جامعة حلب

كلية الهندسة الميكانيكية

علم المواد الهندسية

مشروع لنيل إجازة في الهندسة الميكانيكية

اختبارات التآكل

الطالب المهندس

محمد زكريا مشاعيل

الطالب المهندس

إيـــاد العبود

إشراف:

الدكتور: مازن عزيزي

2012م - 1433 هـ

الإهداء

إلى من أشتهي قربهم

إلى من أسمع في الجنة قهقهتهم

إلى من تعلمت منهم الإيثار

إلى من أوصلني إلى هنا رغم الحصار

إلى شهداء الوطن

إلى الشمعة المضيئة

إلى لمسة الحنان

إلى من ترسم بسمتي في أصعب زمان

إلى من تفوح من يديها رائحة الجنان

إلى أمي الغالية

إلى القلب الرحيم

إلى القرار الحكيم

إلى من رباني وأحسن التقويم

إلى من كانت نصائحه أرق من النسيم

إلى أبي الغالي

إلى التواضع والابتسامة

إلى من أدى العمل بأمانة

إلى من أمطرني بالحكمة والرزانة

إلى من شرف بحثي وكان للفخر علامة

إلى الدكتور مازن عزيزي

إلى من جمعتني بهم الأقلام

إلى من شاركوني بسمتي والكلام

إلى من قضيت معهم أجمل الأيام

إلى من راودتنا في ذات يوم ذات الاحلام

إلى أصدقائي الأعزاء

محتوى المشروع

المقدمة

يطيب لنا وقد أنهينا دراستنا الجامعية، أن نقدم هذا المشروع ليكون ثمرة عمل وعلم أمضينا السنين الطويلة في تحصيله، ولقد حاولنا أن نضّمن في هذا المشروع كل ما تمكنا من تحصيله طوال السنين الخمس الماضية، بمساعدة الدكاترة والأساتذة الأفاضل.

أما موضوع البحث فهو اختبارات التآكل التي يمكن تطبيقها من أجل الكشف عن ظاهرة التآكل في المنشآت نتيجة الظروف التي تحيط بها، كما اتجهنا فيه إلى التجربة من أجل التأكد من المعلومات وتدعيمها وتوثيقها.

في الفصل الأول تم الحديث عن التآكل كظاهرة عامة وخطيرة، كما يعرف هذا الفصل بأنواع التآكل المختلفة التي يمكن أن نواجهها في الأماكن المختلفة، وتم التطرق إلى أهم طرق الحماية من التآكل.

في الفصل الثاني تم تصنيف اختبارات التآكل إلى اختبارات حسب (نوع الاختبار- نوع التآكل- الوسط المحيط- مجال الصناعة)، وتم الحديث عن كل نوع من أنواع الاختبارات وطرق إجراء كل اختبار.

الفصل الثالث يناقش بالتفصيل طريقة إجراء اختبار التآكل في فولاذ التسليح، حيث تم سرد خطوات إجراء الاختبار حسب ASTM G3 المعتمد.

في الفصل الرابع تم الحديث بالتفصيل عن اختبار الكبينة، حيث تم سرد أنواع اختبار الكبينة (اختبار التحكم بالرطوبة – اختبار التآكل الغازي – اختبار الرذاذ الملحي).

في الفصل الخامس تم اللجوء إلى التجارب لتؤكد صحة الأبحاث والدراسات، حيث تم إجراء اختبار التآكل من أجل قضبان التسليح الفولاذية، وإجراء اختبار الكبينة، كما تم إعداد دراسة مفصلة عن طريقة إجراء هذه الاختبارات، ودعمت الدراسة بالصور والمعلومات والمخططات المناسبة.

نتيجة التنوع الكبير للتآكل واختلاف ظروف حدوث التآكل تبعاً لنوع البيئة الذي يحدث به واختلاف شروط وسلوك كل نوع فقد حاولنا في هذا البحث التعرف على أهم اختبارات التآكل التي يمكن إجراؤها في البيئات المختلفة، كما حولنا التعرف على أنواع التآكل الأكثر انتشاراً، حيث لا بدّ من الإلمام بهذه الأنواع ومعرفة الاختبار المناسب من أجل كل نوع.

في النهاية نتمنى من الله أن يحقق عملنا الغاية المطلوبة منه، وأن يتناسب مع طموح الكلية وأن يكون بمستوى ما أمدتنا به من العلم، وأن ينال إعجاب واستحسان من أرشدنا ورافقنا و أمطرنا بعلمه..... **د. مازن عزيزي**

الفصل الأول

أنواع التآكل وطرق الحماية

1.1 مقدمة (Introduction):

يعرف التآكل: بأنه التلف (الجزئي أو الكلي) الذي يصيب الفلز/السبيكة سواء من حيث المظهر أو الأداء، وسببه التفاعل الحاصل بين الفلز/السبيكة والأجواء المحيطة والتي قد تكون غازية أو سائلة. أو هو الهجوم على المعدن الذي يؤدي إلى تدهور خواصه إثر التفاعلات الكيميائية أو الكهروكيميائية مع الوسط المحيط.

يعتبر التآكل إحدى أبرز المشاكل التي تعاني منها الكثير من المنشآت النفطية (كخطوط النفط، الغاز، الخزانات وأبراج التقطير) كما يظهر في الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة والنقل البحري والمعدات والمنشآت العسكرية.

هذا ويسبب التآكل تلف شديد في المنشآت مما ينجم عنه تكاليف ضخمة تشمل تكاليف مباشرة وغير مباشرة، حيث تتمثل التكاليف المباشرة بالخسائر التي تصرف لإعادة تصنيع التصاميم التالفة أو ما يصرف على وسائل الحماية من التآكل. أما التكاليف الغير مباشرة تتضمن أضرار في الإنتاج وبالتالي انخفاض في الكفاءة والأداء بالإضافة إلى التلوث للمنتجات وخسائر أخرى يصعب تحديدها بدقة.

فيما يلي بعض التعريفات الهامة التي تساعد في توضيح مفهوم التآكل و أسباب حدوثه و طرق مقاومته:

1- التآكل: هو رد فعل كهروكيميائي للمعادن المحاطة بمواد كيميائية سواء من التربة أو الماء، حيث تشكل خلايا توصيل وتولد الكهرباء نتيجة فرق الجهد الطبيعي بين المعادن مما ينتج عنه ذوبان المعدن الأكثر نشاطاً.

2-الآنود (المصعد – القطب الموجب): معدن له مستوى أعلى من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد) و ينساب منه التيار خلال التربة و هو الجسم الذى يحدث له التآكل.

3- الكاثود (المهبط – القطب السالب): معدن له مستوى أقل من الطاقة (القيمة المطلقة لفرق الجهد و ينساب منه التيار خلال سلك التوصيل و هو الجسم الذى يتم حمايته من التآكل.

4- الأيون: هو ذرة أو مجموعة ذرات تحمل شحنة كهربائية موجبة أو سالبة، فإذا كانت أيونات موجبة يقال أنها عناصر موجبة التكهرب و إذا كانت أيونات سالبة يقال أنها سالبة التكهرب.

5- الأيون الموجب: يتكون بفقد الكترونات من الذرات التي لها أنصاف أقطار كبيرة و تحتوي طبقاتها الخارجية على عدد قليل من الإلكترونات.

6- الأيون السالب: يتكون باكتساب الذرة للالكترونات.

7- الوسط الالكتروليتى: هو الذي يسمح بمرور التيار من المصعد إلى المهبط (من الآنود إلى الكاثود) و يكون تربة أو ماء.

8- الوصلة العازلة: هي وصلة أو رباط من مادة عازلة كهربائياً بين جزئيين من الخط كي تمكننا من منع استمرار التوصيل الكهربائي بينهما.

9- الموصل: هو جزء معدني أو كربوني ينساب فيه التيار الكهربي بواسطة حركة الالكترونات من الكاثود إلى الأنود و هناك نوعان من الموصلات هما: الموصل الالكتروني و هو المعدن، و الموصل الأيوني و هو المحلول.

10- الخلية: هي دائرة كهربائية كاملة تتضمن الكاثود و الأنود و موضوعين في وسط موصل و متصلين مع بعضهما بموصل معدني.

11- قطب كبريتات النحاس: هو قطب يتكون من قضيب من النحاس موضوع في محلول مشبع من كبريتات النحاس و متصل بسلك لتوصيله بجهاز القياس و هو الأساس في قياس فرق الجهد للمعادن بالإضافة إلى بعض الأقطاب الأخرى التي تستخدم في ماء البحر و المعامل.

12- الاستقطاب: هو التغير الذي يحدث في جهد القطب نتيجة لانسياب التيار (الانحراف عن حالة الاتزان).

13- السلسلة الكهروكيميائية: هي ترتيب المعادن المختلفة طبقاً للجهد الكهربائي الطبيعي لها من الأكبر للأصغر أو هي ترتيب المعادن طبقاً لمدى مقاومتها للتآكل في ظروف معينة و كل معدن في هذه السلسلة يكون مصعد (ANODE) للمعادن السابقة له في السلسلة.

2.1 أنواع التآكل (Type of corrosion):

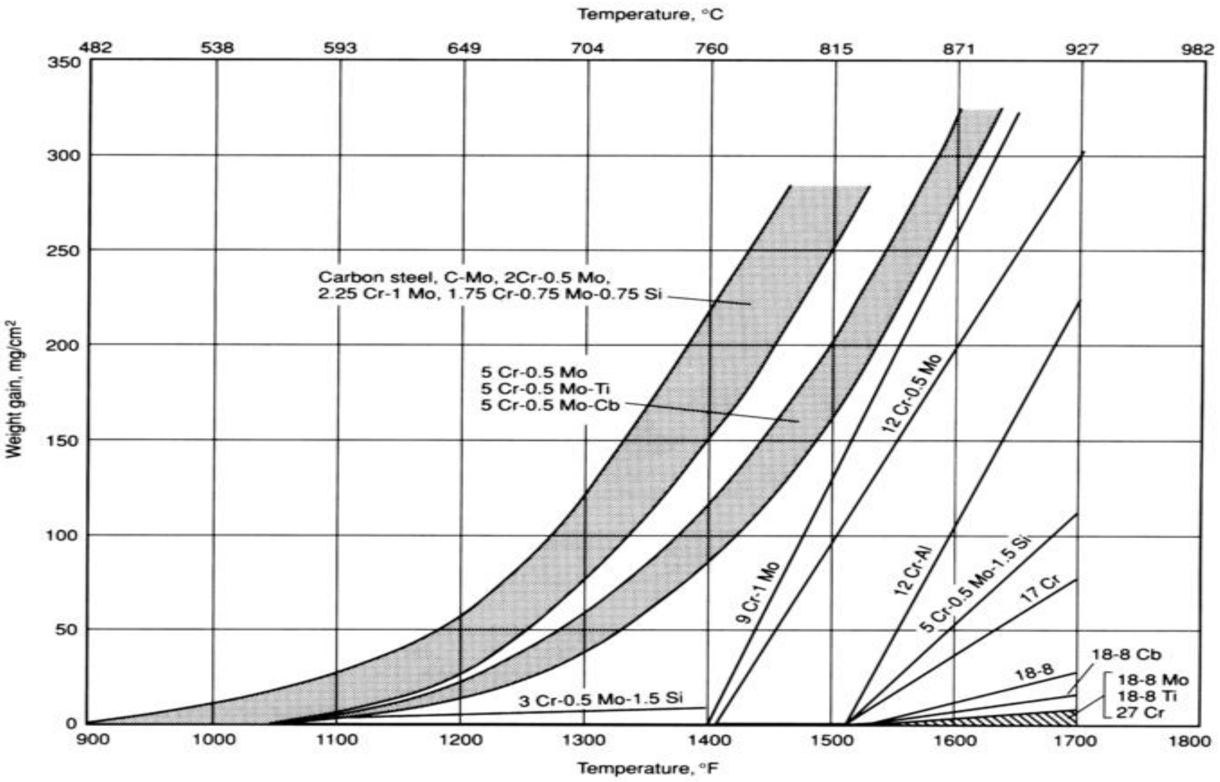
1.2.1. التآكل في درجة حرارة مرتفعة بوجود غاز (High-Temperature Gaseous Corrosion):

عندما يتعرض المعدن لغاز مؤكسد بوجود درجة حرارة مرتفعة، فإن التآكل يمكن أن يحدث نتيجة التفاعل المباشر مع الغاز ودون الحاجة لوجود الكتروليت سائل. هذا النوع من التآكل يمكن أن نلاحظه عن طريق تحول اللون إلى العاتم، و من خلال حدوث تقشر في المعدن نتيجة الأكسدة عند درجات الحرارة المرتفعة.

نلاحظ في الشكل رقم (1) أن معدل التآكل يزداد بشكل ملحوظ مع زيادة درجة الحرارة، وذلك من أجل العديد من أنواع الفولاذ و خلائط الستانلس ستيل.

إن طبقة الفلم النموذجية المتشكلة على السطح تزداد ثخانتها وذلك نتيجة التفاعل بين القشرة المتشكلة على السطح من جهة وبين المعدن أو الغاز من جهة ثانية، حيث أن الكاتيونات أو الأيونات تنتقل عبر القشرة، والتي تسلك سلوك الكترووليت صلب.

إن خلل التركيب الأيوني والملامح البنيوية المحددة تعتبر عوامل أساسية ومفتاحية في تحديد المقاومة النوعية لأي نوع من الخلائط ضمن ظروف الوسط.

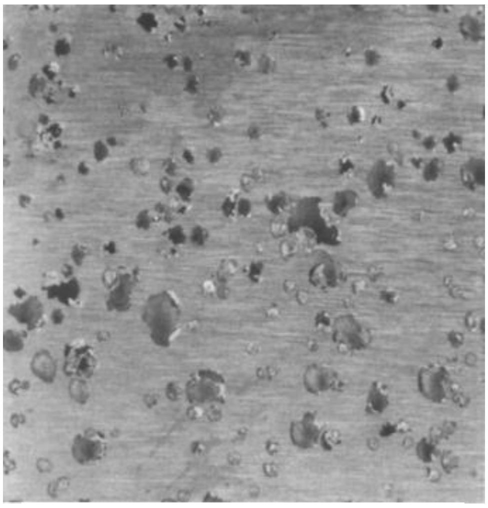


الشكل (1): مقاومة التأكسد للخلائط منخفضة الكربون والستانلس ستيل في الهواء بعد 100 ساعة وذلك في درجة حرارة (590-930°C)

2.2.1 التآكل بالنخر- التآكل النقري (Pitting Corrosion):

في هذا النوع من التآكل تتكون حفر (Pits) على أجزاء من سطح المعدن دون غيرها. هذه الحفر ربما تكون صغيرة– وهو الغالب– أو كبيرة، وربما تكون عميقة أو سطحية. كما أن هذه الحفر قد تكون متباعدة الواحدة منها مفصولة عن الأخرى أو تكون ذات كثافة عالية ومتقاربة جداً بحيث يظهر سطح المعدن خشناً جداً. وهذا النوع يعد من أكثر أنواع التآكل خطورة، وذلك لكونه يؤدي إلى حصول الفشل في الأجزاء المعدنية بثقبها دون فقدان شيء يذكر من وزنها وكذلك لكونه يصعب قياس درجة حدته كمياً. كما أنه يصعب توقعه بالقياسات المخبرية

لاختلاف عمق وعدد الحفر التي تتكون في كل مرة تحت ظروف متشابهة، ومثال هذا النوع من التآكل: هو تآكل المعادن من النوع (النشط–الخامد) مثل: الألمنيوم والصلب المقاوم (Stainless Steel) في محاليل الهالوجينات. وهذا النوع يحدث عادة باتجاه الجاذبية ونادراً ما يحدث في الاتجاه المعاكس لها.



الشكل (2): حفر عميقة في المعدن

ميكانيكية التآكل بالنخر(Mechanism of Pitting Corrosion):

لا يزال هناك اختلاف بين النظريات التي تفسر ميكانيكية التآكل بالحفر، ولكن – في العموم – يمكن تقسيم ميكانيكية هذا النوع من التآكل إلى مرحلتين مهمتين هما:

- بدء النخر(Pitting Initiation).
- انتشاره أو امتداده(Propagation) داخل المعدن.

المرحلة الأولى(بدء النخر):

تتضارب الآراء حول سبب بدء النخر، فإحدى النظريات تعزو بدأه في المعادن من النوع (النشط– الخامد) – أي التي يغطي سطحها طبقة أوكسيدية – إلى وجود العيوب الدقيقة (Micro-flows) أو الخدوش السطحية في هذه الطبقة الأوكسيدية حيث تشكل بؤراً مصعدية منها يبدأ التآكل. ونظرية أخرى تعزو بدء النخر إلى عدم التجانس الذي يحصل في الوسط، ففي ضوء هذه النظرية، يؤدي زيادة تركيز أيونات الكلور أو أيونات الهيدروجين (انخفاض الـ pH) في نقطة معينة دون غيرها إلى كسر الطبقة الأوكسيدية في المعادن التي لها القابلية لاكتساب الخمود في هذا الوسط مثل الألمنيوم والصلب المقاوم في محلول NaCl، حيث يؤدي ذلك إلى زيادة تركيز أيونات المعدن M، ومن ثم امتداد النقر وتدعى هذه النظرية التي تفسر نشوء النقر بسبب انخفاض الـ pH بنظرية الحمضية الموضعية (Theory of Local Acidity).

كذلك يؤدي عدم التجانس في تركيز الوسط بسبب الاختلاف في تركيز الأوكسجين مثلاً إلى نشوء النقر في المعادن الأخرى التي لا تستطيع اكتساب الخمود في هذا الوسط وفي المنطقة التي يكون فيها تركيز الأوكسجين قليلاً.

إضافةً إلى ذلك فإنه من الممكن أن يبدأ النخر بسبب عوامل خارجية مثل الترسبات التي تستقر على سطح المعدن.

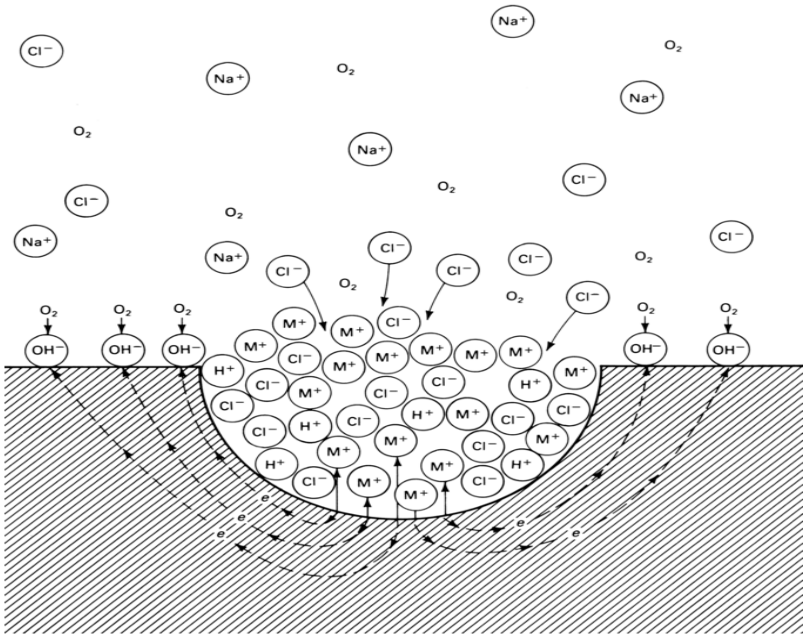
وأحياناً يبدأ النخر نتيجة لعيب في سطح المعدن نفسه الموجود تحت الطبقة الواقية مباشرة. مثال ذلك: بدء النخر وتقدمه في الصلب المغطى سطحه بطبقة المغنتايت عندما يكون الوسط ماءً محتوياً على الأوكسجين وأيونات الكلور، خصوصاً عند منطقة السطح الموجود فيها كبريتيد المنغنيز (MnS) الذي يعد – في هذه الحالة – أحد العيوب غير المعدنية التي تظهر في تركيب الصلب نتيجة للعمليات التصنيعية.

المرحلة الثانية (امتداد النخر):

تُعزى عملية امتداد النخر إلى عملية التحفيز الذاتي، أي أنه عندما يبدأ النخر فإن امتداده إلى داخل المعدن يصبح عملية ذاتية مستمرة، حيث تؤدي زيادة تركيز أيونات المعدن M^+ في المنطقة التي بدأ فيها النقر إلى جذب أيونات الكلور والذي بدوره يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات الهيدروجين أي تقليل الـ pH في ضوء التفاعل المبين:

$$M^+Cl^- + H_2O = MOH \downarrow + H^+Cl^-$$

وهذه الأيونات تؤدي إلى زيادة تحلل المعدن، أي تكوين أيونات جديدة من المعدن M وهذا من شأنه يؤدي إلى إعادة التحفيز. لذا فإن هذه العملية تتسارع مع الزمن ونظراً لصعوبة وصول الأوكسجين إلى منطقة النقر بسبب وجود تركيز عالٍ لبعض الأيونات فيها فإن عملية اختزاله (التفاعل المهبطي) تتم على السطح المتاخم للنقرة أي بمعنى آخر، حصول النقر يؤدي إلى حماية بقية أجزاء سطح المعدن المجاورة.



