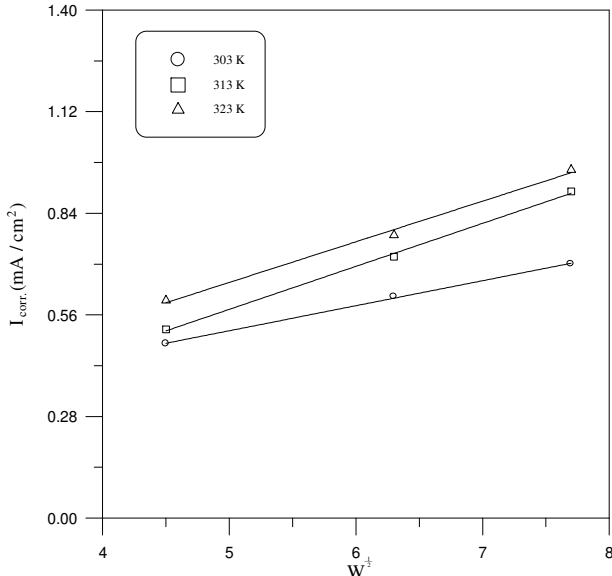
(حيث يمثل X⁻ أيون الكلوريد المتمز على سطح الحديد)

أن الخطوة المحددة لتآكل الحديد (تفاعل (٣)) وكذلك جميع الآليات المقترحة لتآكل الحديد هي محكومة بانتقال الشحنة وبالتالي فهي محكومة بانتقال طاقة التنشيط (أي تحت تأثير الاستقطاب التنشيطي Activation Polarization) وبذلك يزداد معدل التفاعل بزيادة درجة الحرارة (درجة الحرارة الإجمالية للمحلول أو درجة حرارة سطح المعدن Bulk or Interfacial Temperature) ولا يوجد تأثير لانتقال الكتلة (Mass Transfer) على آلية تآكل الحديد ولكن معدل تآكل الحديد يزداد بازدياد معدل وصول العناصر المختزلة على سطح المعدن وبالذات الأوكسجين عندما تكون قيمة الدالة الحامضية بين ٤-١٠ ($4 \leq PH \leq 10$)^(٢٦). أن وجود انتقال الحرارة من سطح المعدن إلى



الشكل (١) صورة فوتوغرافية للجهاز التصنيعي.

تم قياس درجة حرارة سطح النموذج الذي يبعث حرارة للمحلول باستعمال ثلاث مزدوجات حرارية (مثبتة على قضيب الفولاذ الذي لا يصدأ) تمت معايرتها بقياس تغير الفولتية مع درجة الحرارة بين ٢٩٣-٣٩٣ ك حيث يرتبط كل مزدوج بمفتاح كهربائي ومن ثم بحلقة انزلاق وبعدها بوحدة توصيل كهربائي (Brush Unit) و تم بغلفانوميتر (نوع AOIP G 323 A).



الشكل (٢) كثافة تيار التآكل للحديد في المحلول الملحي (٠.٢ غم / لتر كلوريد الصوديوم) تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة.

تشير العلاقات الخطية بين كثافة تيار التآكل والجذر التربيعي للسرعة الزاوية أن معدل التآكل محكوم بمعدل انتشار الأوكسجين وذلك واضح من الجدول (١) إذ زيادة السرعة الزاوية يقل ثخن الطبقة المتاخمة للانتشار متيحة فرصاً أعلى لوصول الأوكسجين على سطح الحديد^(٧-١)، وبثوت السرعة الزاوية وزيادة درجة الحرارة نلاحظ زيادة في معدل التآكل وذلك لتأثر كل من التفاعل الأنودي و الكاثودي بدرجة الحرارة إذ أن زيادتها تزيد من قيمة معامل انتشار الأوكسجين (D) وتقلل من كثافة ولزوجة المحلول مما يرافقها نقصان في ثخن الطبقة المتاخمة للانتشار (δ_o) أما على التفاعل الأنودي فنلاحظ من الجدول (١) أن زيادة درجة الحرارة تزيد من قيمة ميل تافل الأنودي (b_a) كذلك لوحظ في المعادلة (٣) أن الخطوة المحددة لتآكل الحديد تتضمن انتقال للشحنة وهي دالة لدرجة الحرارة فقط.

مما سبق نلاحظ أن زيادة السرعة الزاوية (بثوت درجة الحرارة) تزيد من معدل التآكل بسبب زيادة معدل انتقال الأوكسجين ولا تؤثر على المعاملات الكيناتيكية للحديد فقد وجدت قيم ثابتة لميل تافل الأنودي بثتوت درجة الحرارة وتغير السرعة الزاوية. أما زيادة درجة الحرارة فهي محرضة لكل من التفاعلين الأنودي و الكاثودي نحو الزيادة.

لقد أشار روز وجونس (٦) أن معدل تآكل الفولاذ الطري في حامض الكبريتيك المهورى (١ع) يتغير مع Re^{0.5} للجريان الطبقي و Re للجريان الاضطرابي وحيث أن طبيعة الجريان باستخدام القرص الدوار طبقي (حتى Re = 2.6 × 10⁵) لذا نجد توافق بين المعادلات (٥-٧) مع الأدبيات السابقة^(٧-٦).

٢-١ ظروف انتقال الحرارة (Heat Transfer Conditions)

تم قياس معدل التآكل تحت ظروف انتقال الحرارة (معدل تدفق الحرارة ٥٨.٥ كيلو واط / م^٢) وظروف انتقال الكتلة لقيم مختلفة من Re والدرجات الإجمالية للمحلول (T_b) باستخدام الاستقطاب الخطي كما مبين في الأشكال (٧-٩) في الملحق) وأعطيت النتائج مع درجة حرارة سطح المعدن في الجدول (٢).

