وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

كلية العلوم

قسم الكيمياء

كيمياء التآكل

Chemistry of Corrosion

أعداد الطالب

علي فاضل منديل

كجزء من متطلبات شهادة البكالوريوس في دراسات علوم الكيمياء

بأشراف

أ0د0م اوراس عدنان حاتم

1439هـ

2018م

بسم الله الرحمن الرحيم

((إن الله لا يغير ما بقوم حتى يغيروا ما بأنفسهم))

صدق الله العظيم

سورة الرعد

آية 11

الإهداء

إلى من اشتهي قربهم

إلى من اسمع في الجنة قهقهتهم

إلى من تعلمت منهم الإيثار

إلى من اوصلني الى هنا رغم الإرهاب ..... إلى شهداء الوطن

إلى من كانت نصائحه أرقى من النسيم

إلى التواضع والابتسامة

إلى من أدى العمل بأمانة ..... إلى المرحوم والدي

إلى من ترسم بسمتي في أصعب زمان

إلى من تفوح من يديها رائحة الحنان

إلى القلب الرحيم .....إلى أمي الغالية

إلى من جمعتني بها الأيام

إلى من شاركتني بسمتي والكلام

إلى من قضيت معها أجمل الأيام ..... إلى زوجتي العزيزة

إلى من جمعتني بهم الأقلام

إلى من قضيت معهم أحلى الأيام

إلى من راودتنا ذات يوم نفس الأحلام ..... إلى أصدقائي الأعزاء

شكر وامتنان

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من

جديد ...

وقبل أن نمضي تقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة ...

إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة ...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل.....

"كن عالما .. فإن لم تستطع فكن متعلما ، فإن لم تستطع فأحب العلماء ،فإن لم تستطع فلا تبغضهم"

وأخص بالتقدير والشكر:

الى كل من ساعدني على إتمام هذا البحث وقدم لي العون ومد لي يد المساعدة وزودنا بالمعلومات اللازمة لإتمام هذا البحث ونخص بالذكر:

الدكتورة العزيزة أوراس عدنان

لها كل التقدير والاحترام

الطالب : علي فاضل منديل

1-1	التآكل	1
2-1	أنواع التآكل	3
3-1	طرق الحماية من التآكل	7
4-1	العوامل التي تؤثر على سرعة التآكل	9
5-1	اختبارات التآكل	11
6-1	الصناعات الكيميائية	19
7-1	المصادر	22

1-1 التآكل corrosion:

يعرف التآكل على انه التدهور الحاصل لخواص المادة الأساسية نتيجة لتفاعل كيميائي أو إلكتروكيميائي مع بيئتها(وسط التآكل) وليس كنتيجة لعملية ميكانيكية مثل الاحتكاك الحادث في الماكينات ما يطلق عليه اهتراء.

كما يمكن تعريفه على أنه تدميرٌ للمعدن نتيجة تفاعلٍ كيميائيي أو فيزيائيٍّ بين المعدن والبيئة المحيطة به. وتُقدّر كمية الصّلب الذى يُدمَّر نتيجة التآكل بـ 25% من الإنتاج السنوي، أي أنّ حوالي 150 مليون طن من الصلب يتم تدميره كل سنة .

ولفهم سبب عملية التآكل، يجب معرفة أنّ جميع المعادن باستثناء أمثلة قليلة جدًا كالذهب والبلاتينيوم (Native elements) لا توجد منفردة في الطبيعة (تكون مُتّحدةً مع عناصر أخرى). فالحديد مثلًا؛ يوجد فى شكل أكاسيد ، كالهيماتيت (Hematite Fe_2O_3) أو في شكل كربونات، كالسيدريت (Siderite $FeCO_3$) أو أشكال أخرى. وأثناء استخراج المعدن من صورته المتحدة للحصول عليه منفردًا، يتم استهلاك قدر من الطاقة، لذلك يكون المعدن في حالة من عدم الاستقرار مقارنةً بحالته الطبيعية المتحدة مع عنصر آخر. لذلك مع الوقت وعوامل البيئة، يُفضِّل المعدن تواجده في صورته الطبيعية المستقرة من خلال عملية التآكل (Corrosion process).