الشكل (3): عملية التحفيز الذاتي التي تحدث في حفرة التآكل. يتم حفر المعدن M بواسطة انحلال كلوريد الصوديوم الهوائي. يحدث انحلال سريع ضمن الحفرة، في حين أن الأوكسجين ينخفض على السطوح المعدنية المجاورة.

3.2.1 التآكل الشقي أو الصدعي (Crevice Corrosion):

هو تآكل موضعي شديد يصيب الأجزاء المعدنية في مناطق الشقوق (Crevices) والمناطق المغطاة، سواءً أكان هذا الغطاء على هيئة مواد معدنية أو كان على هيئة مواد غير معدنية مثل الأقمشة، المواد البلاستيكية، المطاط، الزجاج، الترسبات الطينية، الطحالب أو الأوساخ. ولحدوث هذا النوع من التآكل يجب توفر محلول راكد (الكتروليت) بين الغطاء والمادة المعدنية، ويسمى هذا النوع أحياناً بأسماء أخرى مثل تآكل الحشوات (Gasket Corrosion) وتآكل الترسبات (Deposit Corrosion).

<u>ميكانيكية التآكل الشقي:</u>

يُجمع كثير من الباحثين على أن ميكانيكية التآكل الشقي يمكن تقسيمها إلى ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى:

خلال هذه المرحلة تحدث التفاعلات على المناطق خارج منطقة الشق أو الصدع (Unrevised area) ومنطقة داخل الصدع نفسه على حدٍ سواء. هذه التفاعلات يمكن كتابتها كما يلي:

(1) التفاعل المصعدي $M \rightarrow M^{2+} + 2e^-$

(2) التفاعل المهبطي $H_2O + 1/2\, O_2 + 2e^- \rightarrow 2OH^-$

(3) التفاعل الكلي $M + 1/2\, O_2 + H_2O \rightarrow M(OH)_2 \downarrow$

إن التفاعلات أعلاه تُبقي الشحنة متعادلة عند سطح المعدن وأجزاء السائل حيث إن تكوّن كل أيون معدني M^+ واحد يقابله الحصول على أيون هيدروكسيد OH^- واحد أيضاً ولكن استمرار تآكل المعدن في المناطق كافة يؤدي إلى نفاد كمية الأكسجين في المناطق المحصورة بين سطحي المعدن (الشقوق) ذلك لأن وصول الأوكسجين إلى هذه المنطقة من الجو أو من المحلول في المناطق الأخرى يكون صعباً بسبب ضيقها.

المرحلة الثانية:

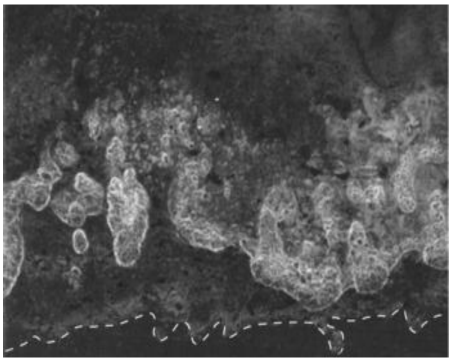
وبعد نفاد كمية الأكسجين داخل الشق يستمر تحلل المعدن (التفاعل المصعدي) يرافقه تفاعل مهبطي في أقرب منطقة خارجية يتوفر فيها الأوكسجين حيث ينشأ ما يسمى بالخلية التركيزية. وينتج عن هذا الوضع زيادة تركيز أيونات المعدن M^+ في المنطقة المحصورة عما هو عليه خارج هذه المنطقة مما يؤدي بدوره إلى زيادة الشحنة الموجبة فيها والتي من الضروري أن تتعادل، وهذا يتم عن طريق هجرة أيونات الكلوريد – الأسهل انتشاراً من أيونات الهيدروكسيد – إن وصول أيونات الكلوريد إلى منطقة الصدع يؤدي إلى تكوين كلوريد معدني (M^+Cl^-) وهذا الكلوريد يتميأ بالماء وفق المعادلة التالية:

$$M^+Cl^- + H_2O = MOH \downarrow + H^+Cl^-$$

مما يؤدي إلى انخفاض الأس الهيدروجيني وزيادة تركيز أيونات الكلوريد داخل الشق. ولسبب غير معروف حتى الآن يقوم أيون الهيدروجين والكلوريد بحفز عملية التحلل في منطقة الشق مما يؤدي إلى زيادة معدل التآكل فيه، وهذا من شأنه أن يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات المعدن الذي بدوره يؤدي إلى رحيل أيونات الكلوريد اللازمة لتعادل الشحنة ومن ثم تكوّن الحامض وتحفيز المعدن للتحلل تحفيزاً ذاتياً (Autocatalytic Process).

المرحلة الثالثة:

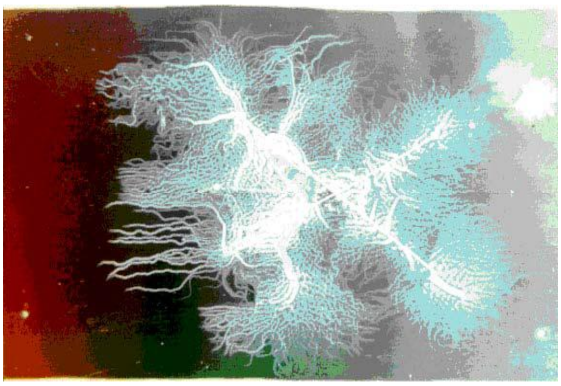
في هذه المرحلة يكون المحلول داخل الشق قادراً على كسر الغشاء الخامل الواقي لسطح المعدن، ويسمى – المحلول – في هذه الحالة بالمحلول الحرج للشق Critical Crevice Solution)، (CCS الذي يضع نهاية لمرحلة الابتداء والإيذان بمرحلة التقدم أو الانتشار (Propagation Stage) حيث يستمر ذوبان المعدن (التفاعل المصعدي) يقابله تفاعل اختزال الأكسجين خارج الشق وإذا كانت درجة الحموضة عالية (عند pH منخفض) يتكون الهيدروجين داخل الشق. وسرعة التقدم هذه تعتمد على الشكل الهندسي للشق (Geometry)، انتقال الكتلة (Mass Transfer) وحركية التفاعل.



الشكل (4): التآكل التشققي للفولاذ المقاوم للصدأ304 بعد تطبيق جهد مقداره +0.05
في محلول 0.017 من NaCl. فم الشق هو الحافة السفلية من الصورة المجهرية.
حدود المادة هي الخط الأبيض المنكسر. منطقة الهجوم هي المنطقة المشيئة فوق الخطوط المكسورة.

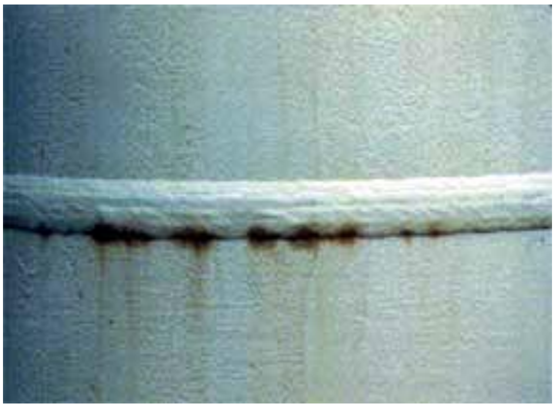
4.2.1 التآكل الخيطي (Filiform Corrosion):

- يحدث هذا النوع من التآكل تحت الأسطح المدهونة أو المصفحة عندما تخترق الرطوبة الطلاء.
- الدهانات سريعة الجفاف هي الأكثر عرضً ة لهذه المشكلة.

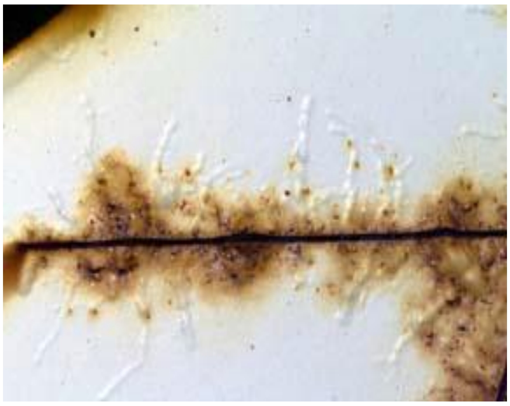


الشكل (5) التآكل الخيطي المتشعب

- يجب أن يبدي الطلاء خصائص نفوديه منخفضه لبخار الماء، وخصائص التصاق ممتازة.
- يجب أن تؤخذ الطلاءات الغنية بالزنك بعين الاعتبار لحماية الفولاذ الكربوني وذلك لحماية المعدن مهبطياً.
- يبدأ التآكل الخيطي الشكل عادةً بعيوب صغيرة، وتكون أحيانًا ميكروسكوبية، في الطلاء.



الشكل (6): التآكل الخيطي يسبب نزف طولي



الشكل (7): تآكل خيطي أسفل الطلاء

يتم تفادي التآكل الخيطي الشكل بالتحضير الجيد لسطح المعدن قبل عملية الطلاء و باستعمال طلاءات مقاومة لهذا الشكل من التآكل وبالاختيار الدقيق للطلاءات لتكفل تخفيض الانقطاعات أو الفتحات في الطلاء للحد الأدنى.

5.2.1 التآكل الجوي (Atmospheric Corrosion):

التآكل الجوي هو تدهور و تدمير المواد المعدنية وهياكلها بسبب التفاعل مع الغلاف الجوي للأرض. وتآكل الغلاف الجوي يختلف عن تآكل المعدن عند درجات الحرارة العالية بغياب الرطوبة على سطح المعدن (التآكل الجاف أو الغازي) والتي لا تتوافق مع الرطوبة الجوية ودرجة الحرارة للغلاف الجوي. آلية التآكل على درجات الحرارة المرتفعة هو تآكل كيميائي وهو مختلف تماما عن التآكل الجوي. حيث أنه تتعرض غالبية الهياكل المعدنية والمعدات الأرضية للظروف الجوية والى حد ما يمكن أن تعاني من التآكل الجوي وفي بعض الحالات يمكن للمعادن أن تدمر بالكامل وتتحول إلى منتجات التآكل.

بالمعرفة المسبقة بشروط التعرض الرئيسية وتأثيرها على تآكل المعدن معظم مشاكل التآكل الخطيرة يمكن منعها. من المسلم به أن العديد من الصناعات تواجه العديد من المشاكل الصعبة بسبب التآكل في أجواء

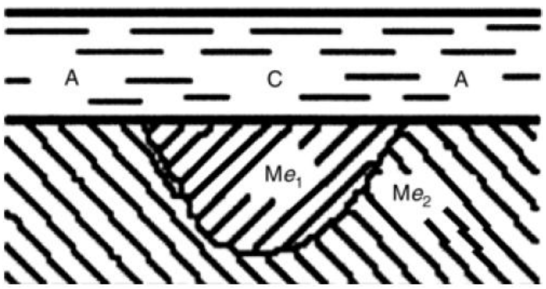
عدوانية جداً، مثل نقل الطاقة الكهربائية وتوزيعها ومصانع لإنتاج المواد الكيميائية والبتروكيماويات والطائرات والسيارات و المكونات المرتبطة و الهياكل البحرية والأجهزة الالكترونية.

إن تآكل المعدن الجوي يحدث بشكل عفوي لكن يمكن أن يبطئ أو ان يمنع ويمكن ان يتحكم به لكن لا يمكن إيقافه بشكل نهائي والسبب هو أن المعادن الشائعة الاستخدام ليست نقية بشكل كامل باستثناء بعض المعادن النبيلة. المعادن عادة تكون على شكل خامات، مركبات كيميائية متضمنة الأوكسجين، الهيدروجين و الكبريت هذه المركبات المعدنية هي الحالة الترموديناميكية الثابتة من المعادن والتي تكون فيه طاقة جيبس الحرة ΔG تملك قيمة صغرى.

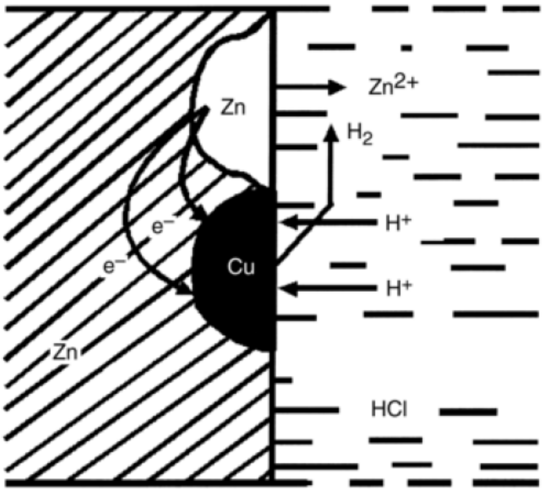
عند فصل المعادن من خاماتها والعمليات التعدينية والعمليات التحويلة والطاقة التي تكون على شكل حرارية، كيميائية، كهربائية أو ميكانيكية يرفع المعدن إلى مستوى طاقة أعلى، والمنتجات المعدنية لا تكون في حالتها الأكثر استقرار من وجهة النظر الترموديناميكية. هذا الواقع يدفع الى تحويل المعادن الى منتجات تآكل والتي لها تركيب كيميائي مماثل لتلك الخامات الأصلية والتي تكون في حالة أكثر استقرار من وجهة النظر الترموديناميكية عندما المعادن تكون على تماس مع الجو الأوكسجين والماء (الرطوبة) وبوجود أنواع من المواد مثل الكلوريدات وثنائي اوكسيد الكبريت عندها تبدأ عملية التآكل ومنتجات التآكل تتشكل مثل الأكاسيد والهيدروكسيدات.

عناصر العملية:

التآكل الجوي هو عملية رطبة، وآليتها هي الكتروكيميائية. وليس هناك فقط انتقال للكتلة خلال الاستجابة الكيميائية لكن أيضا تبادل الجزيئات المشحونة (الإلكترونات وشوارد) على السطح البيني للمعدن (الناقل الإلكتروني) و الالكتروليت (ناقل الشوارد). انتقال الالكترونات (جريان التيار الكهربائي) يحدث بسبب تشكل خلية التآكل الغلفاني على سطح المعدن وهناك ثلاثة عناصر رئيسية لتشكيل الخلية هي المصعد والمهبط و الالكتروليت وبالإضافة إلى عوامل الأكسدة.



الشكل (8): خلية تآكل معدنية تشكلت بواسطة المصعد A و المهبط C



الشكل (9): خلية تآكل غلفانية تشكلت في خليطة زنك – نحاس في وسط حمضي
المهبط هو النحاس والمصعد هو الزنك

6.2.1 التآكل الغلفاني (Galvanic Corrosion):

التآكل الغلفاني يحدث عندما يتصل زوج من المعادن او الخلائط كهربائيا مع معدن آخر أو ناقل غير معدني بنفس الالكتروليت والعناصر الثلاثة الرئيسية هي:

- مواد تملك كمون سطحي مختلف.
- الكتروليت مشترك.
- إلكترونات مشتركة.

إن مدى التآكل الغلفاني للزوج المعدني يتأثر بالعوامل التالية:

- قيمة فرق الكمون بين المعادن المتصلة أو الخلائط.
- طبيعة الوسط المحيط.
- سلوك الاستقطاب للمعادن أو الخلائط.
- العلاقة الهندسية لمكونات المعادن أو الخلائط.

ان الاختلاف في الكمون بين المعادن أو الخلائط الغير متشابهة يسبب تشكيل تدفق للإلكترونات بينهما عند تزاوجهما كهربائيا في محلول ناقل. اتجاه الإلكترونات والسلوك الغلفاني يعتمد على المعدن الأنشط. حيث أن الخليطة أو المعدن الأنشط يكون مصعد والأقل نشاط (الأكثر نبلاً) يكون المهبط في الزوج المعدني.

الاستقطاب:

كما الحالة السابقة فإن تدفق للإلكترونات يحدث بين المعادن أو الخلائط المتزاوجة أي انه يحدث بين المعدن الأكثر نشاطا و الأكثر نبلا مؤدية الى تغير في الكمون نتيجة الاستقطاب، لان كموني المعدنين او الخليطتين يميلان الى الاقتراب من بعضهما.

مقدار التغير يعتمد على الوسط المحيط وكذلك على الكمون البدائي فإذا كان المعدن أو الخليطة الأكثر نبلا هي الأسهل للاستقطاب فإن كمونها يتحرك بشكل أكبر باتجاه كمون المعدن أو الخليطة الأكثر نشاطاً. إن تغير الكمون في المعدن أو الخليطة الأكثر نشاطاً في اتجاه المهبط سوف يقل لذلك فإن تسارع التآكل الغلفاني لن يكون كبير بقدر ما توقعنا.

من ناحية أخرى إذا لم يستقطب المعدن الأكثر نبلاً مباشرة عندها فإن كمون المعدن أو الخليطة الأكثر نشاطاً سوف يتحرك باتجاه المهبط (اي باتجاه استقطاب المصعد).

المساحة و المسافة والتأثيرات الهندسية:

عوامل مثل نسب المساحة، المسافة بين المواد المتصلة كهربائيا، والأشكال الهندسية كذلك تؤثر على سلوك التآكل الغلفاني.

آ – **تأثير المساحة:**

تأثير المساحة يتضمن نسبة مساحة السطح المشترك بين المعدن الأكثر نبلاً مع المعدن الأكثر نشاطاً. تكون نسبة المساحة غير مرغوبة عندما تكون مساحة سطح المعدن أو الخليطة الأكثر نبلاً أكبر مقارنة مع العنصر الأكثر نشاطاً و الزوج الغلفاني يكون تحت التحكم المهبطي. تحت هذه الشروط فإن كثافة التيار المصعدي في الخليطة أو المعدن الأكثر نشاطا يصبح كبيرا جداً. والنتيجة فإن الاستقطاب يقود الى زيادة التآكل في المعدن النشط.

بعكس نسب المساحة (سطح العنصر النشط أكبر، سطح العنصر النبيل أصغر) والذي يؤدي الى تأثير خفيف في تسارع الخلية الغلفانية لأن استقطاب المعادن النبيلة هو المهيمن.

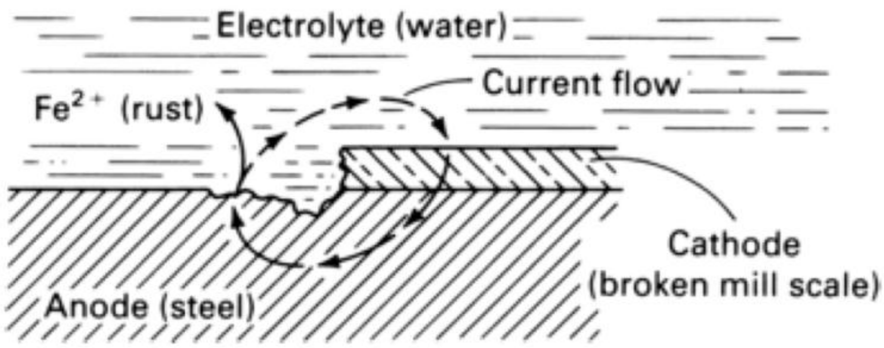
ب – تأثير المسافة:

المعادن الغير متشابهة في الزوج الغلفاني و التي تكون فيزيائيا قريبة جداً تعاني من تأثيرات غلفانية أكبر من تلك التي تكون أبعد عن بعضها.

إن تأثير المسافة يعتمد على ناقلية المحلول لأن طريق جريان التيار أول ما يؤخذ بعين الاعتبار لذا فإن الأنابيب الغير متشابهة عندما تربط مع بعضها و الالكتروليت يمر من خلالهما فإن التأكل يحدث بشكل قاسي في المنطقة المجاورة لمنطقة اللحام للأنبوبين على المصعد.

ج- تأثير الهندسية:

إن هندسية الدارة أيضا تؤثر على التآكل الغلفاني وبذلك فإن التيار لا يجري بسرعة حول الزوايا. و هذا ببساطة امتداد للمبدأ الذي تم وصفه سابقا وبذلك يأخذ التيار الطريق الذي تكون مقاومته أقل.