جدول (٢) قيم تيار التآكل I_{corr} , mA / cm² للحديد في المحلول الملحي (٠.٢ غم / لتر كلوريد الصوديوم) تحت ظروف انتقال الحرارة (درجة حرارة المعدن T_i بين اقواس ، كلفن).

تمت السيطرة على درجة حرارة المحلول الإجمالية باستخدام حمام مائي بدقة ± ٠.١ م^٢ (نوع HAAKE W 13). أجريت قياسات الاستقطاب باستخدام المجهاد الساكن (Potentiostat) نوع (TACUSSEL PRT 40-1X).

تسلط فولتية مقدارها -٨٠٠ ملي فولت (مسندة إلى قطب الكالوميل (S.C.E.) وثبتت السرعة الزاوية بواسطة منظم السرعة وتم معايرة منظم السرعة باستخدام مقياس السرعة (TACHOMETER) ويغير الجهد المسلط بمعدل ٢٠ ملي فولت بالدقيقة حيث تقاس الفولتية بمقياس الفولتية الرقمي (TACUSSEL MVN 83) وكذلك قيم التيار الكهربائي بمتعدد القياسات الكهربائي الرقمي (SCHWILLE SDM 250) المرتبطة بالمجهاد الساكن. أما بالنسبة للتجارب في حالة انتقال الحرارة فقد ثبت معدل التدفق الحراري عند قيمة مقدارها ٥٨.٥ كيلو واط / م^٢ ويسلط جهد مقداره -١ فولت ويحرك القطب القرصي الدوار بالسرعة المطلوبة حتى الوصول الى الاستقرار الحراري (عند ثبوت قراءات المزدوجات الحرارية) ثم تجري بعدها التجربة.

هنيئاً سطح القطب القرصي الدوار باستخدام ورق كربيد السليكون مقياس ٣٢٠ ثم ٨٠٠ ثم ١٠٠٠ بوجود مجرى مائي لمنع ارتفاع درجة حرارة النموذج ثم يغسل النموذج بالماء المقطر ثم البنزين النقي ثم الأسيتون ويترك النموذج لمدة ساعة في المجفف قبل استخدامه في التجربة.

استخدمت طريقة الاستقطاب الخطي (Linear Polarization) (٣٥،٣٦) لحساب معدل التآكل mA / cm² حسب المعادلة التالية:

$$I_{corr} = \frac{b_a}{2.303} \left(\frac{dI}{d\eta} \right)_{\eta=0} \quad (4)$$

وذلك لتأثير تيار التآكل بصورة رئيسية بكثافة التيار الحدي لتفاعل اختزال الأوكسجين.

النتائج و المناقشة

١- معدل التآكل

١-١ ظروف ثبوت درجة الحرارة (Isothermal Conditions)

تم حساب معدل التآكل (I_{corr}) باستخدام الاستقطاب الخطي كما مبين في الأشكال (٣-١ في الملحق) وتطبيق المعادلة (٤) حيث قيست قيم ميل تافل (Tafel Slope b_a) الأودية بمختلف درجات الحرارة ومعدلات الجريان المدروسة وذلك مبين في الأشكال (٤-٦ في الملحق) وأعطيت النتائج في الجدول (١) جدول ١- قيم تيار التآكل I_{corr} , mA / cm² وميل تافل الأنودي b_a , mV / Decade (بين اقواس) ، للحديد في ماء يحتوي ٠.٢ غم / لتر كلوريد الصوديوم) تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة.

درجات الحرارة الإجمالية ، كلفن

RPM	٣١٣	٣٠٣	٢٢٣
٢٠٠	٠.٥٤١ (٨٠)	٠.٥٠١ (٧٧)	٠.٥٩٣ (٨٢)
٣٨٦	٠.٧٢٣ (٨٠)	٠.٦٤٧ (٧٧)	٠.٧٧١ (٨٢)
٥٨٦	٠.٨٦٨ (٨٠)	٠.٧٢٩ (٧٧)	٠.٩٤٨ (٨٢)

ويرسم كثافة تيار التآكل مقابل الجذر التربيعي للسرعة الزاوية كما مبين في الشكل (٢).

تم استحصال علاقة خطية بينهما يمكن تمثيلها بالمعادلات التالية: عند درجة الحرارة ٣٠٣ كلفن

$$I_{corr} = 0.237 + 0.064 W^{1/2} \quad (5)$$

عند درجة الحرارة ٣١٣ كلفن

$$I_{corr} = 0.289 + 0.068 W^{1/2} \quad (6)$$

عند درجة الحرارة ٣٢٣ كلفن

$$I_{corr} = 0.350 + 0.072 W^{1/2} \quad (7)$$

درجات الحرارة الإجمالية للمحلول، كلفن

٣٢٣	٣١٣	٣٠٣	RPM
(٣٥٥.٦١) ٠.٨٢٥	(٣٤٠.٢٣) ٠.٦٧٨	(٣٢٦.٩٤) ٠.٥٥٠	٢٠٠
(٣٤٠.٤٥) ٠.٩٩٠	(٣٢٧.٣٨) ٠.٨٢٩	(٣١٦.٩٩) ٠.٦٤٧	٣٨٦
(٣٣٤.٥٩) ١.١٤٨	(٣٢٥.٠٠) ٠.٩١٣	(٣١٣.٤٨) ٠.٧٧٩	٥٨٦

٢- جهد التآكل
١-٢ مقدمة : إن وجود الأوكسجين في المحلول يحرف جهد التآكل إلى الجهة النبيلة في ظروف ثبوت درجة الحرارة وظروف انتقال الحرارة كما هو موضح تخطيطياً في الشكل (٣).
عند جهد التآكل يتساوى كل من التيار الأنودي و التيار الكاثودي واللذين بدورهما يساويان تيار التآكل.