والتآكل هو العملية العكسية للميتالورجي (علم المعادن) ، وبعبارة أخرى؛ يتم عكْس الطاقة المستخدمة لتحويل خام إلى معدن عندما يتعرض المعدن إلى الأكسجين والماء. عندما يتعرض المعدن لتلك العناصر، تبدأ عملية التآكل، حيث يتم تشكيل أكاسيد على سطح الصلب، وفي بعض الحالات تتّحد مع الكبريتيد والكربونات.

عملية التآكل – بشكل أساسيّ – هي عبارة عن تفاعل أكسدة واختزال غير عكسي (irreversible redox reaction) بين المعدن والعوامل المؤكسدة الموجودة فى البيئة المحيطة بالمعدن. وتفاعلات الأكسدة والاختزال هي التفاعلات التي يتم فيها تبادل الإلكترونات بين المتفاعلات.

ويمكن اعتبار عملية التآكل كخلية إلكتروكيميائية تتكوّن من نصف خلية (آنود) ويتم عنده أكسدة المعدن أو تآكله، ونصف خلية (كاثود) يتم عندها اختزال أيون الهيدروجين أو الأكسجين.

حيث تتم تفاعلات التآكل بشكل عام كالتالي:

– تفاعل أكسدة عند الآنود ((Anodic oxidation reaction))

$M \rightarrow M^{+} + e^{-}$

حيث تُمثِّلM المعدن، والتفاعل نفسه يمثل تحوُّل المعدن من حالته كعنصرٍ مستقل إلى أيون

– *تفاعل اختزال عند الكاثود Cathodic reduction reaction))*

وهو يعتمد على الوسط الذي يتم فيه عملية التآكل:

1) إذا كان فيوسطٍ حامضي يتصاعد غاز الهيدروجين.

$2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H2 \uparrow$

2) إذا كان في وسطٍ قلويأو متعادل يتم اختزال الأكسجين.

$O2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}$

وكمثال تطبيقي على ما سبق؛ عملية صدأ الصلب المشهورة ما هي إلا تفاعل أكسدة واختزال لعنصر الحديد عند تعرّضه للمياه أو تعرّضه لأكسجين الهواء في وجود الرطوبة، وهو تحوُّل الحديد Fe إلى صدأ (Rust) ، وصيغته الكيميائية:$\mathbf{Fe_2O_3.nH_2O}$ ، وذلك كما يلي:

– تفاعل الأكسدة عند الآنود:

$\mathbf{2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^{-}}$

ومن خلال هذا التفاعل، تنتقل الإلكترونات إلى الكاثود من خلال سطح الحديد حتى تتفاعل مع الأكسجين في وجود الماء كالتالي:

– تفاعل الاختزال عند الكاثود:

$\mathbf{O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^{-}}$

وعندها تتفاعل أيونات الحديد Fe^{+2} الناتجة من تفاعل الآنود مع أيونات الهيدروكسيد OH^{-} كما يلي:

$\mathbf{2Fe^{2+} + 4OH^{-} \rightarrow 2Fe(OH)_2}$

ويمكن اختصار المعادلات الثلاثة في معادلة واحدة تُعبّر عن التفاعل:

$$2Fe + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_2$$

يتم أكسدة الناتج $Fe(OH)_2$ في وجود الأكسجين والرطوبة إلى $Fe(OH)_3$ كمايلي:

$$2Fe(OH)_2 + ½\ O_2 + H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3$$

وأخيرًا يكون الناتج في حالة اتزان كما يلي(وهو يمكن أن يُعبّر عن الصدأ) [3] :