الشكل (10): كسر في طبقة الصدأ Fe_3O_4 يمكن أن تؤدي لتشكيل خلية غلفانية

7.2.1 تآكل التيار الشارد (Stray-Current Corrosion):

والذي يحدث بواسطة التيار الكهربائي المستحث خارجياً ومن الأمثلة على ذلك أنظمة السكك الحديدية للقطارات، أنظمة الأنابيب وأنظمة توزيع التيار الكهربائي.

التيارات الشاردة (أو التيارات المتداخلة) والتي تعرف على أنها التيارات التي تتبع طرق أخرى غير الدارات المعدة لها، لسوء الحظ تقريباً جميع التيارات تكون محلية و مركزة، مسرعة حدوث التآكل. وهذه التيارات تترك طريقها المعد لها وذلك لأن التيارات تبحث عن الطريق ذو المقاومة الأخفض مثل الأنابيب المعدنية المدفونة وبعض الإنشاءات المعدنية الأخرى أو الالكتروليت ذو المقاومة الأخفض مثل الماء المالح. وعندها يجري التيار من خلال المنشأة ويسبب تسارع التآكل كلما غادر التيار المنشأة المعدنية وجرى خلال الالكتروليت.

على سبيل المثال في خطوط الأنابيب المحمية مهبطياً إذا قاطعها أنبوب غريب فإن التيار في نظام الحماية المهبطية يمكن أن يتجمع على الأنبوب الغريب. تسارع التأكل يحدث على الأنبوب الغريب في النقطة التي أفرغ فيها التيار. إن نقطة الانفراغ يمكن اكتشافها لأن كمون الأنبوب بالنسبة للتربة يكون مخفض جداً في تلك النقطة.

وبطريقة مماثلة في حقول النفط والغاز حيث نظام أنابيب التدفق أو أغطية الآبار يتم حمايتها باستخدام طارد التيار المركزي.

في الماضي سكك القطار الكهربائية كانت المصدر الرئيسي للتيار المستمر الشارد DC وهذا المصدر أصبح أقل انتشاراً مع قلة استخدام أنظمة السكك الكهربائية. السفن التي ترسو في المرافئ يمكن حمايتها مهبطيا بكل سهولة وهذه الحماية يمكن أن تؤدي الى تشكيل التيار الشارد الذي يؤدي الى تآكل بدن السفينة.

8.2.1 التآكل بالتقشُّر (Crusty Corrosion):

- التقشُّر هو شكل للتآكل داخل الحبيبات.
- إنه يظهر نفسه برفع حبيبات المعدن السطحية بواسطة قوة نواتج التآكل المتوسعة الحادثة عند حدود سطح الحبيبات تمامًا.
- إن مظهره دليل على التآكل داخل الحبيبات و يُرى غالبًا على المقاطع المبثوقة حيث تكون سماكة الحبيبة أقل منه في الشكل المدرفل.

الشكل (11): التآكل بالتقشر

3.1 طرق الحماية من التآكل (Corrosion protection):

1.3.1− اختيار التصميم المناسب:

- البساطة في التصميم.
- تجنب تكوين الخلايا الغلفانية.
- تجنب الرطوبة.

2.3.1- تعديل نوعية المعدن:

- إزالة العناصر المضادة المسببة للتآكل.
- إضافة العناصر المحسنة لمقاومة التآكل.

- إتمام أعمال المعالجة لإزالة الاجهادات المتوافرة التي نتجت عن أعمال اللحام.

3.3.1- تعديل و تغيير وسط التآكل:

- إزالة الأملاح عن طريق أعمال التأين.
- إزالة الأحماض بإضافة الجير و المواد القلوية.
- تقليل نسبة تواجد الأكسجين بإضافة موانع التآكل (كلوريد الصوديوم و الأمونيا و موانع التآكل و المواد الكيماوية المقاومة لعملية التآكل).

4.3.1- التغطية:

هي وسيلة الغرض منها تكوين غشاء متصل من مادة عازلة للكهرباء على سطح المعدن المراد حمايته عن الوسط الالكتروليتى الملامس له و المحيط به و كذلك اعتراض الدائرة (الآنودية – الكاثودية) عن طريق ذلك الغشاء ذو المقاومة الكهربية العالية و بالتالي يضمحل بل و يكاد يتلاشى تيار التآكل.

و من المعلوم أن أساليب التغطية الجيدة و المناسبة و التي تكون كفاءتها أكثر من ٩٩% من سطح الإنشاء المعدني تحمى هذا الإنشاء تماماً من التآكل إلى جانب هذا إذا طبق نظام للحماية الكاثودية للمنشآت بالتغطية فإنه يكون نظام بسيط نسبياً حيث تكون المساحات المكشوفة أو الضعيفة التغطية هي فقط المراد حمايتها بواسطة أساليب الحماية الكاثودية.

و نقص المعرفة يؤدى إلى عمل تغطية ضعيفة بسبب عدم معرفة نوع التغطية المناسبة و عدم الاهتمام بتجهيز السطح و معاملة مادة التغطية بإهمال بعد إتمام عملية التغطية و أثناء الردم بالإضافة إلى اهمال عملية الفحص النهائي بعد انتهاء عملية التغطية و يجب التأكد من الخصائص التالية لمادة التغطية:

- سهل التطبيق على الخط (التطبيع على الخط).
- جيد التلاصق.
- مقاوم للصدم.
- مرن.
- يقاوم إجهاد التربة.
- له مقاومة ضد الماء.
- له مقاومة كهربية عالية.
- متزن في الخواص الطبيعية و الكيميائية.
- مقاوم للبكتريا.
- له مقاومة للكائنات البحرية (عند استعماله في المنشآت البحرية).

5.3.1 طرق حماية المعادن بالتغطية:

أولاً: التغطية بالتغليف:

يمكن تقسيم أنواع التغليف للمواسير المدفونة كما يلى:

- البيتومين.
- شرائط البلاستيك.
- البولى ايثلين (عالي – منخفض) الكثافة.
- شرائط قطران الفحم.

ثانياً: التغطية بالدهانات:

- الأغطية العضوية ORAGANIC COATING (الورنيشات –البويات المانعة للتآكل).
- زجاج السيراميك (الأغطية الغير معدنية الغير عضوية).

طرق التغطية بالدهانات:

- باستخدام الفرشاة للطلاء.
- باستخدام الرش بالمسدس.
- باستخدام الغمر في المحاليل الكيميائية المراد طلاء المعدن بها.

ثالثاً: التغليف المعدني:

وهى طريقة معروفة و أثبتت جدارتها للتغطية و الوقاية الخارجية للسطوح في حالات الرطوبة العالية و في الوقاية من العوامل الجوية و في الإنشاءات البحرية و هي عديمة الجدوى في الحماية الداخلية و تتم الغلفنة بالغمر في مصهور فلز الزنك و الغلفنة تعتمد في المقام الأول على أن الزنك يحتل مكاناً متقدماً في ترتيب الفلزات بالنسبة لجهد القطب القياسي و يلاحظ وجود مسام مجهرية في بعض الحالات تسبب خلق خلايا مجهرية بين المعدن.

المعالجة الابتدائية لأسطح المعادن قبل عملية التغطية (التغليف أو الدهانات):

و قبل إجراء عملية التغليف يجب تجهيز السطح جيداً عن طريق تنظيفه و تلميعه بالطرق اليدوية باستخدام فرشاة أو صنفرة أو بالطريقة الميكانيكية وهى الطريقة الأكثر انتشاراً في تنظيف سطح الماسورة باستخدام كرات صغيرة من الصلب قطر (١ مم) أو رمل ناعم باندفاع كبير عن طريق ضغط الهواء ثم يتم تنظيفها من الأتربة أو الشحومات باستخدام المذيبات الكيميائية كالزيلين كما يتم تنظيف السطح كيميائياً بالتخليل عن طريق غمس

الألواح في أحواض بها حامض و تستخدم للألواح المستمرة و يمكن التنظيف أيضاً الكتر وكيميائيا بجعل اللوح المراد تنظيفه آنود داخل دائرة كهربائية كاملة.

مراحل معالجة أسطح المعادن:

تتم معالجة أسطح المعادن على عدة مراحل:

المرحلة الأولى:

إزالة المواد العضوية مثل (الزيوت و الشحوم) حيث يجب أن يتم قبل التغطية و قبل التنظيف الهوائى و قبل التخمير الكيميائي في الأحماض حيث يتم إزالة الزيوت المعدنية و الشحوم بالمذيبات العضوية و ازالة الدهون و الزيوت الدهنية و الشمع و الصابون بالمحاليل القلوية.

و يتم ازالة الشحم بواسطة:

- المواد العضوية مثل الكحول الأبيض و ثلاثى كلورو ايثلين.
- المواد القلوية مثل الفوسفات القلوية و السيليكات القلوية.
- التنظيف باستخدام الكحول الأبيض + مواد صابونية أوليات البوتاسيوم.
- الإزالة بالبخار ربما تستعمل مع التنظيف بعد الازالة بالاستحلاب أو بعد إزالة الدهان بالقلويات.

المرحلة الثانية:

إزالة الطبقات الرقيقة و الصدأ مثل:

- طبقة رقيقة من القشور.
- طبقة رقيقة من الصدأ.
- منتجات التآكل.

و هذه المرحلة الثانية تؤدى إلى الحصول على سطح مناسب لعملية التغطية و تتضمن تغيير صلادة المعدن و لهذا يزال جزء صغير أو كبير من سطح المعدن و تتم بواسطة:

الطرق الميكانيكية:

- استخدام الصنفرة بالفرشاة والسلك و التجليخ و الكشط.
- استخدام ضغط الهواء و الرمل في ماكينة الرمالة.
- استخدام الطرد المركزي باستخدام نصل سكينة في حركة دائرية.
- بواسطة الصقل (التلميع) بواسطة صنفرة ناعمة.

الحرارة:

باستخدام لهب الأوكسى استيلين و هذا الطريقة مناسبة للمنشآت الكبيرة و لإزالة القشور الرقيقة و الصدأ. بواسطة أفران الحث الحرارى و هي مناسبة لقضبان الحديد و الأنابيب.

الطرق الكيميائية:

و هي غمر المعدن المراد تنظيفه في محاليل مائية مثل حمض الكبريتيك و حمض الهيدروليك و هي تستخدم لإزالة الصدأ و الطبقات الرقيقة المتآكلة في المعدن.

المرحلة الثالثة:

تجهيز و تنظيف الأسطح و تتم باستخدام الرمالة حتى يصل لدرجة نظافة ناعمة تسمى sa21/2.

اختبار التغليف:

يتم إجراء الاختبارات التالية لتحديد صلاحية التغليف:

1- سمك التغليف و يتم قياس سمك التغليف باستخدام الميكروميتر في حالات التغليف السميكة كما يتم قياسه بالوزن في الأجزاء الصغيرة حيث يوزن السطح قبل و بعد التكسية.

2- قوة التلاصق و يتم اختبار قوة التلاصق بشد التغليف من على سطح المعدن و يسمى بالاختبار الاتلافي أو اختبار سقوط كرة من ارتفاع على سطح المعدن.

3- النفاذية يتم اختبار النفاذية باستخدام جهاز اختبار الفجوات (HOLIDAY DETECTOR) و من الخطأ الاعتماد كلية على هذا الجهاز لأنه لا يمكنه اكتشاف كل أنواع التلف الموجودة في العازل مثل هل الطبقة الأولى من العازل بثخانة أم لا و هل هي موجودة أم لا أو ما إذا كان هناك بعض الأتربة بين لفات العازل و الذى يمكن أن يكشف عنه هذا الجهاز هو ثخانة العازل و خلوه من الثقوب و الفقاعات و المواد الموصلة الغريبة و إذا كان العازل يلف في الموقع فانه يجب أن يختبر مرتين.

- المرة الأولى: و لا يلزم أن تكون على كل الماسورة بل فقط في المناطق التي يحتمل وجود تلف فيها لتغير درجات الحرارة أو الشد اللازم للف نتيجة طريقة النقل.
- الاختبار الثاني: قبل تنزيل المواسير داخل النفق و يجب أن يكون التغليف دقيقاً و معنى ذلك أنه يجب الكشف على المواسير بدقة خطوة خطوة و إصلاح ما قد يكون تالفاً و هذا يعطى كفاءة للحماية و جعل المواسير تعيش طويلاً.

4- مقاومته للتآكل.

5- اختبارات خاصة.

6- الإنذار المبكر للتآكل:

- دراسة الحالة الفيزيائية: دراسة المعدن و مقاومته للتآكل.
- دراسة الحالة الكيميائية للوسط الأكال.

7- تغيير جهد الوسط الأكال:

تعتمد نظرية عمل نظام الحماية الكاثودية على منع سريان تيار التآكل من الجسم المراد حمايته (خط الصلب) فإذا تم عكس الفولت فان التيار ينساب من التربة إلى سطح الجسم و بذلك يتوقف التآكل.

و حيث أن أيونات الصلب أو الحديد Fe^{++} تنتقل إلى الوسط الالكتروليتى المحيط بالمنشأ سواء كان تربة أو ماء إذا ما توافر فرق جهد كافي بين ذلك الجسم و الوسط و نتيجة لذلك ينساب الأيون الموجب Fe^{++} من الجسم إلى التربة.

فإنه إذا انتقل تيار كهربي مستمر من الوسط الالكتروليتى إلى سطح المنشأ (في عكس اتجاه تيار التآكل) فإن سطح المنشأ يصبح كاثود و لا يتآكل.

و هذا يتحقق بطريقتين:

- استخدام الآوانيد المستهلكة SACRIFICIAL ANODES.
- التيار المسلط IMPRESSED CURRENT.

و لكل طريقة مجال تطبيق معين و تعتمد المفاضلة بينها على عوامل فنية و اقتصادية و مع ذلك يمكن الجمع بين النظامين في مشروع واحد.

نهاية الفصل الأول

الفصل الثاني

تصنيف اختبارات التآكل

1.2 مقدمة (Introduction):

يعتبر اختبار التآكل من الجوانب المهمة جداً في عملية التآكل، حيث يتم استخدام تقنيات متنوعة ومتقدمة تساعد في الكشف عن ظاهرة التآكل وتجنب انهيارات كارثية ناتجة عن عمليات التآكل.

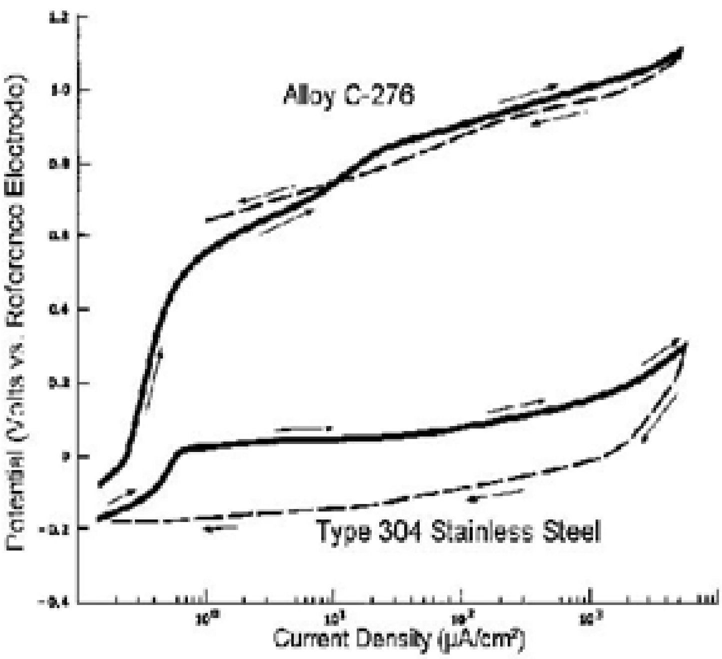
نظراً للتنوع الكبير في الأسباب المؤدية لحدوث ظاهرة التآكل فقد تم تصنيف اختبارات التآكل حسب ما يلي:

حسب نوع الاختبار (Type of test):

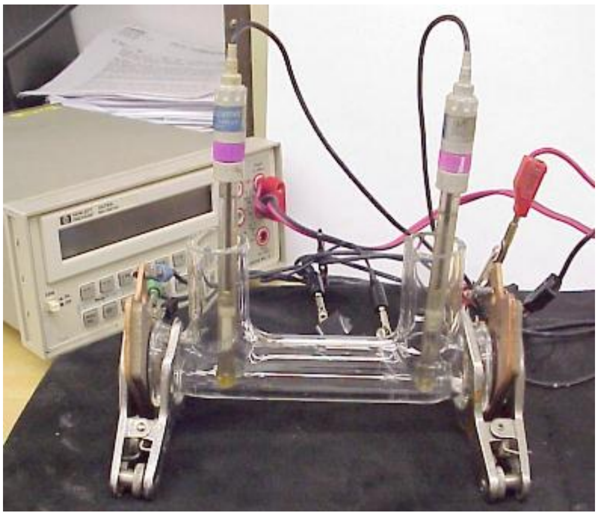
1- الاختبارات الكهروكيميائية (Electrochemical Tests):

جميع عمليات التآكل هي عمليات كهروكيميائية ناتجة عن تفاعلات الأكسدة، حيث أن الالكترونات تتحرر من المعدن (الأكسدة)، وتستقبلها عناصر أخرى تكون السبب في التآكل.

التآكل هو عملية تدفق للالكترونات (التيار)، وبالتالي يمكن التحكم بتدفق هذه الالكترونات وقياس كمية التدفق بواسطة جهاز الكتروني. يمكن استخدام الطرق التجريبية الكهروكيميائية لتوصيف تآكل المعدن في ظل الالكتروليت المتواجد. يمكننا معرفة معدل التآكل من الشكل التالي:



الشكل (12): العلاقة بين معدل التآكل وكثافة التيار



الشكل (13): الاختبار الكهروكيمياوي

2- الاختبار في كبينة (خزانة) (Cabinet Tests):

يشير هذا الاختبار إلى الاختبارات التي تتم في خزانات مغلقة، حيث يتم التحكم في ظروف التعرض. معظم هذه الخزانات مصممة لخلق محاكاة سريعة لعملية التآكل.

يستخدم هذا النوع من الاختبارات عادةً لتحديد سير عملية التآكل للمواد المعدة للاستخدام في الأجواء الطبيعية. من أجل ربط نتائج الاختبار مع أداء المادة في الخدمة، فمن الضروري وضع عوامل لتسريع العملية، والتحقق من أنّ آليات التآكل تتبع المسار نفسه في الواقع.

الشكل (14): كبينة الاختبار

3- اختبار الغمر (Immersion Testing):

يجرى هذا الاختبار لتقييم تآكل المعادن في المحاليل المائية، حيث تغمر العينة في محلول التآكل لفترة معينة ومن ثم يتم فحصها. يعتبر هذا الاختبار من الاختبارات البسيطة نوعاً ما، ولكن هناك معايير محددة يجب

توافرها أثناء الاختبار (التهوية – درجة الحرارة – أسلوب الغمر – مدة الاختبار – إعداد السطح) حتى نضمن عملية المحاكاة بشكل كامل.

الشكل (15): اختبار الغمر

4- الاختبار عند درجة حرارة وضغط مرتفعين (High-Temperature and High-Pressure Corrosion Testing):

يستخدم في مثل هذه الحالة اختبار الأتوكلاف للتآكل، حيث يعتبر هذا لاختبار وسيلة مريحة في تأمين محاكاة لعدد كبير من بيئات الخدمة، ويتميز بوثوقية عالية في حال الحرارة والضغط المرتفيعين.يستخدم غاز الآزوت من أجل تامين الضغط ويتم التسخين الكهربائي.

الشكل (16): جهاز الأوتوكلاف

5- الاختبار الجوي (Atmospheric Corrosion Tests):

في هذا النوع من الاختبار يتم وضع العينات المراد دراسة ظاهرة التآكل عليها في الهواء الطلق، وتترك لمدة معينة.

الشكل (17): الاختبار الجوي

6- الاختبار في ماء البحر (Seawater corrosion testing):

كما هو الحال في البيئات الأخرى فإن الاختبار في ماء البحر يعتمد على محاكاة الظروف البيئية الفعلية التي تمر بها المادة، هذه الظروف البيئية متغيرة بشكل واسع، حيث تتحكم بها درجة الحرارة، كمية الأوكسجين المذاب، نوع ومقدار التلوث البيولوجي، التكاثر الطبيعي للميكروبات....الخ.

وبالتالي عند إجراء هذا النوع من الاختبارات يجب مراعاة جميع الظروف والمتغيرات من أجل ضمان دقة النتائج.

الشكل (18): الاختبار في ماء البحر

7- الاختبار في المياه العذبة (Freshwater corrosion testing):

يتم إجراء هذا الاختبار من أجل تحديد خصائص التآكل للمياه، ومن أجل تقييم سلوك المواد المختلفة عند تعرضها للمياه، ولمعرفة الطرق التي تساعدنا في التخفيف من ظاهرة التآكل.