$$i_a = |i_c| = i_{corr} \quad (8)$$

وبوجود الأوكسجين

$$i_c = i_H + i_{O_2} \quad (9)$$

لذا

$$i_a = |i_H + i_{O_2}| = \bar{i}_{corr} \quad (10)$$

يعبر عن جهد التآكل في المحلول الخالي من الأوكسجين بالمعادلة التالية^(٢١):

$$\eta = E_{corr} - E_{Fe}^o = b_a \log \frac{i_{corr}}{i_{o,Fe}} \quad (11)$$

وللتعبير عن جهد التآكل بوجود الأوكسجين في المحلول نعوض المعادلة (١٠) في المعادلة (١١) حيث $i_{O_2} = i_L$:

$$\bar{E}_{corr} - E_{Fe}^o = b_a \log \frac{(i_H + i_L)}{i_{o,Fe}} \quad (12)$$

حيث تمثل \bar{E}_{corr} و \bar{i}_{corr} جهد التآكل وتيار التآكل بوجود الأوكسجين على التوالي و E_{corr} و i_{corr} جهد التآكل وتيار التآكل في المحاليل غير الحاوية على الأوكسجين المذاب وحيث إن وجود الأوكسجين المذاب يحرف جهد التآكل نحو الجهة الموجبة لذا:

$$\bar{E}_{corr} - E_{Fe}^o = (\bar{E}_{corr} - E_{corr}) + (E_{corr} - E_{Fe}^o) \quad (13)$$

وبتعويض المعادلة (١٣) في المعادلة (١٢) نحصل على:

$$\bar{E}_{corr} - E_{corr} = \Delta E_{corr} = b_a \log \frac{(i_H + i_L)}{i_{o,Fe}} - b_a \log \frac{i_{corr}}{i_{o,Fe}} \quad (14)$$

حيث تمثل ΔE مقدار الإزاحة في الجهة الموجبة لجهد التآكل بسبب وجود الأوكسجين لذا:

$$\Delta E = b_a \log \frac{i_H + i_L}{i_{corr}} \quad (15)$$

وبحالة $i_H \gg i_L$ (كما هو في المحاليل المعتدلة وعند زيادة) لذا يمكن إهمال قيمة i_L لتصبح المعادلة (١٥) كالتالي:

$$\Delta E_{corr} = b_a \log \frac{i_L}{i_{corr}} = b_a (\log i_L - \log i_{corr}) \quad (16)$$

لذا

$$\Delta E_{corr} = \bar{a} + b_a \log i_L \quad (17)$$

حيث

$$\bar{a} = -b_a \log i_{corr}$$

ثابتة بثبوت درجة الحرارة وقيمة الدالة الحامضية وتعويض قيمة i_L بالمعادلة المشتقة من قبل ليفنج^(٣٧) للقرص الدوار في

المعادلة (١٧) نحصل على مايلي:

$$\Delta E_{corr} = \bar{a} + b_a \log \left(0.62 Z F D^{\frac{2}{3}} \cdot v^{\frac{1}{6}} \cdot W^{\frac{1}{2}} \cdot C_{O_2} \right) \quad (18)$$

$$= \bar{a} + b_a \log \left(0.62 Z F D^{\frac{2}{3}} \cdot v^{\frac{1}{6}} \cdot C_{O_2} \right) + \frac{b_a}{2} \log W$$

وبثبوت درجة الحرارة يكون المقدار

$$b_a \log \left(0.62 Z F D^{\frac{2}{3}} \cdot v^{\frac{1}{6}} \cdot C_{O_2} \right) \quad \text{ثابتاً لذا:}$$

من الجدول (٢) نلاحظ أن انتقال الحرارة من سطح المعدن إلى المحلول يزيد من معدل التآكل مقارنة بالجدول (١) ولتحديد المتغيرات التي زادت من معدل التآكل تم حساب تغير معدل التآكل مع تغير درجة الحرارة الإجمالية للمحلول (ΔT_b) لظروف ثبوت درجة الحرارة وكذلك تغير معدل التآكل مع تغير درجة الحرارة الإجمالية للمحلول ($\Delta T_{b,H}$) وتغير درجة حرارة سطح المعدن (ΔT_i) وذلك تحت ظروف انتقال الحرارة وقدمت النتائج في الجدول (٣).

جدول (٣) تغير معدل التآكل مع تغير درجة الحرارة الإجمالية والسطحية تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة وانتقال الحرارة ($\Delta I_{corr} / \Delta T$, mA / K)

ظروف انتقال الحرارة	ظروف ثبوت درجة الحرارة	RPM
$\Delta I_{corr} / \Delta T_i$	$\Delta I_{corr} / \Delta T_b$	$\Delta I_{corr} / \Delta T_b$
٠.٠٠٩٢	٠.٠١٣٢٥	٠.٠٠٤٦
٠.٠١٤٦	٠.٠١٧١٥	٠.٠٠٦٢
٠.٠١٧٤٨	٠.٠١٨٤٥	٠.٠١٠٩٥

وبملاحظة الجدول (٣) نجد ازدياد تغير معدل التآكل مع درجة الحرارة الإجمالية $\Delta I_{corr} / \Delta T_b$ (لظروف ثبوت الحرارة) مع زيادة معدل الجريان وبالتالي زيادة معدل وصول الأوكسجين على سطح المحلول لجميع الظروف المدروسة وبمقارنة القيم مع ازدياد تغير معدل التآكل مع درجة الحرارة الإجمالية (بظروف انتقال الحرارة) ، $\Delta I_{corr} / \Delta T_{b,H}$ ، نلاحظ أن وجود انتقال الحرارة أعطى زيادة كبيرة في تغير معدل التآكل مشيراً إلى زيادة معدل انتقال الأوكسجين لسطح المعدن مقارنة بظروف ثبوت درجة الحرارة لجميع الظروف المدروسة.