$$2Fe\ (OH)_3 \leftrightarrow Fe_2O_3.3H_2O$$

2-1 انواع التآكل Types of corrosion

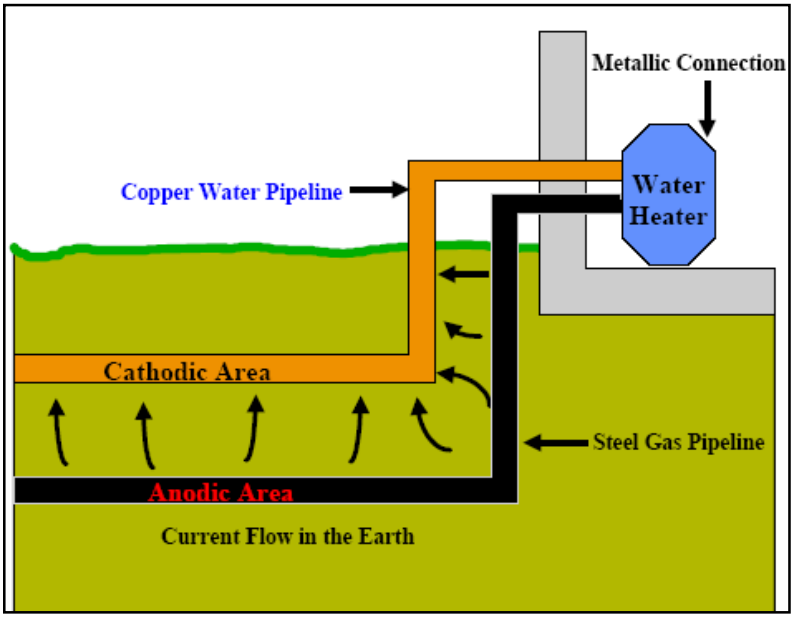
1-2-1 التآكل العام GENERAL CORROSION

و هو ما يطلق عليه التآكل المنتظم **(** Regular Corrosion **)** وهنا يكون معدل التآكل ثابت على الأسطح الداخلية و الخارجية للمعدات بأنواعها سواء كانت خطوط أو أوعية ضغط أو مواسير أو غيرها و يقاس معدل التآكل **(**Corrosion Rate**)** المأخوذ بدلالة نقصان السمك بالمعدن عن السمك الأصلى للمعدن

شكل (1-1):GENERAL CORROSION

2-2-1 التآكل الجلفانى GALVANIC CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل عند تلامس أو اتصال معدنين مختلفين فى الجهد الكهربائي أى يشكل أحد المعدنين منطقة آنود و الآخر منطقة كاثود و يمكن معرفة ذلك بدراسة السلسلة الكهروكيميائية (GALVANIC SERIES) حيث يبين الجدول أن القطب الذى يكون موجب يكون كاثود و القطب السالب يكون آنود



شكل (2-1):GALVANIC CORROSION

3-2-1 التآكل بين الفجوات CREVICE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل فى الفجوات الصغيرة الموجودة بين معدنين مثل فجوات المسامير حيث يكون تركيز الأكسجين فى تلك الفجوات محدود (آنود) بينما السطح الخارجى يكون (كاثود) به تركيز عالى من الأكسوجين مما يؤدى لحدوث تآكل لتلك الفجوات (الآنود)

شكل (3-1):CREVICE CORROSION

4-2-1 التآكل بالنـقـر PITTING CORROSION

التآكل بالنقر هو عبارة عن هجوم موضعى سريع ينشأ عن تكوين تجويف داخل المعدن الغير معرض للتآكل مما يؤدى إلى وصول السمك فى بعض المناطق إلى الصفر و يؤدى لحدوث الثقوب العديدة نتيجة تعرض المعدن لأوساط أكالة **corrosive** شديدة و يحدث هذا النوع دائماً فى أنواع عديدة من (STAINLESS STEEL).

و يحدث التآكل بالنقر عادة فى المعادن التى تظهر فيها ظاهرة الخمول أو التى تغطى بطبقة من الأكسيد حيث يحدث بها خدش ينتج عنه مساحة آنودية صغيرة و تكون المساحة الكاثودية كبيرة و يكون تيار التآكل عالى يؤدى لتآكل السطح