متغيرات هذا الاختبار المتعلقة بكيمياء المياه تشمل ما يلي:

درجة حمضة المياه، المقاومة الكهربائية، تركيز المواد المسببة للتآكل، درجة الحرارة والضغط، الأكسدة المحتملة.

وهناك متغيرات غلفانية يجب مراعاتها أيضاً من أجل توفير محاكاة دقيقة لظروف العمل.

8– الاختبار في درجة حرارة مرتفعة (High Temperature Corrosion Test):

يتم استخدام جهاز الأوتوكلاف الذي تم ذكره سابقاً.

حسب نوع التآكل (Testing for Corrosion Types):

1- اختبار التآكل المتجانس (Uniform corrosion tests):

أبسط أنواع الاختبارات في حالة التآكل المتجانس هو اختبار فقدان الوزن، حيث يقدم لنا هذا الاختبار معلومات عن معدل التآكل المتجانس. يتم تنظيف العينات المراد فحصها ويتم وزنها قبل الغمر، وبعد الغمر يتم

وزنها مرة ثانية، ويتم تقسيم الوزن على المساحة مضروبة بزمن الاختبار مضروبة بالكثافة، وهكذا نحصل على معدل التآكل.

معدل التآكل=(K.W)/(T.D.A)

W: الوزن بالغرام.

K: ثابت.

$K= 3.45.10^6$ عندما معدل التآكل بواحدة m/y
$K=8.76.10^4$ عندما معدل التآكل بواحدة mm/y

T: الزمن بالساعات.

D: الكثافة g/cm^3

A: المساحة cm^2

2- اختبار التآكل بالنخر (Pitting corrosion tests):

يتم تطبيق اختبار ASTM G48، حيث تنظف العينات وتوضع في محلول ($6\%\ FeCl_3$)، وتترك لفترة معينة، ومن ثم تخرج ويتم تنظيفها بعناية، ويتم مراقبة السطح للكشف عن النخر.

لا ينصح باستخدام طريقة فقدان الوزن، فالخسارة قد تكون صغيرة جداً من أجل حفر عميقة.

الشكل (19): عينات لأنواع مختلفة من الستانلس ستيل في درجة الحرارة 80 درجة مئوية ولمدة 24 ساعة.

3- اختبار التآكل التشققي (crevice corrosion tests):

يتم الاختبار بنفس الطريقة السابقة باستخدام الاختبار ASTM G48، حيث تنظف العينات كذلك وتوضع في نفس المحلول السابق وتترك لفترة معينة، ثم تخرج ويتم تنظيفها بعناية، ويتم بعدها حص السطح لمراقبة التشققات.

4- اختبار التآكل الغلفاني (galvanic corrosion tests):

الطريقة الأكثر شيوعاً في اختبار التآكل الغلفاني هي وصل مادتين مع بعضهما بواسطة كبل وتعريضهما للظروف الخارجية، وتطبيق محاكاة أقرب ما تكون لظروف العمل. يجب الربط بعناية لضمان تحقق الربط الكهربائي بين المادتين، وأحياناً يمكن استخدام جهاز مقاومة مناسب. بعد فترة يتم الكشف عن السطح وملاحظة مقدار التآكل ومن أجل تفاصيل أكثر حول هذا الاختبار يمكن الرجوع إلى ASTM G71.

5- اختبار التآكل بين حدود البلورات (intergranular corrosion tests):

هو نوع من انواع التآكل الموضعي الذي يحصل على طول منطقة حدود الحبيبات يحصل هذا النوع من التآكل نظرا لوجود اختلاف في الخواص الميتالورجية لهذه المنطقة عن المناطق الأخرى فتكون حدود الحبيبات اكثر نشاطا للتفاعل مع الوسط من مناطق الحبيبات نفسها. أولى الاختبارات للكشف عن التآكل بين حدود البلورات تمت عام 1926 وذلك على الفولاذ الأوستينيتي المقاوم للصدأ والمستخدم في خزان يحوي على محلول الكبريتيك وبعض كبريتات النحاس. يوجد عدة اختبارات لكشف التآكل بين حدود البلورات وتعتمد جميعها على تعريض المادة لأوساط مسببة للتآكل لمدة معينة ومن ثم فحص العينة تحت المجهر ومراقبة حدود البلورات.

6- اختبار التآكل التقشري (Exfoliation corrosion tests):

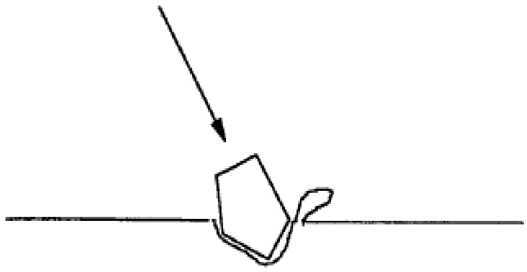
طريقة الاختبار حسب ASTM G34، حيث يستخدم هذا الاختبار لأغراض البحث والتطوير وتتلخص فكرة الاختبار في تعريض السبائك والمواد إلى الهواء الطلق المشابه للظروف البحرية والصناعية، وتركها مدة معينة من الزمن ومن ثم فحصها جيداً من أجل كشف التقشرات الحاصلة أو التي يتوقع حصولها.

7- اختبار التعرية والاحتكاك (Erosion،Cavitation، and fretting corrosion tests):

في هذا الاختبار يتم تمرير تيار من الماء أو الهواء المحمل بالجسيمات الصلبة التي قد تكون (رمل، جسيمات معدنية، شوائب متعددة الابعاد .....الخ) والتي تكون عندها هذه الجسيمات تمثل الجسيمات المحمولة في وسط العمل حيث تعمل هذه الجزيئات على إزالة أجزاء من السطح.

يعتمد الاختبار على تحديد مقاومة السطح لاقتطاع جزء منه تحت تأثير هذه الجسيمات خلال زمن معين، وكذلك النقص في الكتلة من القطعة مع مرور الزمن.

الجسيمات السائلة والصلبة تؤدي إلى عملية الحت وإزالة أجزاء من السطح والاختبار يعتمد على تحديد مدى المقاومة لاقتطاع أجزاء منه تحت تأثير هذه الأجزاء الصلبة والسائلة بل وحتى الغازية.



الشكل (20): آلية التعرية

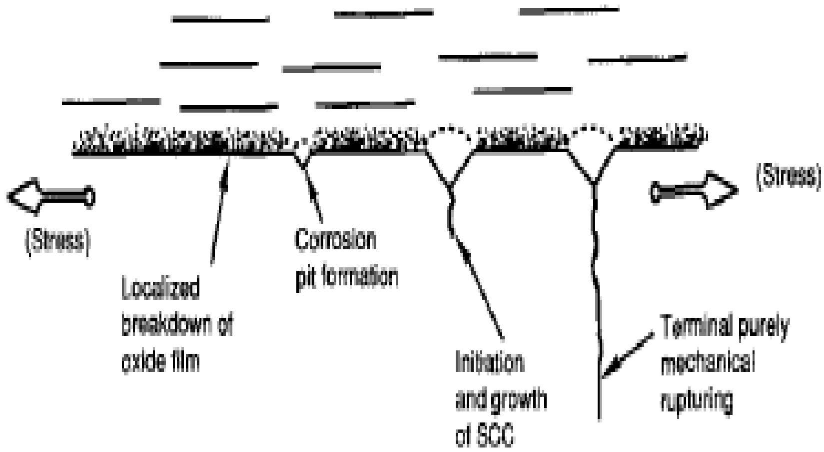
8- اختبار التآكل الانتقائي (Dealloying corrosion tests):

يجري هذا الاختبار في السبائك والتي تكون مكونة من عدة معادن حيث يحدث هذا التآكل وذلك من أجل الكشف المبكر عن التآكل الانتقائي وحيث يحدث بشكل كبير في الأوساط الرطبة.

والتآكل الانتقائي هو انحلال احدى مكونات السبيكة وهو العنصر الأكثر نشاطا وبقاء العنصر أو العناصر الأخرى نتيجة تشكل أزواج غلفانية موضعية صغيرة في مناطق متعددة من المعدن وهذا يؤدي الى فشل موضعي. يتم تعريض السبائك لظروف العمل وبعد مدة يتم فحص السبيكة وملاحظة التآكل الانتقائي.

9- اختبار تآكل التشقق الإجهادي (Environmental Cracking stress corrosion tests):

هو فشل غير متوقع مفاجئ للمعادن التي تتعرض عادة لإجهاد الشد في بيئة مضرة، ولا سيما عند درجة حرارة مرتفعة في حالة المعادن. فكرة الاختبار تعتمد على تعريض المعدن لدرجة حرارة مرتفعة وتعريضه لإجهاد شد ومن ثم تحديد مدى مقاومة المعدن للانهيار.



الشكل (21): تآكل التشقق الإجهادي

اختبارات التآكل في الصناعة (Testing in industrial):

1- السيارات (Automotive):

لعبت اختبارات التآكل دورا رئيسياً في تطوير مقاومة للتآكل للسيارات .الاختبارات عموماً تصنف إلى الاختبارات المعملية أو الاختبارات الميدانية و الفرق ينطوي على طبيعة البيئة التي يجري فيها لاختبار.

الاختبارات المعملية تجري في مختبر يحاكي البيئة حيث يتم تعريض معدن السيارات إلى بيئات قاسية تعطينا فكرة مستقبلية عن سلوك التآكل لهذا المعدن على المدى الطويل، في حين أن الاختبارات الميدانية أجريت في البيئة الطبيعية أثناء فترة وضع السيارة في الخدمة. ويتم الحصول على نتائج الاختبارات المعملية في أقصر الأوقات، إلا أن نتائج الاختبار الميداني هي أكثر موثوقية بسبب أنها تنفذ في البيئة الفعلية.

الشكل (22): التآكل في السيارات

2- الطائرات التجارية (Commercial Aircraft):

يجرى عادة اختبارات شاملة للطائرات للكشف عن مشاكل التآكل للطائرات في بيئات الخدمة المختلفة واعطاء تقنيات متعددة لمكافحة التآكل والاختبارات الأكثر استخداماً هي الاختبارات اللاإتلافية بواسطة الأمواج فوق الصوتية.

الشكل (23): التآكل في الطائرات

3- الطائرات العسكرية والمعدات المرتبطة بها (Military Aircraft and associated equipment):

خلال أداء الطائرات العسكرية لمهمتها فإنها من المحتمل أن تتعرض لكثير من البيئات القاسية مثل درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة (60 درجة فهرنهايت – 140 فهرنهايت) /(- 51.1 الى 60 درجة مئوية) والظروف الرطبة بالكامل كذلك الأمطار وندى الصباح والهجوم البيولوجي لذلك فإن اهم الاختبارات التي تجرى على المقاتلات العسكرية هي:

- اختبار الصدمة الحرارية
- نمو الفطر (الفطريات)
- الضباب الملحي
- انخفاض الضغط
- الاشعاع الشمسي
- المطر
- الرمال و الغبار

الشكل (24): اختبار الطائرات العسكرية

4- خطوط الأنابيب (Pipeline):

ويتم اختبار تآكل خطوط الأنابيب لأسباب عدة اولاً هو لتقييم حالة خط الأنابيب لتحديد سواء كانت آمنة أم غير آمنة للعمل. إذا كان هناك حاجة لإصلاحات، يتم إجراء اختبار لتحديد ما إذا كان الإصلاح ممكناً أو إذا هناك حاجة إلى استبدالها. سبب آخر لاختبار الأنابيب هو لتقييم فعالية تدابير مكافحة التآكل، مثل مثبطات لأسطح الأنابيب الداخلية أو الحماية الكاثودية للأسطح الداخلية أو الخارجية. و من أكثر الاختبارات استخداما للأنابيب:

- الاختبار البصري.
- الاختبار بالأمواج الفوق صوتية.
- أما إذا كان الأنبوب مدفون داخل التربة فإن يتم اختباره بقياس الكمون المار منه الى التربة.

الشكل (25): التآكل في خطوط الأنابيب

5- اختبارات التآكل في خطوط نقل الطاقة الكهربائية (Electric Power):

تستخدم الاختبارات على كافة الموصلات المستخدمة في نقل القدرة الكهربائية و خطوط النقل الهوائية مثل الاختبارات التي تحدد مقاومة العنصر التشققي الإجهادي. موصلات الألمنيوم تم تعريضها الى اختبار الانغماس وفيها يتم وصل موصل الى ناقل كبير والذي تم تصميمه بحيث يمكن تطبيق إجهاد عليه وعندها يغمس في محلول NaCl 7% وذلك لمدة 300 ساعة للعنصر وعندها لا يجب أن يظهر أي شكل للتشقق الإجهادي ويتم تنفيذ ذلك الاختبار بعد أن يتم تحضير العينة حسب مواصفات ASTM حسب الاختبار (ASTM G 443، G 474،and G 645). وبشكل مشابه خلائط النحاس وذلك لمعرفة متطلبات النحاس ليجتاز التشقق الإجهادي حسب الاختبار (ASTM B 154[6]).وقد جرت عدة محاولات في الماضي لعدة اختبارات لتحل محل هذا الاختبار مثل اختبار الحل Mattsson's (ASTM G 377). العديد من العناصر مثل النواقل، الأبراج الكهربائية الفولاذية والبراغي يجب إجراء اختبارات التآكل عليها بشكل روتيني واضافة العديد من التحسينات ومع ذلك يجب ادخال التحسينات لهذه العناصر لمقاومة التآكل.

الشكل (26): التآكل في خطوط نقل الطاقة الكهربائية

6- اختبارات التآكل في مولدات البخار (Steam Generation):

التآكل العام و الاختبارات المتنوعة:

لتحديد	طريقة الاختبار
معدل التآكل والنخر	الانحناء U
معدل التآكل، النخر وجهد الانتقال	الاستقطاب
مواضع و انتشار الشقوق	الشق
الأزواج الكمونية، تآكل التشقق، النخر تأثير pH،O_2، درجة الحرارة،معدل التآكل، السرعة	الأزواج الغلفانية للمعادن الغير متشابهة
التآكل، معدل التعرية	راسم الاشعة، وزرع النظائر المشعة

اختبار الضغط:

الانحناء -U، الحلقات – C قدرة احتمال عينات الجوائز	زمن بدء σ التشققي الإجهادي
آليات الانكسار للعينات تحت معدل انفعال الثابت	فترة الحضانة da/dt،
الاستقطاب – الأنودة	كمون الانتقال

تآكل التعب (الدورات المنخفضة و العالية):

معدل التعب – اختبار بالأمواج فوق الصوتية	معدل التعب، عدد دورات بدء الانكسار
عينات آليات الانكسار	Δkth،da/dn

الاختبارات الميدانية:

تآكل توليد الهيدروجين في البخار	انبوب المرجل، مغذي الماء للنظام، تآكل لوحة الدعم لمولد البخار PWR
درجة الحموضة	التآكل الموضعي، التأثرية الكهربائية العامة
التحليل الكيميائي Fe – Cu – Zn في الماء المستخدم	التآكل للتوربينات والانابيب

7- اختبارات التآكل في مجال الالكترونيات (Electronics):

الاختبار	المرجع القياسي	الاستخدام
الرطوبة (دون تكثيف)	IEC 68-2-3	عند الاستخدام والتخزين في الرطوبة العالية
الرطوبة (تكثيف)	D2247،ASTM D 1735	عند الاستخدام والتخزين في الرطوبة العالية
درجة الحرارة (البرودة)	IEC 68-2-2	عند الاستخدام والتخزين في لبرودة الشديدة و عند اهتراء الطلاء والتغليف
درجة الحرارة (ساخن)	IEC68-2-11،ASTM B 117	عند الاستخدام والتخزين في درجات الحرارة المرتفعة وعند التخمير وعند اكسدة المعدن
البخ الملحي (ضباب)	ISO 3769،ASTM G 85	يستخدم من اجل التغليف
AASS	ISO 3769،ASTM G 85	يستخدم من اجل التغليف
CASS	ISO 3770،ASTM B 368	يستخدم من اجل التغليف
بخ الملح الدوري	SAE J1563،ASTM D 2933	العلب الالكترونية
ثاني اوكسيد الكبريت	، IEC 68-2-42،ASTM G 87 DIN 40	التغليف بالمعدن النبيل (اختبار المسامية)
سولفيد الهيدروجين (H_2S)	DIN 40 046،IEC 68-2-43	التغليف بالمعدن النبيل(اختبار المسامية)

حمض النتريك	ISO 4524/2،ASTM B 735	المسامية عند التغليف بالذهب
الكبريتيت	ASTM B 799	المسامية عند التغليف بالذهب والبلاتينيوم
التخطيط الكهربائي على الورق	ASTM B 741	المسامية عند التغليف بالذهب

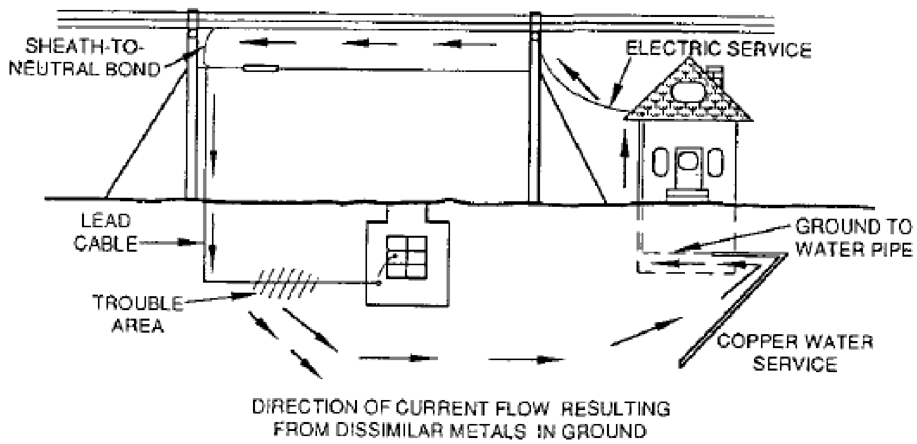
8- اختبارات التآكل في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية (Telecommunications):

إن اختبارات التآكل لكابلات الاتصالات بدأت تتوفر بشكل مبكر حيث تهدف اختبارات التآكل الى إنشاء مقاومة التآكل في العناصر المعدنية المكشوفة في بيئة عملها.

كما تهدف اختبارات التآكل الى تقييم التوافق الغلفاني للمكونات المصنوعة من أكثر من سبيكة ومدى فعالية التغليف والطلاء بواسطة المعدن النبيل ومعادن التضحية كما تستخدم اختبارات التآكل لوضع الاستعداد لـ *SCC* والتشقق الإجهادي الهيدروجيني.

اختبارات اخرى تستخدم لمعرفة اتصال العناصر أو لا (مثل الموصلات الأرضية ومشابك التأريض) بعض عناصر كابلات الاتصال مصنوعة من معادن مغروسة في بولميرات بذلك فإن المعدن يتعرض الى بيئات تآكل في مناطق صغيرة (على الحواف و في مواقع الخلل في البولمير بحيث لا يكون المعدن محمي)، اختبارات التآكل تستخدم لتقييم اختراقية السطح البيني معدن – بولمير وتحديد مقدار التقدم للتآكل على المعدن

ان اختبار تقييم التآكل وذلك لعناصر جديدة او استبدال عناصر بعناصر أخرى تساعد على رفع أدائها، حيث أنه في نطاق واسع من التربة ضمن برنامج الاختبار وذلك باستخدام 52 كابل هاتف مختلف وأجري نظام التدريع في 6 مواقع اختبار مختلفة من قبل ادارة الولايات المتحدة الامريكية لكهرباء الريف (REF) والمكتب الوطني للمعايير بين عامي 1974–1968 نتائج الدراسة تتأثر بشدة بتصميم دروع كابل الهاتف. وأجريت برامج اخرى لمقاومة التآكل للألمنيوم ودراسة النحاس والفولاذ المقوم لصدأ في انواع مختلفة من التربة.