وبمقارنة $\Delta I_{corr} / \Delta T_b$ (ظروف ثبوت درجة الحرارة) مع تغير معدل التآكل مع درجة حرارة سطح المعدن $\Delta I_{corr} / \Delta T_i$ (لظروف انتقال الحرارة) نجد أن انتقال الحرارة يحرض التفاعل نحو الزيادة أكثر من الزيادة الحاصلة في درجة حرارة سطح المعدن.

وبمقارنة النسبة ($HeatTransfer$) $\frac{\Delta I_{corr} / \Delta T_i}{\Delta I_{corr} / \Delta T_b}$ ($Isothermal$) نجد أن:

$$\text{عند RPM} = 386.200$$

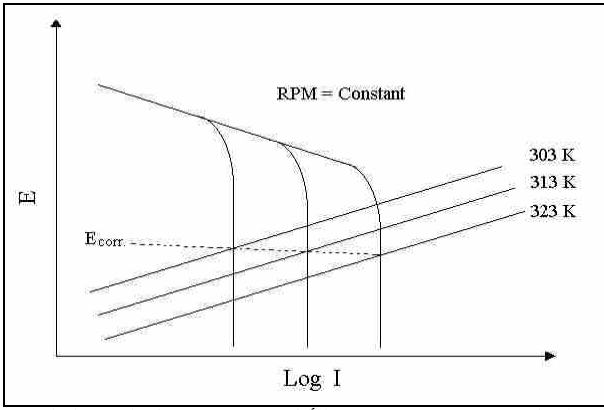
$$\frac{\Delta I_{corr} / \Delta T_i}{\Delta I_{corr} / \Delta T_b} \geq 2$$

$$\text{عند RPM} = 586$$

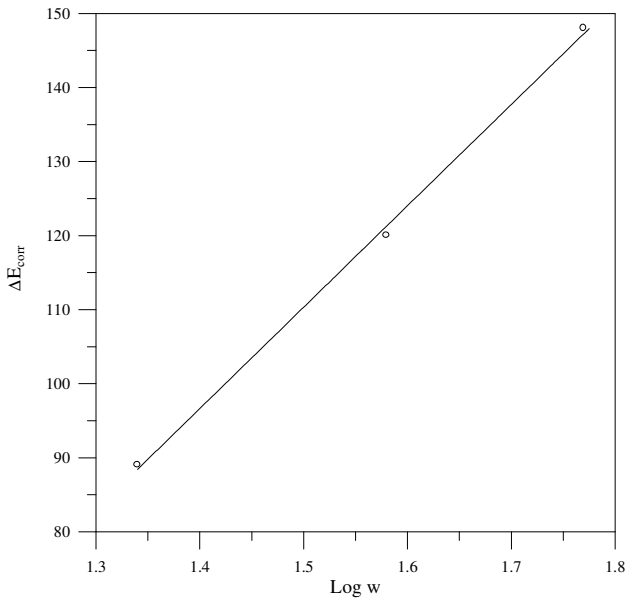
$$\frac{\Delta I_{corr} / \Delta T_i}{\Delta I_{corr} / \Delta T_b} \geq 1.59$$

أي عند السرعة العالية ($RPM = 586$) نجد تناقص نسبة الزيادة في معدل التآكل ويمكن أن يعزى ذلك إلى تناقص درجة حرارة سطح المعدن T_i بزيادة معدل الجريان (انظر جدول ٣) أي تناقص قيمة انحدار درجة الحرارة ΔT ($\Delta T = T_i - T_b$) في الطبقة المتاخمة لانتقال الحرارة (Thermal Boundary Layer) (δ_h) إذ كلما ازدادت قيمة انحدار درجة الحرارة كلما ازدادت فرص تكون دوامات عند سطح المعدن من شأنها تزيد معدل انتقال الأوكسجين وتقلل فرص تجمع نواتج التآكل على سطح المعدن معرضة مساحة أكبر من سطح معدني عاري إلى الوسط التآكلي.

مما سبق – تشير النتائج المعطاة في الجداول (٣-١) إن معدل تآكل الحديد في الظروف المدروسة دالة لتغير عدد رينولدز وتغير درجة الحرارة الإجمالية أو درجة حرارة سطح المعدن.



الشكل (٤) يوضح تغير جهد التآكل عند ثبوت معدل التدفق الكتلي



الشكل (٥) تغير جهد التآكل مع لوغاريتم السرعة الزاوية للقطب القرصي

لو افترضنا عدم وجود تداخل بين جهود الجزء مكتسب السلبية على سطح الحديد والجزء المتآكل من سطح الحديد لاحتجنا إلى حوالي ٧٥٠٠ دورة في الدقيقة لاستحصال نفس الحديدان في جهد التآكل بسبب اختزال الأوكسجين، وبدراسة لاحقة سيتم مناقشة اختزال الأوكسجين على سطح الحديد عند اكتساب سطحه لطبقة سلبية جزئية (Partial Passivation) وبحالة عدمها حيث وجد إن ثلثي سطح المعدن قد اكتسب طبقة سلبية في دراستنا الحالية.

مما سبق نلاحظ إن جهد التآكل دالة مباشرة لتغير عدد رينولد وتغير درجة الحرارة حيث تؤدي زيادة عدد رينولد إلى حيود الجهد نحو الجهة النبيلة وان وجود الطبقة السلبية الجزئية أدى إلى تعذر تطبيق المعادلة المشتقة بين تغير جهد التآكل ولوغاريتم السرعة الزاوية.