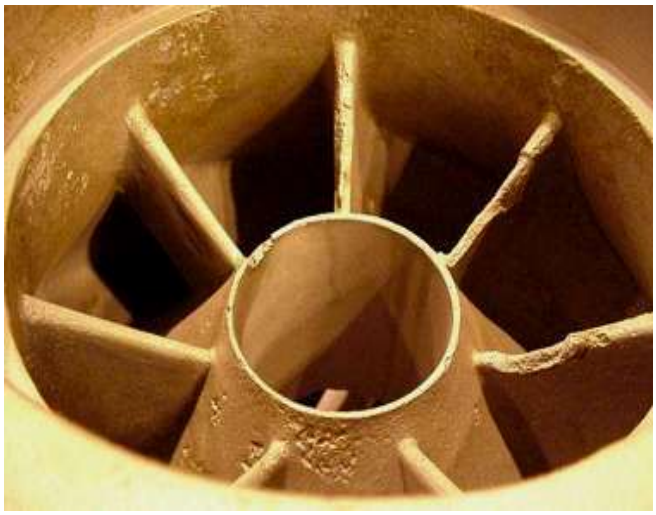
شكل (1-4):PITTING CORROSION

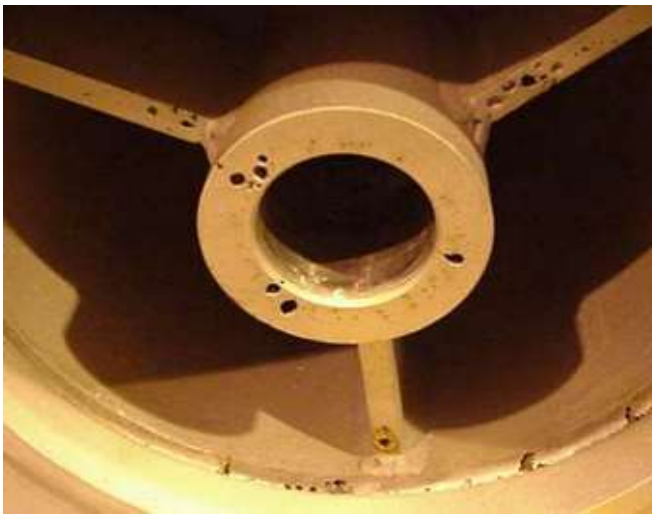
1-2-5 - التآكل الاختيـارى SELECTIVE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل فقط بالنسبة للسبائك التى تتكون من معدنين أو أكثر و يبدأ التآكل بسبب اختلاف موضعى فى التركيب و نتيجة لذلك يبقى المعدن الأكثر كاثودية بينما يتآكل المعدن الأكثر نودية و مقاومة السبيكة تعتمد على تركيبها و تزداد المقاومة للتآكل بزيادة تركيز المعدن الأكثر كاثودية فى السبيكة

1-2-6 - التآكل المصاحب بعامل ميكانيكى EROSION CORROSION

و يحدث نتيجة قوى القص و الاحتكاك بين السائل و المعدن و يرجع هذا النوع من التآكل إلى التآكل الناتج عن تأثير الفعل الميكانيكى للسائل على المعدن .





شكل (1-5):EROSION CORROSION

1-2-7 التآكل التشرخى الإجهادى STRESS CORROSION

التشرخ الإجهادى التآكلى يطلق على التأثير المشترك بين اجهادات الشد و الوسط الأكال corrosive على المعدن و هى اجهادات يمكن أن تكون مطبقة على المعدن أو اجهادات متخلفة داخل المعدن (RESIDUAL STRESS) و التى تنشأ نتيجة ظروف عديدة منها التصميم الغير جيد - التشغيل على البارد - عمليات اللحام و يتشابه هذا النوع من التآكل مع التآكل بالنقر فى حدوثه للسبائك القابلة للخمول .

شكل (1-6):STRESS CORROSION

3-1 طرق الحماية من التآكلCorrosion Protection

تنقسم طرق الحماية من التآكل الى طريقيتين رئيسيتين:

1-3-1 طريقة تغطية المعدن المراد حمايته Coating of metal surface

تعتبر فكرة التغطية عامة من اهم الطرق المستخدمة فى الحماية من التآكل وهى 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 بالتالى يضمحل بل و يكاد يتلاشى تيار التآكل ومن انواعها ما يلى :

A- التغطية عن طريق التغليف المعدنى (Metallic Coating)وهى ما تسمى بالجلفنة وتتم الجلفنة بالغمر فى مصهور فلز الزنك و الجلفنة تعتمد فى المقام الأول على أن الزنك يحتل مكاناً متقدماً فى ترتيب الفلزات بالنسبة لجهد

القطب القياسى و يلاحظ وجود مسام مجهرية فى بعض الحالات تسبب خلق خلايا مجهرية بين المعدنين.