الشكل (27): الاختبار في مجال الاتصالات

9- اختبارات التآكل في أنظمة المعالجة الكيميائية (Chemical Processing):

نوع التآكل	الاختبار	نوع الاختبار
انحطاط الغلاف(الطلاء)	مقاومة AC	كهروكيميائية
سطح التكثيف	الدورق	الكوبون
سطح التكثيف	تبريد الكوبون	الكوبون
تأكل التعرية	الإلكترود الدوار	الكتروكيميائي
تأكل التعرية	حلقة اختيار السرعة	
التآكل الغلفاني	المقاومة الصفرية لمرور التيار	الكتروكيميائي
التآكل الغلفاني	كمون الاستقطاب الديناميكي	الكتروكيميائي
السوائل الموصلة – عام	مقاومة الاستقطاب الخطي	الكتروكيميائي
السوائل الموصلة – عام	استقراء tafel	الكتروكيميائي
السوائل الغير موصلة عام	مقاومة AC	الكتروكيميائي
تحديد الموضع	الضجيج الالكترو كيميائي	الكتروكيميائي
السطح المسخن	السطح الساخن	الكوبون
تأكل النخر والصدع	استقطاب الكمون الديناميكي الدوار	الكتروكيميائي
تأكل التشقق الإجهادي	معدل الانفعال البطيء	الكوبون
تأكل التشقق الإجهادي	سيفون	الكوبون

10- اختبارات التآكل لأنظمة معالجة المياه (Water Handling Systems):

التطبيقات	القياسات	الطريقة
اكثر ملائمة من اجل التآكل الموحد تحت الشروط الثابتة، يمكن تحديد مكان الهجمة مثل النخر، الغلفنة.	متوسط معدل التآكل ويعبر عنه mm/y الوزن يتغير خلال ٣٠ او ٩٠ يوم	اختبار الكوبون
مناسب من أجل معظم الخلائط الهندسية المجس يجب ان يوضع في مكان تدفق كافي ليقدم معدل دقيق	يتم قياس معدل التآكل بواسطة استقطاب الكهركيميائية ±10 mv بين قطبين واتجاه تآكل النخر	LPR
مناسبة للقياس في بيئات القليلة الناقلية اما السائل او البخار عناصر مصنوعة من معظم الخلائط الهندسية	كتلة المعدن المفقود تحدد من مقاومة الشحن للعنصر المتآكل. معدلات التآكل الموحد يتم حسابها من قراءات لا تقيس موضع التآكل	ER
تحديد مستوى جودة الماء في المعالجة الكيميائية الانواع المثبطة والعدائية انحلال او توقف التآكل	التركيز على الانحلال او التوقف المؤقت في نظام السائل متضمنة pH والناقلية ولا تقيس التآكل	التحليل
المحاكاة الانسب للشروط الحرارية هي هجمة التآكل في المبادلات الحرارية، انابيب نقل لحرارة يمكن ان تصنع من معظم الخلائط الهندسية	المراقبة البصرية لهجوم التآكل على السطح الناقل للحرارة يمكن تحديد نسبة التآكل من الفقدان في الوزن من السطح المسخن	الوحدات الناقلة للحرارة
الشروط الحرجة الاكثر ملائمة للمحاكاة هي المبادلات الحرارية	يحدد تأثير السرعة، تدفق الحرارة، المعالجة الكيميائية على التآكل، الملوثات.	اختبار مبادل الحرارة

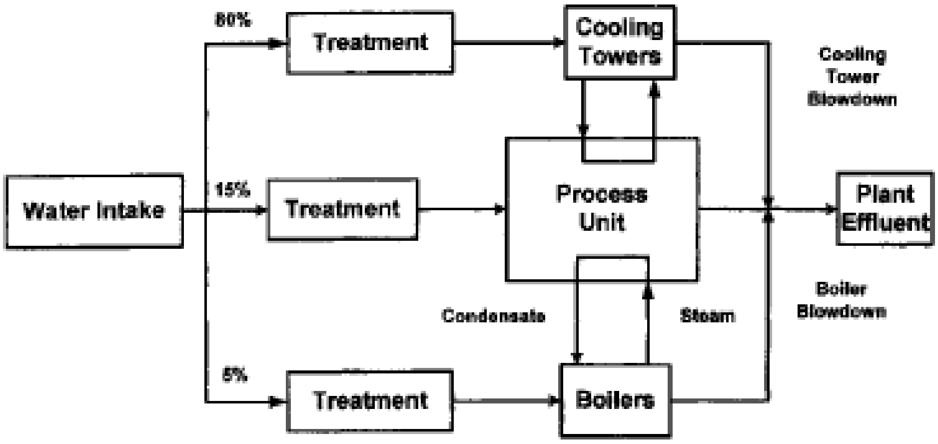
اختبارات التآكل حسب الوسط المحيط (Testing in Environments):

1− ماء الصناعة (Industrial Waters):

يشير مصطلح ماء الصناعة إلى المياه المستخدمة في محطات التشغيل. وعادة ما تكون المياه القادمة إلى المصنع من مصدر سطحي (الأنهار−البحيرات...الخ) أو من مصدر جوفي (الآبار).

يتم معالجة المياه للتخلص من المواد الصلبة العالقة ومن أجل التحكم في المحتوى البيولوجي ومن أجل السيطرة على عمليات التآكل.

المواد المنحلة في الماء تعتمد على مصدر هذه المياه، كما قد تحوي المياه على غازات منحلة كالأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون.



الشكل (28): معالجة ماء الصناعة

الاعتبارات التي تؤثر على برامج الاختبار:

الأوكسجين المذاب – القلوية – درجة الحموضة – الكلوريدات – السلفات – كبريتيد الهيروجين – ثاني أوكسيد الكربون – الأمونيا. أحد أهم المتغيرات التي تؤثر على التآكل هي درجة الحموضة، حيث أن التآكل يزداد بسرعة مع انخفاض الـ pH. يعتمد التآكل على انحلال الأيونات في منطقة المصعد واستهلاك الالكترونات في منطقة المهبط.

اختبار الفحص:

تستخدم الاختبارات في مختبر التآكل من أجل فهم التآكل وآليات التثبيط وتطويرها، وهي مفيدة لتحديد طرق العلاج لنظام ما. طريقة الاختبار الأكثر شيوعاً هي غمر العينة، وهناك أساليب أخرى أقل استخداماً وهي طريقة تدوير الأقطاب الكهربائية. الاختبارات والدراسات الكهروكيميائية تستخدم في المقام الأول لتسليط الضوء على آلية التآكل، كما تستخدم كذلك طريقة التحليل.

2- الصناعات الكيميائية (Industrial Chemicals):

يشمل هذا القسم جميع الاختبارات التي تجري على المعدات والمواد المستخدمة في الصناعات الكيميائية.

الجوانب التي تجعل اختبارات الصناعات الكيميائية اختبارات فريدة من نوعها:

1– كل نوع من أنواع الصناعات الكيميائية لها معداتها الخاصة بها والتي تحتاج لاختبارات خاصة.

2– عادة ما يتم استخدام المعدات لسنوات عديدة قبل استبدالها وذلك لارتفاع تكلفتها.

3– المعدات يمكن أن تستخدم لإنتاج أكثر من منتج وبالتالي لا بد من اختبارها بعناية.

طريقة الاختبار:

اختبارات التآكل يمكن أن تقسم إلى اختبارات كهروكيميائية واختبارات لا كهروكيميائية. من بين التقنيات الكهروكيميائية التي استخدمت بنجاح هي طريقة الماسح الاستقطابي، طريقة المقاومة الكهروكيميائية، طريقة مقاومة التآكل المتوقعة، وطريقة المهابط والمصاعد. يتم استخدام رسوم تخطيطية تساعد على فهم النتائج. طريقة الاختبار المختارة يجب أن تحقق محاكاة جيدة لظروف العمل.

الشكل (29): الصناعات الكيميائية

3- النفط (Petroleum):

إنتاج النفط يخلق تحدي فريد من نوعه في مجال اختبارات التآكل وذلك لعدم وجود بيئة كيميائية ثابتة، وإنما يخضع لبيئة طبيعية. هذه البيئة الطبيعية تحوي على مركبات وعناصر كيميائية مختلفة ومتنوعة، وبالتالي فإن بيئات انتاج النفط هي بيئات معقدة ومتغيرة.

إن كيمياء النفط تأتي في المرتبة الأولى من حيث موضوع التآكل وخاصة عندما يكون النفط في الحالة السائلة، من أجل السيطرة على موضوع التآكل يتم العمل من أجل التحكم في التركيب الكيميائي للنفط.

تصنف اختبارات التآكل في هذا المجال حسب المراحل التي تمر بها عملية إنتاج النفط (سائل–غاز–الخ).

إن الجهاز المستخدم في اختبار أجزاء المنشآت النفطية هو جهاز التحليل الكيميائي XRF.

4- غازات ذات درجة حرارة مرتفعة (High-Temperature Gases):

الأجواء الغازية ذات درجة الحرارة المرتفعة التي سيتم مناقشتها هي:

- الأكسدة
- الكربنة
- الكبرتة
- الهلجنة

سيتم شرح اختبارات التآكل لكل نوع من الأنواع السابقة.

أولاً: الأكسدة:

يتم الاختبار وفق ASTM G54.

ثانياً: الكربنة:

إن اختبار التآكل من أجل الكربنة في درجات الحرارة المرتفعة كان أمر صعب للغاية في الماضي، ولكن تطورت أساليب المحاكاة ضمن المخبر وأصبح بالإمكان إجراء اختبارات التآكل.

ثالثاً: الكبرتة:

يتم إجراء اختبار التآكل في المخبر عن طريق استخدام عينات خاصة وإجراء عملية محاكاة لمحتوى الكبريت عليها ومن ثم فحص العينة.

رابعاً: الهلجنة:

تقسم اختبارات التآكل إلى اختبارات الهلجنة بوجود الأوكسجين واختبارات الهلجنة بدون وجود الأوكسجين.

الاختبار يتم في أفران كهربائية وباستخدام عينات سيراميكية على شكل أنابيب وتطبيق المحاكاة عليها، ومن ثم دراسة التأثير.

5- المحاليل العضوية (Organic Liquids):

تستخدم السوائل العضوية بشكل واسع في الصناعة، ويمكن تعريفها على أنها السوائل التي تحوي ذرة كربون واحدة أو أكثر مرتبطة مع ذرات أخرى عن طريق الرابطة التساندية. الذرات المشتركة الموجودة في المحاليل العضوية هي ذرات الأوكسجين والهيدروجين والنتروجين والكبريت والهالوجينات.

أنواع التآكل التي يمكن أن تحدث في المحاليل العضوية هي نفسها التي تم ملاحظتها في المحاليل المائية. يمكن أن يكون هناك اختلاف في التركيب الكيميائي و الكهربائي بين المحاليل العضوية والمحاليل المائية ولكن آليات التآكل هي ذاتها. إن الاختبارات التي يمكن إجراؤها هي اختبار الكوبون والموصف وفق المواصفة ASTM G 31 وكذلك الاختبارات الكهروكيميائية.

إن اختبارات التآكل للمحاليل العضوية بدأت تزداد أهميتها في السنوات الأخيرة وذلك نظراً لانتشار استخدامها في الكثير من الصناعات.

6- الأملاح المصهورة (Molten Salts):

يمكن ملاحظة الأملاح المصهورة على الأسطح المعدنية والسيراميكية بارتفاع درجة الحرارة. من أجل إجراء اختبارات التآكل على الأملاح المصهورة يجب توفير محاكاة لهذه الأملاح ولكن لسوء الحظ فإنه من الصعب إجراء المحاكاة في هذا النوع من التآكل. إن اختبارات التآكل في هذا النوع يصعب التحكم بها لصعوبة ضبط المتغيرات.

7- التآكل في الوسط الخارجي (Outdoor Atmospheres):

يقصد بهذا النوع من الاختبارات للتآكل هو التآكل الحاصل في الأوساط الخارجية اي خارج الأبنية والمنشآت والمعرضة لتأثير الوسط الخارجي حيث يختلف التآكل حسب الوسط المحيط بها ومكان هذا الوسط على الأرض. وهنا نعرض بعض المناطق المختلفة على سطح الأرض ومقدار النقص في الكتلة للفولاذ والزنك خلال سنة كاملة من التعرض للظروف الجوية المحيطة

الزنك	الفولاذ	المكان
0.32	0.26	ديترويت، ميتشيغن
1.43	1.27	نيويورك
1.90	1.60	بيتسبرغ
1.54	1.65	كولومبوس، أوهايو
1.55	2.25	لندن (المملكة المتحدة)
2.09	3.41	كوري بيتش (كارولينا الشمالية)(250m)
1.00	1.00	الدولة الفلسطينية

على أساس التجارب في جميع أنحاء العالم فإن أجواء التآكل يمكن تقسيمها الى ثلاث فئات نوعية وهي التآكل في المناطق الريفية والمناطق البحرية والمناطق الصناعية.

في المناطق الريفية يوجد الحد الأدنى من الأيونات التي تسبب الناقلية الكهربائية كإلكتروليت لذلك فإن تصنيف المناطق الريفية بالتآكل يكون الأخفض.

في المناطق الصناعية تكون درجات التآكل اعلى نتيجة الاختلاف الكبير في الرطوبة و الحرارة حيث هجوم التآكل يعتمد بشكل كبير على هذه العوامل وتتأثر بشكل كبير بالملوثات الصناعية مثل مركبات الكبريت الصلبة والمنحلة والتي تعزز المنحل الكهربائي.

أما البيئات البحرية فإنها أشد البيئات للتآكل التي تتأثر بشكل كبير بالكلوريدات ودرجات الحرارة والرطوبة الجدول التالي معايير ISO لتصنيف التآكل في الغلاف الجوي.

تأكل المعادن و الخلائط – تصنيف التآكل حسب الوسط المحيط	ISO 9223
تأكل المعادن والسبائك – القيم التوجيهية لفئات التآكل حسب الوسط المحيط	ISO 9224
تأكل المعادن والسبائك – عدوانية الاجواء – طرق القياس	ISO 9225
تأكل المعادن والسبائك – معدل التآكل للعينات القياسية من اجل تقييم احتبارات التآكل	ISO 9226

8- التآكل في الأوساط الداخلية (Indoor Atmospheres):

أهم الاختبارات الميدانية:

- الرطوبة ودرجة الحرارة ورصد الندى.
- قياسات تركيز الغازات الآكلة.
- الاختبارات اللازمة لمعرفة تركيز الجسيمات الناعمة والخشنة.

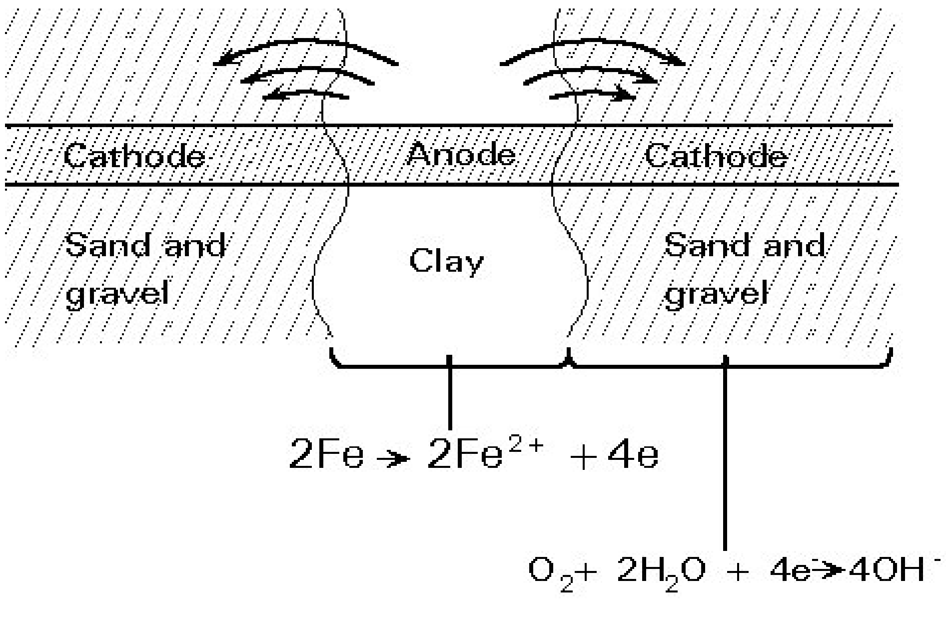
9- التآكل في التربة (Soils):

القياسات المباشرة والغير مباشرة والتقنيات المستخدمة لقياس سلوك التآكل لهيكل معدني مدفون تحت التربة يحتاج أن يتحكم به بشكل غير مباشر أو المراقبة لتحديد الوقت للاختبار المباشر عندما تكون الاصلاحات ضرورية والبحث عن الأسطح المتآكلة عادة ما يكون مكلفاً وتكون عمليات الفحص مقبولة في حالات خاصة من التآكل ومع ذلك فإن تقييم حالة السطح الخارجي لابد منها في بعض الاحيان. وأهم اختبارات التآكل المستخدمة:

- الفحوصات البصرية، مثل ممارسات NACE:

التقييم المباشر للتأكل الخارجي	RP0502
مراقبة التآكل الخارجي لمترو الانفاق او انظمة الانابيب الغارقة	RP0169
التحكم بالتآكل لأنظمة تخزين للصهاريج تحت الأرض والحماية الكاثودية لها	RP0285
التفتيش عن الكمون العالي للأنابيب المغلفة	RP0274
اعتبارات في تقييم واختيار موانع الصدأ ومثبطات التآكل والحماية المؤقتة للتآكل	RP0487
أنظمة طلاء الشمع لأنظمة الأنابيب تحت الارض	RP0375

- قياس كمون الموقع.
- المقاومة الكهربائية للتربة.
- القياسات المخبرية والميدانية لحموضة التربة (pH).
- اختبار النشاط البيولوجي للتربة.
- الاختبارات الالكتروكيميائية.
- التقييم المباشر للتأكل الخارجي (ECDA) لشبكات الانابيب المدفونة.



الشكل (30): التآكل في التربة

10- الإسمنت (Concrete):

أفضل بيئة يمكن فيها اختبار قضبان التسليح هي الإسمنت و هناك عدد من الطرق المتاحة:

ASTM G 109: لتحديد آثار الإضافات الكيميائية على التآكل لحديد التسليح و المكشوفة لبيئات الكلوريد وتستخدم عند ارتفاع نسبة الماء بالنسبة للإسمنت أو عندما يكون غطاء الإسمنت فوق قضبان التسليح صغير. حيث تعتمد على قياس تيار غلفاني بين شريط واحد في الطبقة العلوية واثنين من القضبان في الطبقة السفلية وذلك عند تدويره في بركة تحوي على 3% صوديوم وعندما يتغلغل الكلوريد في الطبقة العليا فإن القضيب في الطبقة العليا يبدأ بالتآكل والتي تكون بالنسبة له القضبان في الطبقة السفلية مهابط والمطلوب هو مراقبة القضبان عند الانتهاء من الاختبار ومحتوى الكلوريد.

إن مثبطات التآكل تعمل على زيادة الوقت للوصول لتيارات تأكل حادة.

نهاية الفصل الثاني

الفصل الثالث

التآكل في فولاذ التسليح

1.3 مقدمة (Introduction):

يعتبر تآكل فولاذ التسليح هو السبب الرئيسي الأول للأضرار التي تحدث بالخرسانة وهذا التآكل يحدث نتيجة عملية تشبع الخرسانة بثاني أكسيد الكربون أو في حالة وجود أملاح الكلوريدات.

فالخرسانة مادة قلوية بطبعها (pH=12.5 or more) وتتكون بسرعة طبقة سالبة عازلة من الأكسيد حول سطح الحديد المدفون في الخرسانة أما إذا كانت قلوية الخرسانة أقل من (pH = 10) فإن هذه الطبقة العازلة تزول وتدمر وفي هذه الحالة وفي وجود الرطوبة والأكسجين فأن حديد التسليح يتآكل . وفي حالة وجود أملاح الكلوريدات في الخرسانة فإن هذه الطبقة العازلة حول الحديد داخل الخرسانة تزول و تدمر في حالة قلوية pH ذات قيم عالية ربما أكثر من (pH=13) وهذا يعتمد على مدى تركيز أيون الكلوريد. وعملية الكربنة للخرسانة تحدث نتيجة اختراق ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو المحيط، وفي حالة وجود الرطوبة فإن هذا الغاز يشكل حمض الكربونيك الذي يقوم بالتعادل مع قلوية نسيج الخرسانة و مكوناتها وعمق نفاذ عملية الكربنة داخل الخرسانة يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي للوقت وذلك حتى لو تمت كربنة الطبقة السطحية للخرسانة بسرعة فإن معدل نفاذيتها داخل الخرسانة تقل بزيادة العمق .وكذلك فإن عملية نفاذية الكربنة داخل الخرسانة تعتمد على المحتوى الإسمنتي وعلى نفاذية الخرسانة ولذلك فإن الأضرار تحدث في الخرسانة في حالة عدم كفاية الغطاء الخرساني أو لعدم كفاءة نوعيته. وعملية الكربنة تكون سريعة النفاذية في الخرسانة الجافة عنها في الخرسانة الرطبة ولكن في كل الحالات فإن كلاً من الرطوبة والأكسجين يكون وجودهما ضرورياً لحدوث عملية الكربنة ولذلك فإن هذه الظاهرة تكون منتشرة في الخرسانة المعرضة للعوامل الجوية أو لعمليات التكثيف وأيضاً في خرسانة المدن الساحلية. ولذلك فإن المواصفات السورية قامت بتحديد نسب وجود أملاح الكلوريدات والأملاح المختلفة داخل الخرسانة. وتوجد أجهزة اختبار كهربائية لاكتشاف صدأ حديد التسليح داخل الخرسانة عن طريق توصيل تيار كهربائي داخل الخرسانة حيث تعمل الخرسانة الرطبة على أنها الكترووليتات وحديد التسليح الصدئ (أي بعد زوال الطبقة السالبة) على أنهما قطبين سالب و موجب لتوصيل التيار الكهربائي بينهما، وكذلك بواسطة هذه الأجهزة يمكن تحديد مقدار الصدأ وتآكل حديد التسليح، وأيضاً يمكن معرفة إذا كان تآكل حديد التسليح متركزاً في مساحة صغيرة أم لا وذلك عن طريق المقاومة الكهربية للدارة السابق تكوينها وذكرها داخل الخرسانة وكذلك عن طريق المساحات النسبية لكل من الأقطاب السالبة والموجبة. وهناك أسباب أخرى لتكون الصدأ وهي

البكتيريا. وهي بالغالب موجودة بالتربة وتقوم بتحويل الأملاح والأحماض إلي حمض الكبريتيك الذي يهاجم الحديد ويسبب عملية الصدأ.