٢-٣ ظروف انتقال الحرارة

كانت قيم جهد التآكل المقاسة تحت ظروف انتقال الحرارة والكتلة مساوية تلك تحت ظروف ثبوت الحرارة (جدول ٤) مؤكدة التحريض الحاصل في التفاعل الأنودي و الكاثودي بسبب زيادة درجة حرارة سطح المعدن.

$$\Delta E_{corr} = \bar{a} + \frac{b_a}{2} \log W \quad (19)$$

لذا يثبت درجة الحرارة يكون الحديدان بجهد التآكل إلى الجهة الموجبة (بسبب وجود الأوكسجين) دالة خطية مع لوغاريتم السرعة الزاوية للقرص الدوار وثابت التناسب (ميل الخط المستقيم) يساوي نصف قيمة ميل تافل الأنودي.

٢-٢ جهد التآكل بظروف ثبوت درجة الحرارة

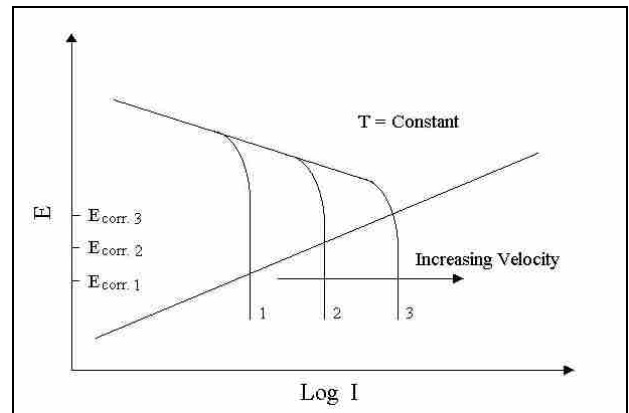
تم تحديد قيم جهد التآكل بواسطة متعددة القياسات الرقمي. أعطيت النتائج في الجدول (٤) لمختلف معدلات انتقال الكتلة ودرجات الحرارة المدروسة. الجدول (٤) جهد التآكل للحديد تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة ملي فولت (SCE).

درجات الحرارة الإجمالية ، كلفن

٣٢٣	٣١٣	٣٠٣	$W^{\frac{1}{2}}$	R.P.M.
٣٠٠-	٣٠٠-	٣٠٠-	٠	٠
٢١٠-	٢١٠-	٢١٠-	٤.٥٧٦	٢٠٠
١٨٠-	١٨٠-	١٨٠-	٦.٣٥٨	٣٨٦
١٥٠-	١٥٠-	١٥٠-	٧.٨٣٤	٥٨٦

من الجدول أعلاه نلاحظ عند ثبوت درجة الحرارة ينحرف جهد التآكل إلى القيم النبيلة بزيادة عدد رينولد وذلك لزيادة قيم التيار الحدي لاختزال الأوكسجين (حيث إن ميل تافل الأنودي b_a ثابت) وذلك متوافق مع الأدبيات^(٣٨,٣٩,٤٠) وقد وضح ذلك في الشكل (٣). عند ثبوت عدد رينولد و زيادة درجة الحرارة الإجمالية نلاحظ ثبوت قيم جهد التآكل وذلك للتحريض الحاصل في السلوك الأنودي و الكاثودي وذلك موضحاً تخطيطاً في الشكل (٤). حيث إن زيادة درجة الحرارة تزيد من قيمة تيار التبادل الأنودي $i_{o,a}$ وميل تافل b_a (انظر الجدول ١) وكذلك تحرف جهد العكس للحديد نحو الجهة الكاثودية $E_{rev, Fe/Fe^{+2}}^o$ بالإضافة إلى ازدياد قيمة التيار الحدي لاختزال الأوكسجين بسبب زيادة قيمة معامل انتشار الأوكسجين ونقص ثخن الطبقة المتاخمة للانتشار (δ_d).

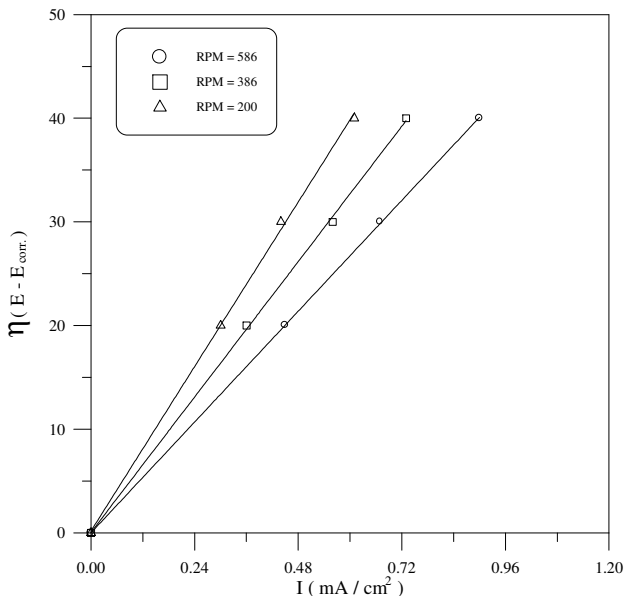
ويرسم تغير جهد التآكل مع لوغاريتم السرعة الزاوية للقطب القرصي (الشكل ٥) نلاحظ زيادة يمكن تمثيلها خطياً مشيرة إلى إن اختزال الأوكسجين حاصل في ظروفه الحدية كما نجد إن ميل الخط يساوي حوالي ضعف قيمة b_a وبمراجعة المعادلة (١٩) نجد أن الميل يجب أن يساوي نصف قيمة وتجدد الإشارة هنا إلى حصول سلبية جزئية على سطح المعدن (Partial Passivation) أدت إلى تغيير حالة سطح المعدن وإدخال متغيرات غير معتبرة في المعادلة (١٩).