B- التغطيات العضوية (Organic Coating) ومنها (الورنيشات والبويات المانعة للتآكل) وهي مواد تضاف الى السوائل فتمنع التآكل على جدار الوعاء الذي يحتويها لأنها تعمل على عدم حدوث تفاعلات عند الأنود أو الكاثود أو كليهما وتوقف بالتالي مفعول خلايا التآكل كما أنها تترك طبقة خفيفة عازلة على جدار الوعاء ويضاف مانع التفاعل الكيميائي الى السوائل بتركيز معين ويمكن استعمال هذا الأسلوب في آبار الحفر ومنظومات المياه.

C- التغطيات الفلزية : ومن أشهرها الرش الفلزي ، التكسية ، الطلاء الكهروكيميائي.

D- التغطيات غير العضوية (Inorganic Coating): حيث يتم تغطية الفلزات بطبقة من الخزف أو الزجاج عن طريق صهرها على سطوح الفلزات بقصد حمايتها من التآكل.

* وتعتبر التغطيات الفلزية والغير عضوية هي من التغطيات الشائعة للسيطرة على التآكل ويتوقف اختيار نوع التغطية (Coating Type)على كل من الوسط الآكل وطريقة التطبيق ونوع الفلز المراد تغطيته إضافة إلى نوع الترابط بين الفلز المغطى والتغطية نفسها.

2-3-1 تغيير جهد الوسط الأكال Change of corrosive medium voltage

عندما يتآكل فلز فانه يتم مرور تيار كهربي بين المساحات الآنودية والمساحات الكاثودية المتواجدة على سطح الفلز ، (وأنه كلما زادت قيمة هذا التيار كلما زاد معدل التآكل) فإذا استخدمنا دائرة كهربائية خارجية فإنه يمكننا فرض تيار إضافي على الفلز ، ومن ثم نتمكن

من تغيير السيطرة على معدل التآكل(Corrosion Rate) الخاص به و نستطيع أن نطبق تيار معاكس(Reversable Current) لأيقاف التآكل تماما كما هو الحال في الحماية الكاثودية(Cathodic Protection) أو كماهو الحال في بعض الحالات فإننا يمكن أن نضبط من جهد الفلز المتآكل بحيث يبقى الفلز معرضا للتآكل ولكن بمعدل أقل لأنه يكون على هذه الصورة سلبيا كما هو الحال في الحماية الآنودية(Anodic Protection) وكلا الطريقتين شائعتين تماما في التطبيقات التجارية والصناعية (Industrial and Commercial applications) كطرق ناجحة للحماية من التآكل. فى الجزء القادم سوف يتم تناول نظام الحماية الكاثودية حيث انة النظام المتبع بخط صلب النوبارية .

4-1 العوامل التي تؤثر على سرعه التآكل

1-4-1 طبيعة الغطاء الأكسجينىNatural of oxide film

هناك طبقةٌ رقيقة جدًا بسُمك حوالي 1~3 نانو متر تغطي بعض المعادن. وهى طبقةٌ تقوم بدور العازل حيث أنها تَفصِل بين المعدن والبيئة المحيطة به. وأوضح مثال على ذلك هو الألومنيوم؛ ترتيبه فى المتوالية الجلفانية يعطي عنه انطباع المعدن النشط جدًا الذي يسهل تآكله بسرعةٍ كبيرة، لكنه فى الواقع مقاومٌ للتآكل بشكل كبير جدًا نتيجة تكوينهلتلك الطبقة الحامية (Al_2O_3) وعزْله، وهناك أمثلةٌأخرى لمعادن بتلك الميزة مثل التيتانيوموالتانجستين ويُطلَق عليهم اسم.valve metals

المشكلة مع الحديد أن طبقة الأكسيد (Fe_2O_3) لا تلتصق بالسطح، ولكنها تتوسع للخارج وتُعرِّض الطبقة التالية له للهواء ليتم تحويلها لأكسيد الحديد، وهكذا حتى يتم تآكل طبقة تلو الأخرى.

2-4-1 حجم الآنود مقارنةً بحجم الكاثود

دائما الآنود هو الذي يتم تآكله، فعندما يكون حجم الآنود صغيرًا بالنسبة لحجم الكاثود يكون التآكل مُركَّزًا أكثر وأسرع على الآنود. يمكن ملاحظة ذلك عند مقارنة سطح من المعدن يحتوي مسامير صغيرةً من معدن مختلف. وعندما تكون المسامير مصنوعةً من المعدن الأكثر نشاطًا (آنود) سيكون التآكل أسرع بكثير من أنْ يكون سطح المعدن هو الأكثر نشاطًا.