ملاحظة:

يندر حدوث تآكل حديد التسليح في الخرسانة المغمورة دائماً في الماء وذلك لعدم وجود مقدار كاف من الأكسجين الحر اللازم لعملية الكربنة.

تم تفادي صدأ حديد التسليح في الخرسانة بالتقيد بمواصفات التصميم والتنفيذ وبإتباع الكودات المختلفة الخاصة بتصميم القطاعات الخرسانية والتي تعمل علي تقليل احتمالات حدوث الصدأ في حديد التسليح. ومن العوامل المهمة في حماية المباني الخرسانية من صدأ حديد التسليح طريقة استخدام الخرسانة وتحديد محتوي الإسمنت والاهتمام بالمعالجات الخرسانية أثناء التنفيذ.

وهناك طرق مختلفة لحماية حديد التسليح من الصدأ من أهمها:

1- موانع الصدأ:

وهي نوعين يعتمد النوع الأول علي حماية الطبقة السلبية حول حديد التسليح ويعتمد النوع الآخر علي منع توغل الأكسجين داخل الخرسانة.

2- استخدام الحديد المجلفن.

3- دهان حديد التسليح بالإيبوكسي: هذه الطريقة أعطت نتائج إيجابية وخاصة لحديد التسليح المعرض لمياه البحر.

4- حديد ستنلس ستيل.

5- حماية أسطح الخرسانة من النفاذية: وذلك إما باستخدام مادة سائله يتم رشها أو دهانها أو ألواح وطبقات من المطاط أو البلاستيك و نظراً لارتفاع تكاليف هذا النوع من الحديد فإن استخدامه يتم في نطاق محدود ويعتبر الحديد المجلفن ذو كفاءه مناسبة خصوصا للمباني التي تتعرض للكربنة.

2.3- الطريقة القياسية لاختبار نصف الخلية المحتملة لفولاذ التسليح الغير مغلف في البيتون:

1.2.3- لمحة عن الاختبار (Scope):

1- هذا الاختبار يغطي نصف الخلية الكهربائية المحتملة في فولاذ التسليح الغير مغلف وذلك ضمن حقل الاستخدام وضمن المختبر، وذلك بهدف تحديد مقدار التآكل النشط في فولاذ التسليح.

2- يقتصر هذا الاختبار على الدارات الكهربائية. الأسطح الإسمنتية االجافة لدرجة أنها تصبح عازلة والأسطح المغطاة بمادة عازلة لا توفر دارة كهربائية مقبولة. التكوين الأساسي للدارة الكهربائية مبين بالشكل 31.

3- القيم المستند عليها بالوحدات الدولية إنش-بوصة هي التي سيتم الاستناد عليها كمعيار.

4- هذا الاختبار ليس الهدف منه معالجة المخاوف التي تتعلق بالسلامة. يجب على المستخدم لهذا الاختبار الالتزام بقواعد تطبيقه للحصول على نتائج صحيحة.

2.2.3- مرجعية الاختبار (Referenced Documents):

ASTM G3

3.2.3- الأهمية والاستخدام (Significance and Use):

1- هذه الطريقة مناسبة وجيدة لأغراض البحث والتطوير.

2- يمكن تطبيق هذه الطريقة بغض النظر عن الحجم وسماكة طبقة الإسمنت فوق فولاذ التسليح.

3- يمكن تطبيق هذا الاختبار في أي مرحلة من مراحل عمر العنصر المدروس.

4- النتائج التي نحصل عليها من هذه الطريقة لا تفيد في تحديد الخصائص الهيكلية لفولاذ التسليح ضمن الخرسانة.

5- يجب تفسير النتائج من قبل المهندسين والمختصين ذوي الخبرة في مجال التآكل في الخرسانات. غالباً ما يكون من الضروري معرفة محتوى الكلوريد وعمق الكربنة للفولاذ والظروف البيئية المحيطة وذلك لصياغة الاستنتاجات المتعلقة بالتآكل النشط في فولاذ التسليح وتأثيره على حياة الخدمة للعنصر المدروس.

4.2.3- جهاز الاختبار (Apparatus):

جهاز الاختبار يتألف من المكونات التالية:

1- نصف خلية نحاس _ كبريتات النحاس والموضحة في الشكل 32:

- تتألف من قضيب أنبوبي أو حاوية مؤلفة من مواد عازلة غير نشطة مع النحاس و كبريتات النحاس. الخشب المسامي والبلاستيك يمكن أن تبقى مبللة قليلاً بفعل الخاصة الشعرية. يغمر قضيب النحاس في الحاوية التي تحوي محلول كبريتات النحاس. المحلول يمكن أن يصل لدرجة الإشباع وتبقى هناك بلورات غير منحلة تترسب في القاع.

- الحاوية يجب أن يكون قطرها الداخلي لا يقل عن 1 إنش (25 ملم). قطر القطعة المسامية يجب أن لا يقل عن 0.5 إنش (13 ملم). قطر قضيب النحاس المغمور يجب أن لا يقل عن 0.25 إنش (6 ملم). طول قضيب النحاس يجب أن لا يقل عن 2 إنش (50 ملم).
- في نصف الخلية بحدث التفاعل التالي $cu \rightarrow cu^{++} + 2e$ وذلك عند الوصول لحالة الإشباع حيث يكون الجهد للخلية 0.316 V− وعند درجة حرارة 72 فهرنهايت (22.2 درجة مئوية).

2- جهاز كهربائي مهمته تأمين جسر من المقاومة الكهربائية بين نصف الخلية وبين سطح الخرسانة. يتألف الجهاز الكهربائي من إسفنجة مبللة بشكل جزئي تكون على اتصال مع المقاومة الكهربائية. توضع الإسفنجة على رأس نصف الخلية وتؤمن اتصال كهربائي بين القطعة المسامية وبين الخرسانة.

3- محلول الاتصال الكهربائي: من أجل معايرة ومعرفة التدهور في العنصر يجب استخدام محلول اتصال كهربائي مع الجهاز الكهربائي السابق. المحلول يتألف من 95 مل من العناصر المبللة والتي تمزج مع 9 لتر من الماء. درجة حرارة المحلول أقل من 10 درجة مئوية. يجب إضافة 15% من الحجم من الكحول للمحلول وذلك لمنع تسرب المحلول للخرسانة.

4- مقياس فولط

5- أسلاك كهربائية من الرصاص: تستخدم كمقاومة كهربائية ويجب أن يكون طولها كافياً ويتم تغليفها بشكل جيد بمادة عازلة.

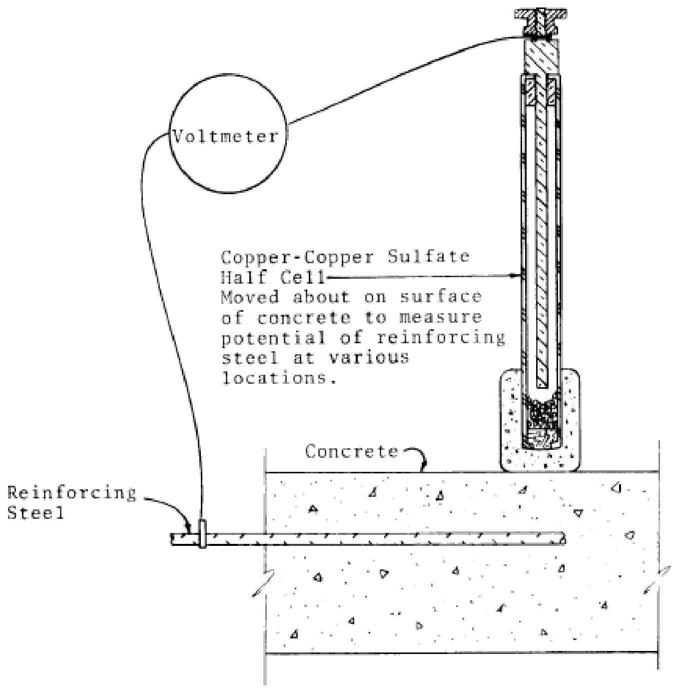
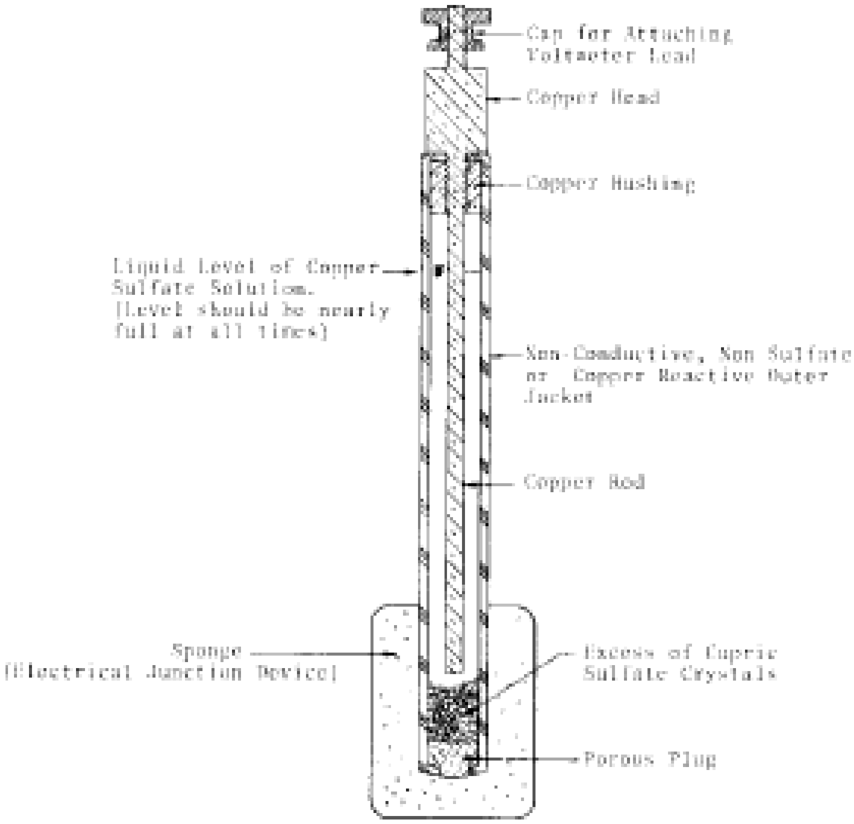


FIG. 1 Copper-Copper Sulfate Half Cell Circuitry

الشكل (31): نصف خلية نحاس – كبريتات النحاس



الشكل (32): مقطع عرضي في نصف الخلية

5.2.3- المعايرة والمقاييس (Calibration and Standardization):

العناية بنصف الخلية: المسامات يجب أن تغطى في حال عدم استخدامها لفترة طويلة للتأكد من أنها لا تجف حتى تصل لدرجة أنها تصبح عازلة (عند التجفيف قد تصبح المسام مسدودة بكبريتات النحاس البلوري). إن تنظيف قضيب النحاس في نصف الخلية يمكن أن يصحح المشكلة، والقضيب يمكن أن يتم مسحه بواسطة محلول حمض الهيدروكليك المخفف.

إن محلول كبريت النحاس يجب أن يجدد إما شهرياً أو قبل كل استخدام ويمكن استخدام الصوف الفولاذي لتنظيف قضيب النحاس أو أنبوب نصف الخلية.

6.2.3- الإجراء (Procedure):

التباعد بين القياسات:

لا يوجد حد أدنى لتباعد القياسات محدد مسبقاً على سطح عنصر الإسمنت، حيث تكون عملياً قيمة صغيرة جداً لأخذ قياسين من نفس النقطة. وبالعكس فإن القياسات المأخوذة في مجالات كبيرة جداً فإنها لن تكشف نشاط

التآكل الحاصل ولا تكتشف تكدس البيانات من أجل التقييم. المجال يجب أن يكون متناسب مع العنصر المراد التحقيق فيه واختباره.

التباعد 4 اقدام (1.2 متر) قد وجدت أنها مرضية لتقييم سطوح الجسور. بشكل عام مجالات التباعد الأكبر تزيد من احتمالية عدم اكتشاف توضع أماكن التآكل. حيث أن القياسات يمكن أن تؤخذ إما بشكل شبكة أو نمط عشوائي. التباعد بين القراءات يجب أن تخفض بشكل عام و يجب أن تظهر القراءات المجاورة اختلاف جبري بمقدار 150mV (مناطق نشاط تأكل مرتفعة). أما المباعدة في الحد الأدنى يجب أن تكون الاختلاف بين القراءات على الأقل 100mV.

الربط الكهربائي مع الفولاذ:

- إجراء اتصال كهربائي مباشر مع قضبان التسليح وذلك بالربط مع مشبك من نوع الضغط أو بواسطة اللحام أو بشكل مختلط مع الجزء البارز من القضيب.
- لضمان عدم وجود مقاومة كهربائية في منطقة الاتصال فإنه يجب أن يتم حك السلك أو تنظيفه بالفرشاة قبل وصله إلى قضيب التسليح. في بعض الأحيان فإن هذه التقنية تتطلب إزالة جزء من الإسمنت للوصول لقضيب التسليح. يتم وصل قضيب التسليح الفولاذي للإسمنت الى الطرف الموجب من مقياس الفولت.
- الوصل يجب أن يتم بشكل مباشر إلى قضبان التسليح الفولاذية ما عدا في حالات التي يكون فيها قضبان التسليح الغير ظاهرة موثوقة مع عنصر فولاذي.

الوصل الكهربائي لنصف الخلية:

يوصل أحد أطراف السلك الكهربائي الموصل الى أحد نهايتي نصف الخلية والنهاية الأخرى لنفس السلك الموصل إلى الطرف السالب لمقياس الفولت.

الترطيب البدائي لسطح الخرسانة:

تحت ظروف معينة، سطح الخرسانة (الإسمنت) أو المادة المغلفة أو الاثنين معاً نجري لهم ترطيب بدائي بإحدى الطريقتين التاليتين وذلك بواسطة المحلول الموضح لإنقاص المقاومة الكهربائية للدارة.

- يتم الاختبار لتحديد الحاجة لـ الترطيب البدائي بأجراء التالي:

  ضع نصف الخلية على سطح الإسمنت ولا تحركها.

  راقب مقياس الفولت من أجل واحد من الشروط التالية:

  a– القيمة المقاسة لنصف لكمون نصف الخلية لا تقلب أو يتغير مع الزمن.

  b– القيمة المقاسة لنصف لكمون نصف الخلية يتغير أو يتقلب مع الزمن.

- اذا تم مراقبة الشرط (a)، الترطيب البدائي لسطح الإسمنت ليس ضروري. على أية حال إذا كان الشرط (b) تم مراقبته فإن الترطيب البدائي مطلوب من أجل مدة من الزمن حتى تصبح قراءة مقياس الفولت ثابتة على (60.02 V) عند مراقبتها لمدة 5min إذا لم يحقق الترطيب البدائي شروط (a)، يكون ذلك إما أن المقاومة الكهربائية للدارة الكهربائية كبيرة جداً للحصول على قياسات الكمون للفولاذ. أو بسبب التيار الشارد للتيار المباشر أو غيرها من تذبذب التيار المباشر، مثل قوس اللحام والتي تؤثر على القراءات. وفي كلتا الحالتين لا ينبغي استخدام نصف الخلية.
- الطريقة a من أجل الترطيب البدائي لسطح الإسمنت: تستخدم الطريقة a من تلك الشروط حيث هناك حد أدنى من الترطيب البدائي للحصول على الشرط a كما هو موضح ويتم تحقيق ذلك إما بالرش أو خلاف ذلك عن طريق الرش لكامل سطح الخرسانة أو فقط نقاط القياس. ولا ينبغي أن تبقى المياه السطحية الحرة بين نقاط الشبكة عندما يبدأ قياسات الكمون.
- الطريقة B من أجل الترطيب البدائي لسطح الإسمنت: ي هذه الطريقة يشبع الإسفنج بالمحلول ويوضع على سطح الإسمنت على المواضع و تترك الإسفنجات في مكانها لفترة من الوقت اللازم للحصول على الشرط a لا تزيل الإسفنجات من سطح الإسمنت حتى الحصول على قراءات كمون لنصف الخلية.

<u>القياسات تحت الماء، بشكل أفقي، بشكل عمودي:</u>

- قياسات الكمون تكشف نشاط التآكل ولكن ليس بالضروري مواضع نشاط التآكل. حيث أن مواضع نشاط التآكل يتطلب معرفة للمقاومة الكهربائية للمادة بين نصف الخلية والفولاذ المتآكل. بينما القياسات تحت الماء أمر ممكن، فإن تفسير النتائج فيما يخص مكان التآكل يتم بعناية فائقة. في كثير من الأحيان ليس من الممكن تحديد نقاط نشاط التآكل تحت الماء في بيئات المياه المالحة لأن القراءات المحتملة على طول العضو المراد قياسه تكون موحدة. على أية حال فإن أهمية القراءات تكمن في تحديد فيما إذا كان نشاط التآكل سوف يحدث أم لا.

  من خلال العناية خلال القياسات تحت الماء فإن نصف الخلية لا تصبح ملوثة و ولا يوجد جزء آخر من طرف المسامية لقطب كبريتات النحاس – نحاس لنصف الخلية يكون على تواصل مع الماء.
- أداء القياسات الأفقي والتصاعدي عمودياً يكون تماما كما التنازلي عمودياً. على أية حال بالإضافة إلى محلول كبريتات النحاس – نحاس في نصف الخلية يجعل الاتصال الكهربائي متزامن مع الاتصال الكهربائي للطرف المسامي والقضيب النحاسي طوال الوقت.

7.2.3- تسجيل قيم كمون نصف الخلية (Recording Half-Cell Potential Values):

– سجل قيم كمون نصف الخلية القريبة من 0.01V.

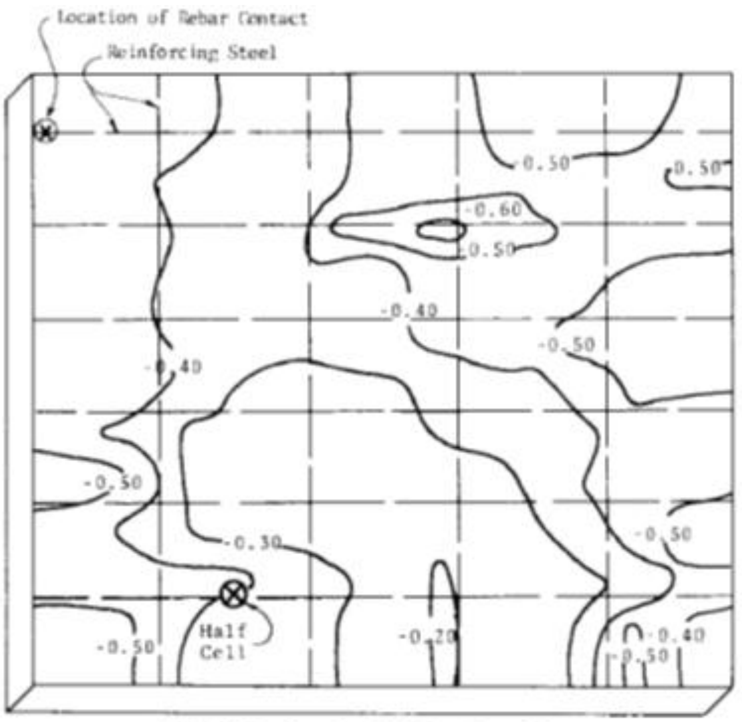
– سجل جميع قيم كمون نصف الخلية بالفولت وصحح النتائج إذا كانت درجة حرارة نصف الخلية خارج المجال (22.2 - 5.5)°C.