الشكل (٣) يوضح تغير جهد التآكل عند ثبوت درجة الحرارة

- 32- A.O. Fisher and F.L. Whitney, *ibid*, 15, 257t (1959).
- 33- T.K. Ross, B., *Corros. J.*, 2, 131 (1967).
- 34- A.G. Parshin, V.S. Pakhomov and Ya. M. Kolotyркиn, *Corros. Sci.*, 22, 845 (1982).
- 35- M. Stern and Geary, *J. Electrochim. Soc.*, 104, 56 (1957).
- 36- R. Bandy, *Corros. Sci.*, 20, 1017 (1988).
- 37- V.H. Levich, *Physicochemical Hydrodynamics*, Prentice-Hall, Engle wood Cliffs. N.J. (1962).
- 38- R.H. Hausler, *Corrosion*, 33, 117 (1977).
- 39- J. Postlethwaite, E. Fradzige and S. Arullah, *ibid*, 34, 85 (1978).
- 40- U.R. Evans, *Corrosion and Oxidation of Metals*, Arnold, London (1977).

الملاحق

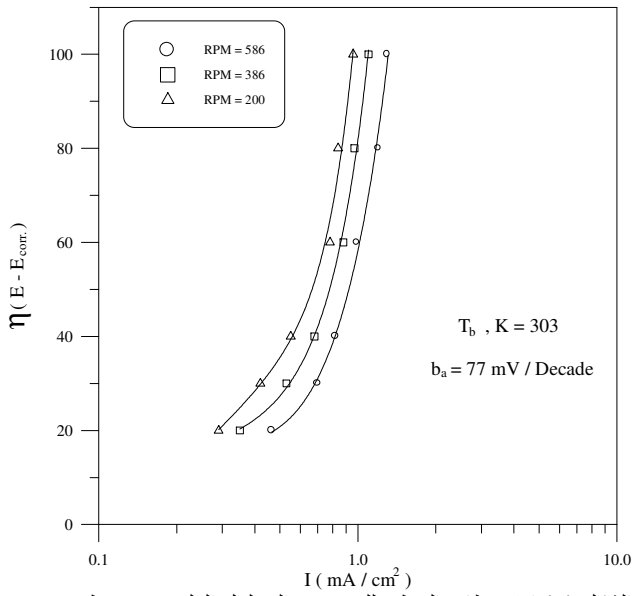


الشكل (١) الاستقطاب الخطي للحديد في محلول ملحي تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة (٣٠٣ كلفن)

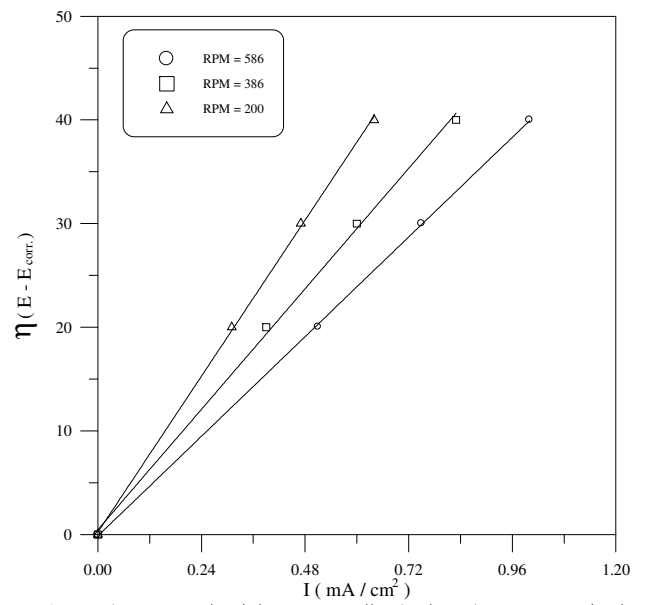
Reference

المصادر

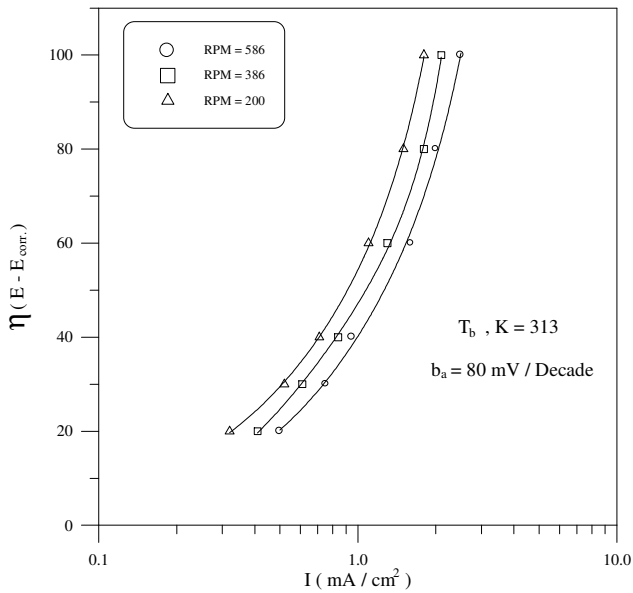
- 1- J.N. Friend and J.H. Dennett, *J. Electrochem. Soc.*, 121, 41, (1922).
- 2- W.G. Whitman, R.P. Russell, C.M. Welling and J.D. Cochrane, *Industrial and Engineering Chemistry*, 15, 672 (1923).
- 3- I.N. Putilova, S.A. Balezin and V.P. Barranik, *Metallic Corrosion Inhibitors*, P.32, Pergamon Press, London (1960).
- 4- A. Frumkin, *Phys. Chem.*, 59, 807 (1955).
- 5- T.K. Ross, G.C. Wood and I. Mahmud, *J. Electrochem. Soc.*, 113, 334 (1966).
- 6- T.K. Ross and D.H. Jones, *J. Appl. Chem.*, 12, 314 (1962).
- 7- Z. Zembura, *Corros. Sci.*, *, 703 (1968).
- 8- J.N. Friend, *J. Chem. Soc.*, 119, 933 (1921).
- 9- V.R. Evans, *Ind. Eng. Chem.*, 17, 370 (1925).
- 10- H.O. Forrest, B.E. Roetheli, R.H. Broun and G.L. Cox, *ibid*, 22, 1197 (1930), Pages 330, 650, 1010 and 1012 (1931).
- 11- E.C. Groesbeck and L.J. Waldron, *Proc. Amer. Soc. Test Mater.*, 31, 286 (1931).
- 12- F. Wormwell, T.J. Nurse, and H.C. Ison, *J. Iron Steel Industry.*, 160, 247 (1948).
- 13- J.N. Friend, *J. Chem. Soc.*, 123, 2996 (1923).
- 14- U.R. Evans and T.P. Hoar, *Proc. Roy. Soc., London*, 137, 345 (1932).
- 15- F. Wormwell, T.J. Nurse, and H.C. Ison, *J. Appl. Chem.*, 3, 275 (1953).
- 16- E. Mc Cafferty and Norman Hackerman, *J. Electrochem. Soc.*, 119, 999 (1972).
- 17- H.C. Kuo and Ken Nobe, *ibid.*, 125, 853 (1978).
- 18- E.J. Kelly, *ibid.*, 112, 124 (1965).
- 19- J.O.M. Bockris., D. Drazic and A.R. Despic, *Electrochim. Acta*, 4, 325 (1961).
- 20- K.E. Heusler, *Z. Elektrochem.*, 62, 529 (1958).
- 21- L. Felloni, *Corrosion Sci.*, 8, 133 (1968).
- 22- C. Voight, *Electrochim Acta*, 13, 2037 (1968).
- 23- W.J. Lorenz, H. Yamaoka and H. Fisher, *Phys. Chem.*, 67, 932 (1963).
- 24- W.J. Lorenz, *Corrosion Sci.*, 5, 121 (1965).
- 25- W.J. Lorenz, G. Eichkorn, L. Albert and H. Fisher, *Electrochim. Acta*, 13, 183 (1968).
- 26- H. Uhlig, *Corrosion and Corrosion Control*.
- 27- A.A. Jarall, Ph.D. Thesis, University of Manchester (1984).
- 28- V. Ashworth, G.E. Thompson and S.H. Alwash, *Corros. Sci.*, 27, 383, (1987).
- 29- A.A. Wragg, *Electrochim. Acta.*, 18, 619 (1973).
- 30- D.T. Porter, M. Donimirska and R. Wall, *Corros. Sci.*, 8, 833 (1968).
- 31- H. Kerst, *Corrosion*, 16, 523t (1960).



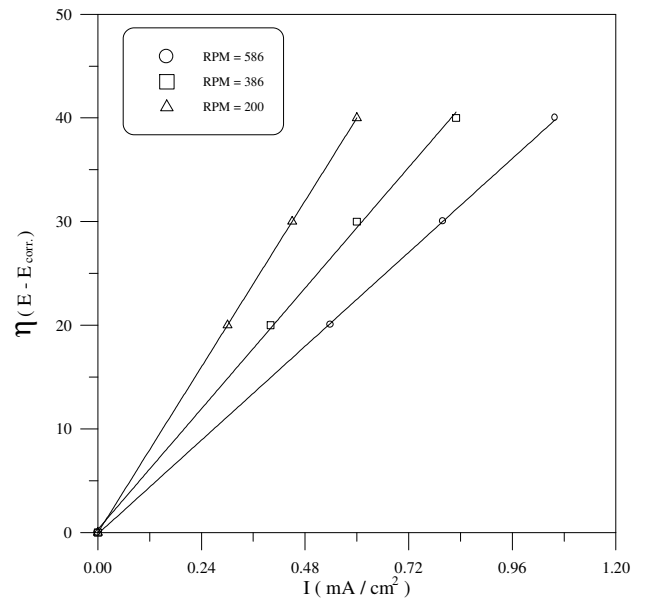
الشكل (٤) الاستقطاب الخطي للحديد في المحلول الملحي تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة (٣٠٣ كلفن)



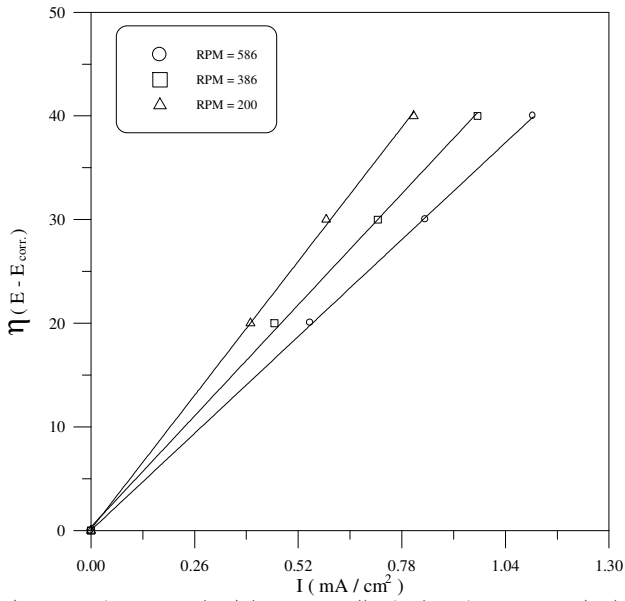
الشكل (٢) الاستقطاب الخطي للحديد في محلول ملحي تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة (٣١٣ كلفن)