8.2.3- عرض البيانات (Data Presentation):

عرض قياسات الاختبار يمكن أن يعرض إما بطريقة واحدة أو بطريقتين.

– الطريقة الاولى خارطة الخطوط المتناسبة، والتي تعطي رسم تصويري للمناطق التي يمكن أن يحدث فيها تآكل.

– الطريقة الثانية الرسم البياني الترددي للدلالة على حجم المنطقة المتأثرة لعنصر الاسمنت.



الشكل (33): خارطة الخطوط المتناسبة

– ترتيب أرقام كمونات نصف الخلية بشكل متوالي بالترتيب من الكمون الأقل سلبية الى الكمون الأكثر سلبية.

– نحدد على المخطط مواقع جميع كمونات نصف الخلية المرقمة وفقا للمعادلة التالية:

$$fx = \frac{r}{\sum n + 1} * 100$$

حيث:

fx : تحديد مواضع الكمون الملاحظة الإجمالية للقيمة الملاحظة.

r : رتبة كمون نصف الخلية الفردي و $\sum n$ العدد الكلي للملاحظات.

– تحديد الإحداثيات لكمون نصف الخلية المحتملة.

– نرسم خطين أفقيين مستقيمين تتقاطع مع القيم الإحداثية $0.20v$ – و $0.35v$ – على التوالي عبر المخطط.

– بعد تحديد كمونات نصف الخلية، نرسم الخط الأكثر مناسبة خلال القيمة.

9.2.3- تفسير النتائج (Interpretation of Results):

– كمونات نصف الخلية تفسر عادة باستخدام تقنية الحجم الرقمية، أو تقنية الاختلاف الرقمي، أو الجمع بين الطريقتين.

– طريقة الحجم الرقمي للكمون عادة تقدم مؤشراً لوجود أو غياب التآكل للفولاذ المثبت في الإسمنت.

– تفسيرات كمون نصف الخلية في ظل ظروف معينة حيث تشبع الخرسانة بالماء حيث يكون الفولاذ قد غلف وتحت شروط اخرى تتطلب مهندسي تآكل أو متخصصين و يمكن أن تتطلب تحليل الكربون والغلاف المعدني و الهاليدات مثل الكلوريد والبروميد وعوامل أخرى.

الخطوط الدليلية وطرق الاختبار أصدرت من قبل ASTM من قبل اللجنة G–1 و النقابة الوطنية لمهندسي التآكل يمكن أن تكون مفيدة جداً في التحقيقات التي تنطوي على تحديد كمونات نصف الخلية.

– كمونات نصف الخلية يمكن أن تكون أو لا تكون مؤشراً لكمون التآكل. كمونات نصف الخلية يمكن أن تعكس بشكل كلي أو جزئي كيميائية القطب.

على سبيل المثال زيادة تركيز الكلوريد يمكن أن يقلل من تركيز الأيونات الحديدية في المصعد الفولاذي وبالتالي خفض الكمون (يجعله أكثر سلبية).

كمون نصف الخلية يجب أن لا يفسر على أنه يدل على معدل التآكل أو أنها تدل على وجود رد فعل التآكل.

10.2.3- التقرير (Report):

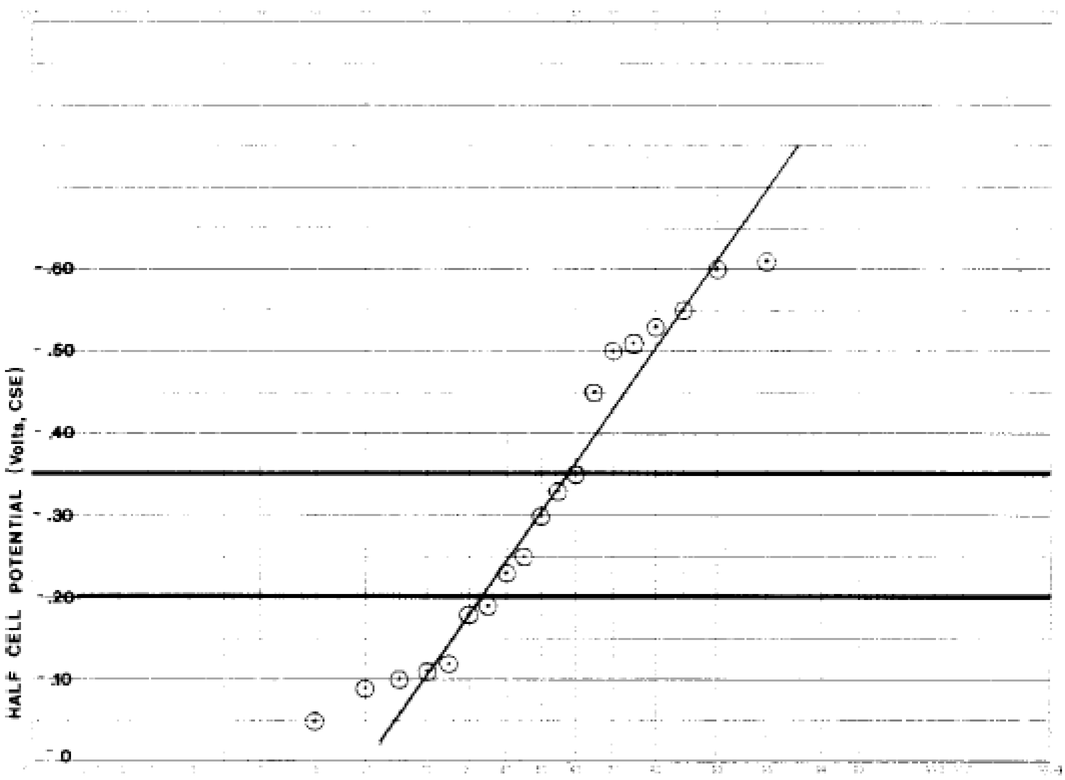
التقرير يضم المعلومات التالية:

1– نوع الخلايا المستخدمة نحاس – كبريتات النحاس.

2- درجة حرارة الخلية أثناء الاختبار.

3- طريقة ترطيب الإسمنت وطريقة ربط جهاز الفولت لفولاذ التسليح.

4- طريقة رسم الخريطة التي توضح درجة التآكل في فولاذ التسليح.



الشكل (34): مخطط تردد الكمونات

نهاية الفصل الثالث

الفصل الرابع

اختبار التآكل في كبينة

1.4 مقدمة (Introduction):

يشير اختبار الكبينة إلى التجارب التي تجرى في خزائن مغلقة، حيث يتم التحكم في ظروف التعرض داخل الخزانة من أجل تسريع التآكل في اختبار ما.

يستخدم اختبار الكبينة بشكل عام لاختبار المواد المعدة للاستخدام في الأجواء الطبيعية، ومن أجل ربط نتائج الاختبار مع أداء الخدمة فمن الضروري إنشاء عوامل تسريع والتحقق من أن آليات التآكل تتابع بالمسار نفسه.

يمكن للتقنيات الحديثة في تحليل السطح أن تكون مفيدة من أجل تتبع مسار التآكل في الكبينة.

الشكل (35): جهاز الكبينة

2.4 أنواع اختبار الكبينة (Types of Cabinet Testing):

1.2.4 اختبار التحكم بالرطوبة (Controlled humidity test):

هناك 15 مواصفة ASTM تفيد في التحكم بخلق الضباب والرطوبة في الكبائن المعدة لاختبار التآكل. إن اختبار الطلاءات واختبار الأنابيب النحاسية يعتبر الأكثر شيوعاً في اختبارات التحكم بالرطوبة. يتم إجراء اختبار

الرطوبة بشكل دوري وذلك بالتحكم بنسبة الرطوبة ودرجة الحرارة والتي أشبه ما تكون قريبة لحالة المناطق الاستوائية. ينبغي تزويد جهاز الاختبار (الكبينة) بحساس لاستشعار الرطوبة ودرجة الحرارة التي تكون متغيرة.

الآلية المستخدمة للتحكم بالرطوبة هي تمرير الهواء عبر الحجرة بواسطة منفاخ وذلك فوق لفائف سخان في الجزء السفلي من الحجرة مع فوهة رذاذ لترطيب التيار الهوائي.

الشكل (36): جهاز التحكم بالرطوبة

2.2.4 اختبار التآكل الغازي (Corrosive gas test):

في هذا الاختبار يتم إضافة غازات مسببة للتآكل إلى الرطوبة وذلك لخلق جو أكثر قسوة. بعض هذه الاختبارات صممت من أجل الكشف عن خصائص المواد.

ASTM B775: توضح طريقة اختبار طلاء الذهب بطريقة التآكل الغازي، حيث يتم استخدام تراكيز عالية من الغازات المسببة للتآكل وذلك للكشف عن الثقوب الموجودة في طلاء الذهب.

ASTM G87: توضح طريقة الاختبار باستخدام ثاني أكسيد الكبريت وهو يشابه جداً للبيئات الصناعية.

ASTM B827: وهي طريقة تستخدم تدفق مزدوج للغاز مثل غاز كبريتيد الهيدروجين وثاني أكسيد النتروجين في غرفة التحكم بدرجة الحرارة والرطوبة، ويتم استخدام هذا الاختبار ولا سيما في صناعة الإلكترونيات.

3.2.4 اختبار الرذاذ الملحي (Salt spray testing):

وهي الطريقة الأكثر استخداماً وتستخدم لفحص العينات المطلية بطلاءات مقاومة للتآكل. الطلاءات المقاومة للتآكل تستخدم لحماية الاجزاء المعدنية بشكل واسع. الطلاء المقاوم للتآكل يمكن أن يوفر حماية جيدة للعناصر ولكن لا بد من التآكل. اختبار الرذاذ الملحي يستخدم للتأكد من فعالية العناصر المحمية وذلك ضد الهجوم المتسارع للتآكل. مدة الاختبار تعتمد على الحماية المتوقعة من الطلاء ويعتبر العنصر محمياً بشكل جيد كلما طالت فترة الاختبار دون أن تظهر أعراض التآكل.

اختبار التآكل بالرذاذ الملحي يعتبر رخيص وسريع ويمكن تكراره أكثر من مرة. هناك علاقة بين مدة رش الرذاذ الملحي والعمر المتوقع للطلاء وهي علاقة معقدة جداً ويمكن أن تتأثر بعوامل خارجية.

رغم هذا التعقيد فإن طريقة الاختبار هذه مستخدمة بشكل واسع في الصناعة.

جهاز الاختبار:

جهاز الاختبار يتألف من غرفة الفحص المغلقة، حيث يتم رش محلول من الملح (أساس+5% كلوريد الصوديوم) بواسطة فوهة.

تنتج هذه الغرفة بيئة ضبابية كثيفة من الملح يتم إخضاع العناصر ضمنها لظروف شديدة من التآكل. الحجم النموذجي لهذه الغرفة هو 15 قدم مكعب وهو أصغر حجم حسب المعايير الدولية.

يتوفر غرف صغير بحجم 9.3 قدم مكعب ولكن الأكثر شيوعاً هو بين 15 حتى 160 قدم مكعب.

الشكل (37): كبينة الرذاذ الملحي

معايير ومقاييس الاختبار:

بناء غرفة الاختبار وإجراء الاختبارات تكون موحدة وفقاً للمعايير الدولية ASTM B117، ISO 9227.

تزودنا هذه المعايير بالمعلومات اللازمة لإجراء الاختبار مثل درجة الحرارة والضغط الجوي ودرجة انحلال الملح ودرجة الحموضة والتركيز وما إلى ذلك من معلومات مهمة للاختبار.

هذه المعايير لا تقدم معلومات عن عمر الطلاءات التي يتم اختباراها ولا عن مظهر التآكل المتوقع.

الطلاءات المختلفة لها سلوك مختلف أثناء الاختبار وبالتالي مدة الاختبار سوف تختلف من نوع لآخر من الطلاءات.

على سبيل المثال اختبار طلاء الزنك على الفولاذ يستمر 96 ساعة دون أن يظهر الصدأ الأبيض، في حين أن النيكل المطلي بالفولاذ يستمر أكثر من 720 ساعة.

الشكل (38): اختبار الرذاذ الملحي على طلاء الزنك

<u>استخدامات الاختبار:</u>

الطلاءات التي يمكن فحصها بطريقة الاختبار هذه هي:

- السطوح المطلية بالفوسفات (ورنيش – لكر – طلاءات وقائية).
- السطوح المطلية بالنحاس و القصدير والكروم والنيكل.
- الطلاءات الكهربائية.
- الطلاءات العضوية.

الشكل (39): صدأ طلاء الزنك بعد الاختبار

الجدول التالي يوضح الطرق الأكثر استخداماً من اختبارات الكبينة:

Test method	Designation	Electrolyte solution			Step number	Step title	Temperature		Relative humidity	Duration	Comments
		Content	Specific gravity	pH			°C	°F			
Static tests											
Salt fog	ASTM B 117	5% NaCl	1.0255–1.0400	6.5–7.2[a]	…	Salt fog	35	95	N/A	24 h/cycle[b]	…
Salt fog	DIN 50021-SS (Similar to ASTM B 117)	5% NaCl	1.0255–1.0400	6.5–7.2[a]	…	Salt fog	35	95	N/A	24 h/cycle[b]	…
Neutral salt fog	ISO 9227-NSS (Similar to ASTM B 117)	5% NaCl	1.029–1.036	6.5–7.2	…	Salt fog	35	95	N/A	24 h/cycle[b]	…
Salt fog	GM 4298P (Similar to ASTM B 117)	5% NaCl	1.0255–1.0400	6.5–7.2[a]	…	Salt fog	35	95	N/A	24 h/cycle[b]	…
Salt fog	Mil Std 810 E (Similar to ASTM B 117)	5% NaCl	1.0255–1.0400	6.5–7.2[a]	…	Salt fog	35	95	N/A	24 h/cycle[b]	…
Acetic-acid salt fog	ASTM G 85 A1	5% NaCl	1.0255–1.0400	3.1 to 3.3[c]	…	Salt fog	35	95	N/A	144–240 h	…
Acetic-acid salt fog	DIN 50021-ESS (Similar to ASTM G 85 A1)	5% NaCl	1.0255–1.0400	3.1 to 3.3[c]	…	Salt fog	35	95	N/A	TBD	…
Acetic-acid salt fog	DIN 50021-ESS (Similar to ASTM G 85 A1)	5% NaCl	1.0255–1.0400	3.1 to 3.3[c]	…	Salt fog	35	95	N/A	TBD	…
Acetic-acid salt fog	DIN 50021-ESS (Similar to ASTM G 85 A1)	5% NaCl	1.0255–1.0400	3.1 to 3.3[c]	…	Salt fog	35	95	N/A	TBD	…
Acetic-acid salt fog	ISO 9227-AASS (Similar to ASTM G 85 A1)	5% NaCl	1.029–1.036	3.1 to 3.3[c]	…	Salt fog	35	95	N/A	TBD	…

Test method	Designation	Electrolyte solution			Step number	Step title	Temperature		Relative humidity	Duration	Comments
		Content	Specific gravity	pH			°C	°F			
Copper-accelerated acetic acid salt fog (CASS Test)	ASTM B 368	5% NaCl 0.25 g CuCl/L solution	1.030–1.040	3.1–3.3[a][c]	…	Salt fog	49	120	N/A	TBD	…
Copper-accelerated acetic acid salt fog	DIN 50021-CASS (Similar to ASTM B 368)	5% NaCl 0.25 g CuCl/L solution	1.030–1.040	3.1–3.3[a][c]	…	Salt fog	50	122	N/A	TBD	…
Copper-accelerated acetic acid salt fog	ISO 9227-CASS (Similar to ASTM B 368)	5% NaCl 0.25 g CuCl/L solution	1.029–1.036	3.1–3.3[a][c]	…	Salt fog	49	120	N/A	TBD	…
Humidity fog	ASTM D 1735	ASTM type IV water only	…	…	…	Humidity fog	38	100	N/A	24 h/cycle (com.)	Similar to ASTM B 117, except without the salt
Humidity fog	GM 4465P (Similar to ASTM D 1735)	ASTM type IV water only	…	…	…	Humidity fog	38	100	N/A	[b]	…
High humidity	ASTM D 2247	ASTM type IV water only	…	…	…	Soak	38	100	100%	Per customer	Use air distributor pipe or equivalent.
Corrodkote	ASTM B 380	Special slurry[d] (ASTM D 2247)	N/A	N/A	1	Slurry application	Ambient		>50%	1 h (to dry)	…
					2	Humidity fog	38	100	80–90%	20 h = 1 cycle	
Static or cyclic test											
Moist SO_2	ASTM G 87 (Kesternich)	Deionized water inside the cabinet for wet bottom is the only solution (ASTM D 2247)	…	…	1	SO_2 gas injection	Ambient		Ambient	0.2–2 L as required	…
					2	Soak[e]	40	104	N/A	Method A, 24 h; Method B, 8 h	
					3	Ambient[f] (method B only)	20–30	68–86	>75%	16 h	
Cyclic tests											
Moist SO_2	DIN 50018 (Kesternich)	Deionized water inside the	…	…	1	SO_2 gas injection	Ambient		Ambient	0.2 or 2 L as specified	…

Test method	Designation	Electrolyte solution: Content	Specific gravity	pH	Step number	Step title	Temperature °C	°F	Relative humidity	Duration	Comments
	(Similar to ASTM G 87, method B)	cabinet for wet bottom is the only solution			2	Soak[e]	40	104	N/A	8 h	
					3	Ambient[f] (B only)	20–30	68–86	>75%	16 h	
Cyclic acidified acetic salt fog	ASTM G 85, A2	5% NaCl	1.0255–1.0400	2.8 to 3.0[g]	1	Salt fog	49	120	N/A (wet bottom)	¾ h	...
					2	Dry	49	120	7–40%	2 h	
					3	Soak	49	120	65–95%	3 ¼ h	
Acidified synthetic sea water (SWAAT test)	ASTM G 85, A3	Synthetic sea water with 10 mL glacial acetic acid/L	1.0255–1.0400	2.8 to 3.0	1	Salt fog	24–49 (TBD)	75–120 (TBD)	N/A (wet bottom)	½ h	...
					2	Soak	24–49 (TBD)	75–120 (TBD)	<98%	1 h	
Salt fog/SO_2	ASTM G 85, A4	5% NaCl or synthetic sea salt	1.0255–1.0400	2.5–3.2[a]	1	Salt fog	35	95	N/A	a. Constant b. ½ h[h]	...
					2	SO_2 addition	35	95	N/A	a. 1 h/6 h b. ½ h[h]	
					3	Soak	35	95	N/A	a. N/A b. 2 h[h]	
Dilute electrolyte fog/dry	ASTM G 85, A5	0.05% NaCl 0.35% $(NH_4)_2SO_4$	N/A	5.0–5.4[a]	1	Salt fog	Ambient		>75%	1 h	Humidifying tower is bypassed or drained with heat off
					2	Dry	35	95	N/A	1 h	
Scab corrosion creepback	GM 9511P	5% NaCl	N/A	N/A	1	Dry/immersion	60/ambient	140/ambient	N/A	1 h/15 min	Monday, 5 steps; Tuesday through Friday, first 3 steps only, 1 cycle = 24 h. Parts in humidity cabinet Saturday and Sunday
					2	Cold/ambient	-25/ambient	-13/ambient	N/A	30 min/75 min	
					3	Immersion/humidity	Ambient/60	Ambient/140	N/A/85%	15 min/ 22 h, 30 min	
					4	Ambient	N/A	N/A	75 min		
					5	Humidity	60	140	85%	21 h	
Cyclic corrosion test	CCT IV	5% NaCl	N/A	Not specified	1	Salt fog	50	122	N/A	10 min	Repeat steps 4 and 5 five times. No cycle <24 h, 10 min
					2	Dry	60	140	<30%	2 h 35 min	
					3	Humidity fog	60	140	95%	1 h 15 min	

Test method	Designation	Electrolyte solution: Content	Specific gravity	pH	Step number	Step title	Temperature °C	°F	Relative humidity	Duration	Comments
					4	Dry	60	140	<30%	2 h 40 min	
					5	Humidity fog	60	140	95%	1 h 20 min	
Cyclic corrosion test	GM 9540P	0.9% NaCl, 0.1% $CaCl_2$, 0.25% $NaHCO_3$	N/A	6.0 to 9.0	1	Ambient	25	77	40–50%	8 h	Step 5 for 5 days/week, run only 4 times. Steps 1–4 for 7 days/week, run daily
					2	Spray	25	77	40–50%	During step 1, 4 sprays, 90 min apart	
					3	Humidity fog	49	120	100%	8 h	
					4	Dry	60	140	<30%	8 h	
					5	Ambient	25	77	40–50%	48 h	
Cyclic corrosion test	SAE J2334	0.5% NaCl, 0.1% $CaCl_2$, 0.075% $NaHCO_3$	N/A	N/A	1	Humidity fog	50	122	100%	6 h	Step 4 for 5 days/week, run only 4 times. Steps 1–3 for 7 days/week, run daily
					2	Spray (ambient)	25	77	40–50%	15 min	
					3	Dry	60	140	50%	17 h, 45 min	
					4	Dry	60	140	50%	48 h	
Cyclic corrosion test	Ford APGE	5% NaCl	N/A	6.0–8.0	1	Immersion	23	73	N/A	15 min	Step 4 for 5 days, run only 4 times. Steps 1–3 for 7 days, run daily
					2	Ambient	20–30	68–86	>75%	1 h, 15 min	
					3	Humidity fog	50	122	85–95%	22 h, 30 min	
					4	Humidity fog	50	122	85–95%	48 h (weekend)	
Cyclic UV-condensation/salt fog-dry exposure	ASTM D 5894 (Ref: ASTM D 4587, ASTM G 85, A5)	0.05% NaCl 0.35% $(NH_4)_2SO_4$	N/A	N/A	1	UV exposure[i]	60	140	N/A	4 h	Steps 1–2, 168 h, then steps 3–4, 168 h (total, 1 cycle)
					2	Condensation	50	122	N/A	4 h	
					3	Salt fog	Ambient		>75%	1 h	
					4	Dry	35	95	N/A	1 h	

نهاية الفصل الرابع

الفصل الخامس

النشاط العملي

تم القيام في هذا الفصل بسرد عملي لطريقة إجراء تجربتي اختبار التآكل في فولاذ التسليح و اختبار التآكل في الكبينة اللذين تم التحدث عنهما في الفصلين الثالث والرابع على التوالي.