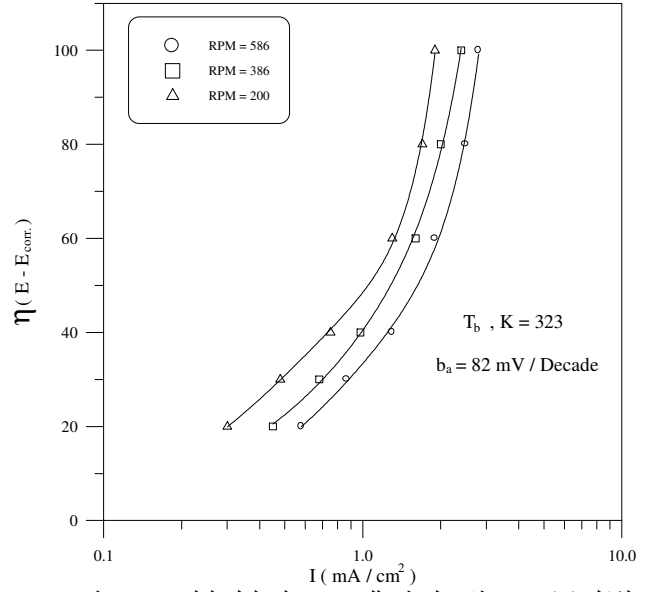
الشكل (٥) الاستقطاب الخطي للحديد في المحلول الملحي تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة (٣١٣ كلفن)



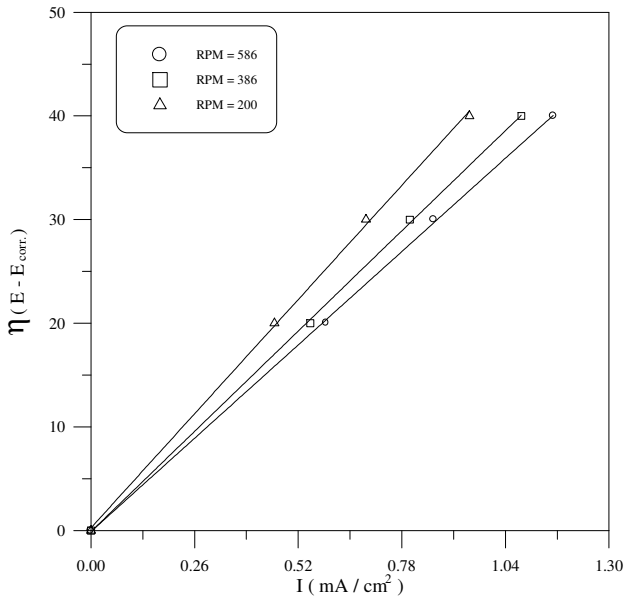
الشكل (٣) الاستقطاب الخطي للحديد في محلول ملحي تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة (٣٢٣ كلفن)



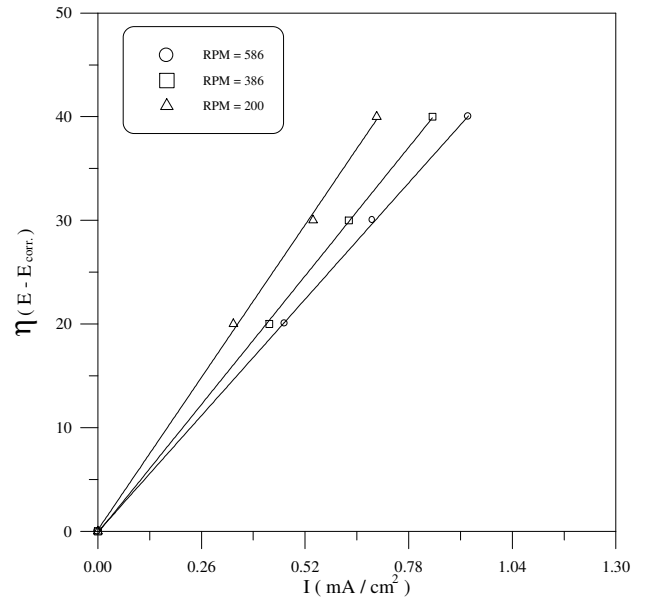
الشكل (٨) الاستقطاب الخطي للحديد في محلول ملحي تحت ظروف انتقال الحرارة في معدل ٥٨.٥ كيلو واط/م^٢ م ٣١٣ كلفن



الشكل (٦) الاستقطاب الخطي للحديد في المحلول الملحي تحت ظروف ثبوت درجة الحرارة (٣٢٣ كلفن)



الشكل (٩) الاستقطاب الخطي للحديد في محلول ملحي تحت ظروف انتقال الحرارة في معدل ٥٨.٥ كيلو واط/م^٢ م ٣٢٣ كلفن



الشكل (٧) الاستقطاب الخطي للحديد في محلول ملحي تحت ظروف انتقال الحرارة في معدل ٥٨.٥ كيلو واط/م^٢ م ٣٠٣ كلفن

The Effect of Heat and Mass Transfer on the Corrosion of Iron in Water Containing Sodium Chloride

Dr. Khalid Farhod Chasib Al-Jiboury

Chemical Engineering Department

University of Technology

khalid_farhod@uotechnology.edu.iq

ABSTRACT

The corrosion behavior of iron in water containing chloride ions, under controlled conditions of heat and mass transfer, had been studied using rotating disc electrode. The corrosion rate showed linear variation with the square root of the disc angular velocity.

The presence of heat transfer stimulates both the anodic and cathodic reactions due to the increment in the interfacial temperature and the abrupt change in temperature along the diffusion and thermal boundary layers.