1.5 اختبار التآكل في فولاذ التسليح:

1.1.5 مبدأ الاختبار:

- هذا الاختبار يهدف إلى تحديد مقدار التآكل في قضبان التسليح عن طريق قياس فرق الكمون بين قضيب التسليح الفولاذي وبين السطح البيتوني.
- حيث تم وصل أحد أقطاب مقياس الفولط إلى قضيب التسليح الفولاذي والقطب الثاني إلى مسرى النحاس المتصل مع السطح البيتوني.

2.1.5 الأدوات المستخدمة في الاختبار:

- صبة بيتونية أبعادها 20*20*5 cm تحتوي على ثلاث قضبان تسليح فولاذية بقطر 8mm وطول 30cm.

الشكل (40): صبة بيتونية تحوي ثلاث قضبان تسليح فولاذية

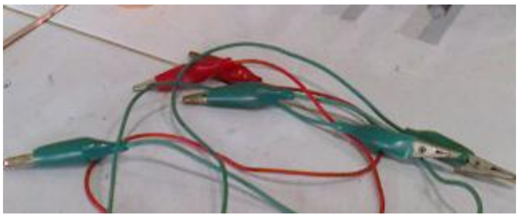
- مقياس فولت.

الشكل (41): مقياس فولت المستخدم

- مسرى نحاسي مؤلف من أنبوب يحتوي على محلول كبريتات النحاس ومغمور فيه صفيحة من النحاس.

الشكل (42): مسرى النحاس المستخدم

- أسلاك توصيل.



الشكل (43): أسلاك التوصيل المستخدمة

3.1.5 طريقة إجراء الاختبار:

- تم إجراء الاختبار في وسطين أحدهما ملحي والآخر مائي.
- تم تبليل سطح الصبة البيتونية بالماء وتركها لمدة معينة حتى تتشرب بشكل جيد بالماء ونضمن وصول الماء إلى قضبان التسليح الفولاذية داخل الصبة البيتونية.
- تم تحضير محلول كبريتات النحاس المستخدم في مسرى النحاس وذلك بوضع 2.5g من كبريتات النحاس الصلبة في 50ml من الماء المقطر وتم وضعه على جهاز المزج لمدة خمس دقائق وتُرك حتى تنحل جميع جزيئات كبريتات النحاس بعد ذلك تم اضافة كمية قليلة من كبريتات النحاس لتجاوز درجة الإشباع بقليل.

الشكل (44): تحضير محلول كبريتات النحاس

- تم ملئ المحلول ضمن أنبوب اختبار مغلق من أحد طرفيه بقطعة من الاسفنج المضغوط وذلك لتحقيق تسرب بطئ وغير كامل للمحلول إلى سطح صبة البيتون.
- بعد وصول الماء إلى قضبان التسليح داخل الصبة تم وصل القطب الموجب إلى فولاذ التسليح والقطب السالب إلى مسرى النحاس.
- تم تحريك المسرى على عدة نقاط متباعدة على طول القضيب الفولاذي المختبر (خمس نقاط متباعدة).
- تم تحديد قراءات فرق الكمون للنقاط الخمسة وتكرر العملية من أجل قضيبي الفولاذ الأخريين.

الشكل (45): طريقة إجراء الاختبار وقراءة القيم

4.1.5 النتائج:

- الوسط المائي:

القضيب الأول:

قيمة الكمون (فولت)	نقطة الاختبار
−0.354	1
−0.349	2
−0.344	3
−0.341	4
−0.338	5

القضيب الثاني:

قيمة الكمون (فولت)	نقطة الاختبار
−0.149	1
−0.152	2

3	−0.153
4	−0.151
5	−0.150

القضيب الثالث:

نقطة الاختبار	قيمة الكمون (فولت)
1	−0.235
2	−0.239
3	−0.216
4	−0.211
5	−0.212

- **الوسط ملحي:**

تكرر العملية من أجل محلول ملحي ويبلل سطح الصبة البيتونية بمحلول NaCl وتسجل النتائج.

القضيب الأول:

نقطة الاختبار	**قيمة الكمون (فولت)**
1	−0.462
2	−0.455
3	−0.456
4	−0.461
5	−0.463

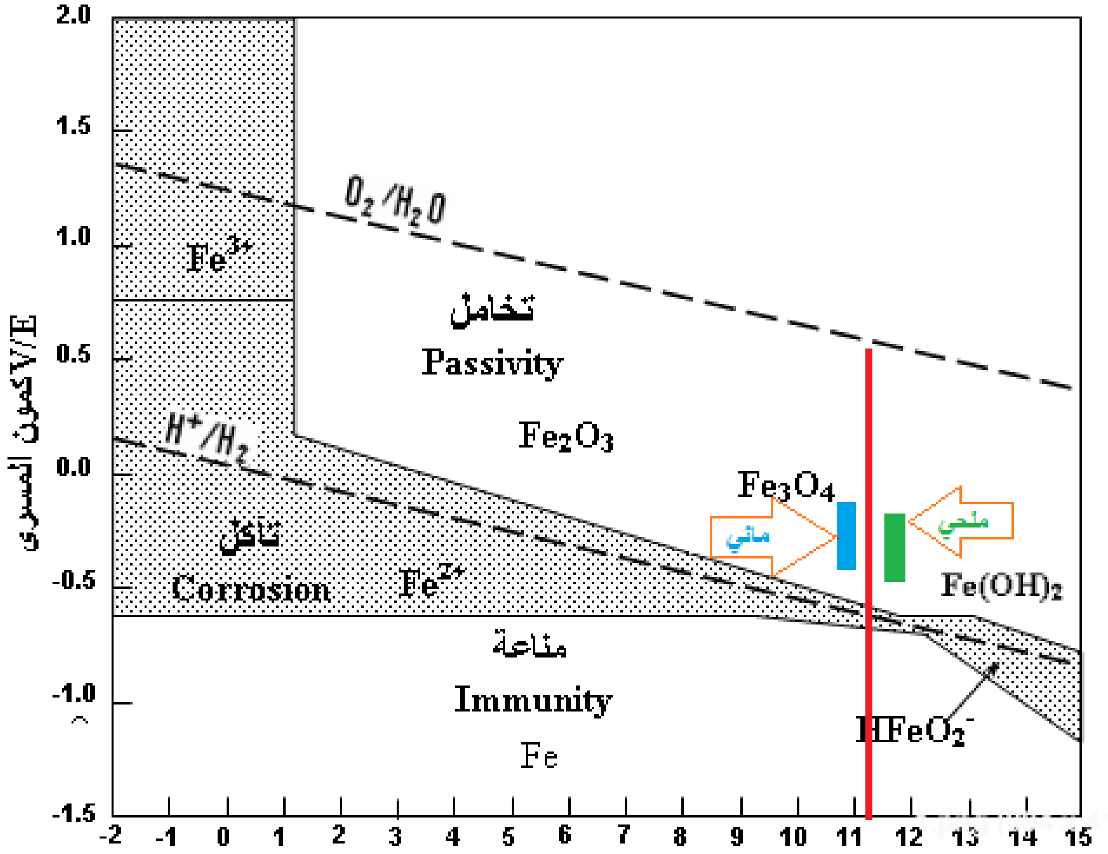
القضيب الثاني:

قيمة الكمون (فولت)	نقطة الاختبار
−0.375	1
−0.355	2
−0.356	3
−0.360	4
−0.369	5

القضيب الثالث:

قيمة الكمون (فولت)	نقطة الاختبار
−0.198	1
−0.250	2
−0.250	3
−0.245	4
−0.260	5

5.1.5 مناقشة النتائج:



الشكل (46) منحني بوربكس

بعد الحصول علي قيم الكمونات لقضبان التسليح الثلاثة والتي تتراوح في الوسط المائي بين (0.354V−، -0.149V) وبعد تمثيل هذه القيم على مخطط بيربكس عند قيمة pH=12-11 وهي قيمة pH الإسمنت، وجد أن هذه الكمونات محصورة في منطقة التخامل وهي المنطقة التي يكون فيها المعدن لم يتآكل بعد.

أما بالنسبة للوسط الملحي NaCl تراوحت قيم الكمونات للقضبان الثلاثة بين (-0.463V، -0.193V) وبعد التمثيل هذه القيم عند pH=12-11 وجد أن هذه الكمونات محصورة في منطقة التخامل، ولكنها أقرب إلى منطقة التآكل نتيجة تأثير شوارد الكلور.

يعزى تركز قيم الكمونات في منطقة التخامل إلى أن صبة البيتون لم يمضِ عليها وقت كافي لحدوث التآكل.

2.5 اختبار الكبينة (Q-FOG)

1.2.5 مبدأ الاختبار:

- وضع عينات فولاذية من نفس نوع الفولاذ وبنفس الأبعاد وتختلف عن بعضها في طريقة الحماية بالطلاء.
- تم وضع هذه العينات ضمن كبينة في جو محدد يمكن أن يكون جو قياسي مخزن في ذاكرة الجهاز أو تم إدخالها من قبل المستخدم.
- تم ضبط بارامترات الاختبار من لوحة التحكم وتم ترك العينات ضمن الجهاز حسب الفترة المحددة مع مراقبتها بشكل دوري وملاحظة التغيرات الحاصلة.

2.2.5 الأدوات المستخدمة في الاختبار:

- جهاز الكبينة Q-FOG.

الشكل (47): جهاز الكبينة المستخدم

- محلول ملحي NaCl.
- خمس عينات فولاذية بأبعاد 7*7*1cm.

الشكل (48): العينات الفولاذية المطلية

- طلاء الزيرقون وطلاء عضوي.

3.2.5 طريقة إجراء الاختبار:

1- تم طلاء العينات الخمسة الفولاذية بطرق مختلفة حسب التالي:

- العينة الأولى: تم طلاؤها بطبقة من الزيرقون وطبقة من الطلاء العضوي.

الشكل (49): العينة الفولاذية الأولى

- العينة الثانية: تم طلاؤها بطبقه من الطلاء العضوي فقط.

الشكل (50): العينة الفولاذية الثانية

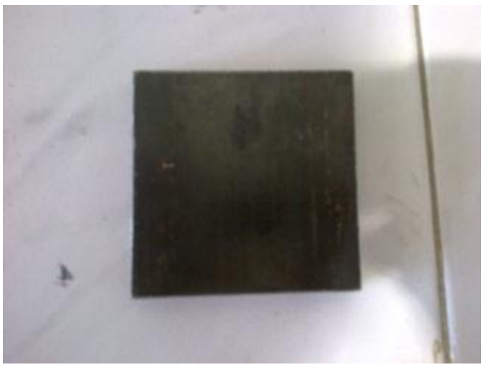
• العينة الثالثة: تم طلاؤها بطبقة من الزيرقون.

الشكل (51): العينة الفولاذية الثالثة

• العينة الرابعة: تم طلاؤها بطبقة من الزيرقون وطبقة من الطلاء العضوي مع إحداث خدش ميكانيكي.

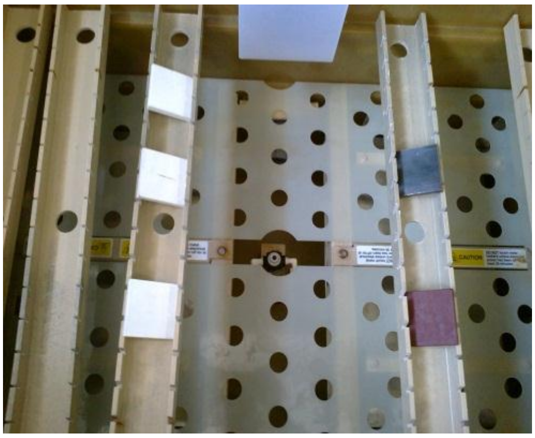
الشكل (52): العينة الفولاذية الرابعة

• العينة الخامسة: تترك عارية بدون أي طبقة حماية.



الشكل (53): العينة الفولاذية الخامسة

2- تم وضع العينات في الأماكن المخصصة لها ضمن الجهاز.

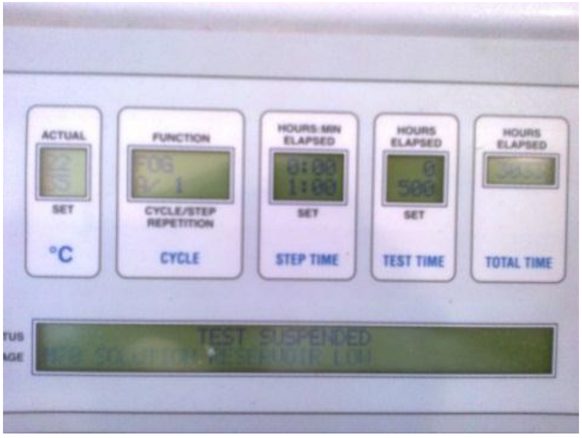


الشكل (54): توضع العينات في الجهاز

3- تم تحضير المحلول الملحي وذلك بإذابة 500g من NaCl في 10l من الماء المقطر وتم التحريك جيداً، وتم ملئ الجهاز بهذا الملحول حتى يغمر الحساسين بشكل كامل وبحيث تكون الكمية كافية للاختبار.

الشكل (55): حساسات الجهاز التي تم غمرها بالمحلول

4- تضبط بارامترات الاختبار وهي: درجة حرارة الاختبار 20°C و زمن الاختبار 500h و نظام الاختبار المستخدم والمخزن في ذاكرة الجهاز ASTM B117.



الشكل (56): ضبط بارامترات الجهاز

5- تم مراقبة العينات خلال فترات محددة علماً أن الزمن الفعلي لإجراء الاختبار هو 78h.

.

الشكل (58): القطع أثناء عمل الجهاز

6- تم إخراج العينات ودراسة تأثير الوسط عليها حسب طريقة الطلاء.

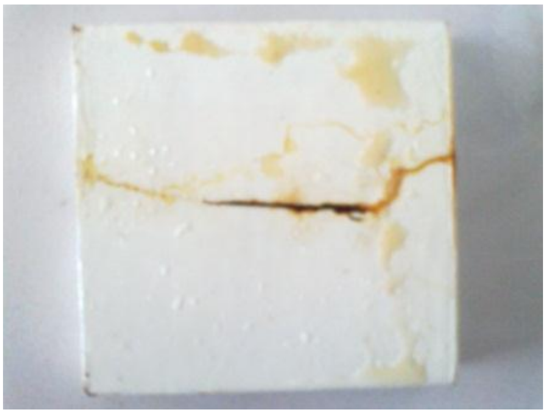
الشكل (59): العينات الفولاذية بعد مرور 78 ساعة

4.2.5 مناقشة النتائج:

بعد 8 ساعة تم إخراج القطع الفولاذية من الجهاز وملاحظة التغيرات الحاصلة.

الشكل (60): العينة العارية بعد 78 ساعة

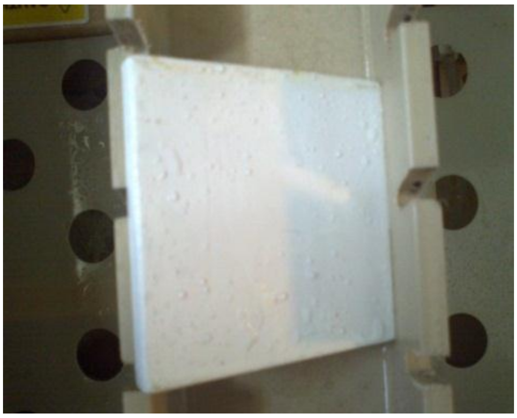
نلاحظ أن العينة العارية والتي لم يتم حمايتها بأي طبقة طلاء قد تعرضت للتآكل بشكل كبير جداً وتشكلت عليها كميات كبيرة من الصدأ الأحمر وبالتالي لا يمكن استخدام هذا النوع من المعدن في مثل هذه الظروف بدون طبقة حماية.



الشكل (61): العينة (زيرقون+ طلاء عضوي+خدش ميكانيكي) بعد 78 ساعة

العينة التي تم طلاؤها بطبقة من الزيرقون (الأساس) والطلاء العضوي مع إحداث خدش ميكانيكي فيها، نلاحظ أن التآكل قد تركز بشكل كبير في منطقة الخدش وكان هذا الخدش بداية لتشكل تآكل خيطي في السطح البيني الفاصل بين الطلاء والمعدن.

نستنتج أنه حتى ولو تم الطلاء بشكل جيد فإن أي خدش ميكانيكي سوف يكون بؤرة لبداية التآكل الموضعي والخيطي.

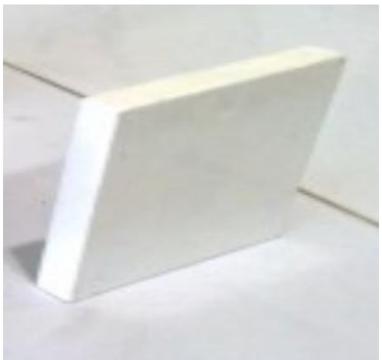


الشكل (62): العينة المطلية بطبقة من الطلاء العضوي فقط بعد 78 ساعة

العينة التي تم طلاؤها بطبقة من الطلاء العضوي فقط وبدون طبقة أساس قاومت التآكل بشكل جيد، ولكن آثار التآكل ظهرت بشكل طفيف عند الزوايا مع حدوث انتفاخات، وبالتالي فإنه وفي حال التعرض لهذه الظروف لفترة طويلة سوف تنهار طبقة الطلاء ويتآكل المعدن.

الشكل (63): العينة المطلية بطبقة من الزيرقون فقط بعد 78 ساعة

العينة التي تم طلاؤها بطبقة من الزيرقون فقط قاومت التآكل بشكل جيد خلال مدة الاختبار، لكنها فقدت خواصها الميكانيكية وأصبحت طبقة هشة يمكن إزالتها بسهولة باليد.



الشكل (64): العينة المطلية بطبقة من الزيرقون وطبقة من الطلاء العضوي بعد 78 ساعة

العينة المطلية بطبقة من الزيرقون والطلاء العضوي قاومت التآكل بشكل ممتاز ولم تبدي أي استجابة للتآكل أو تغير في الخواص الميكانيكية للطلاء.

نهاية الفصل الخامس

REFERENCE:

−ASTM Metal Handbook vol 13.

−ASM vol 13.

– Corrosion Tests/pdf.

– Corrosion Tests and Standards Application/pdf.

–Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete/pdf.

–Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus1/pdf.

المراجع العربية:

- مقرر مادة (التآكل و طرق الحماية) ـ السنة الرابعة ـ الدكتور: مازن عزيزي.

Aleppo University
Faculty of Mechanical Engineering
Materials Science

Dissertation for

Bachelor degree in Mechanical engineering submitted to the department of materials science engineering

The corrosion Tests

Submettid by:

M.Zakaria Mashaeel

Eyad AlAbboud

Supervised by:

Dr. Mazen Azizi

2012م-1433هـ