3-4-1 التوصيلية الكهربية للوسط conductance of corrosive medium –

التآكل يزيد مع زيادة التوصيلية الكهربية للوسط. المياه النقية تعتبر أقل خطورةً بكثير من مياه البحر، حيث أن مياه البحر تحتوي الصوديوم كلوريد NaCl وهو يُعتبر (الكتروليت) قويًا مما يزيد من التوصيلية الكهربية للمياه ويزيد من سرعة التآكل .

4-4-1 تأثير تركيز أيون الهيدروجين effect of PH

كما ذُكر سابقًا؛ التآكل يعتبر خليةً الكتروكيميائية تتكون من نصف خليةآنود يتم عنده الأكسدة ونصف خلية كاثود يتم عنده الاختزال. وعملية الاختزال تعتمد بشكل أساسيٍّ على تركيز أيون الهيدروجين H^+ وأيون الهيدروكسيد OH^-

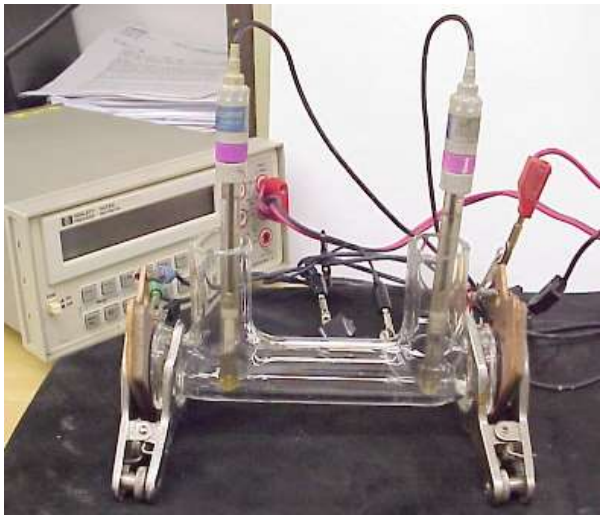
$$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$$

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

5-1 اختبارات التآكل

تصنف اختبارات التآكل الى عدة اصناف :

1-5-1 حسب نوع الاختبار



الاختبارات الكهروكيميائية: 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.

الاختبار في كبينة (خزانة): 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.

اختبار الغمر: 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.

الاختبار عند درجة حرارة وضغط مرتفعين: 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.

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

الاختبار في ماء البحر: 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...

الاختبار في المياه العذبة: 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.

2-5-1 حسب نوع التآكل:

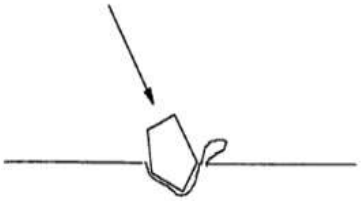
اختبار التآكل بالنخر: يتم تطبيق اختبار ASTM G48، حيث تنظف العينات وتوضع في محلول (6% FeCl3)، وتترك لفترة معينة، ومن ثم تخرج ويتم تنظيفها بعناية، ويتم مراقبة السطح للكشف عن النخر. لا ينصح باستخدام طريقة فقدان الوزن، فالخسارة قد تكون صغيرة جداً من أجل حفر عميقة.

اختبار التآكل التشققي: 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.

اختبار التآكل الغلفاني: 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.

اختبار التآكل التقشري: 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.



اختبار التعرية والاحتكاك: 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.

اختبار التآكل الانتقائي: 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.

3-5-1 اختبارات التآكل في الصناعة

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

الطائرات التجارية: 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.

الطائرات العسكرية والمعدات المرتبطة بها: 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.

خطوط الأنابيب: 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.

اختبارات التآكل في خطوط نقل الطاقة الكهربائية: تستخدم الاختبارات على كافة الموصلات المستخدمة في نقل القدرة الكهربائية و خطوط النقل الهوائية مثل الاختبارات التي تحدد مقاومة العنصر التشققي الإجهادي. 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.

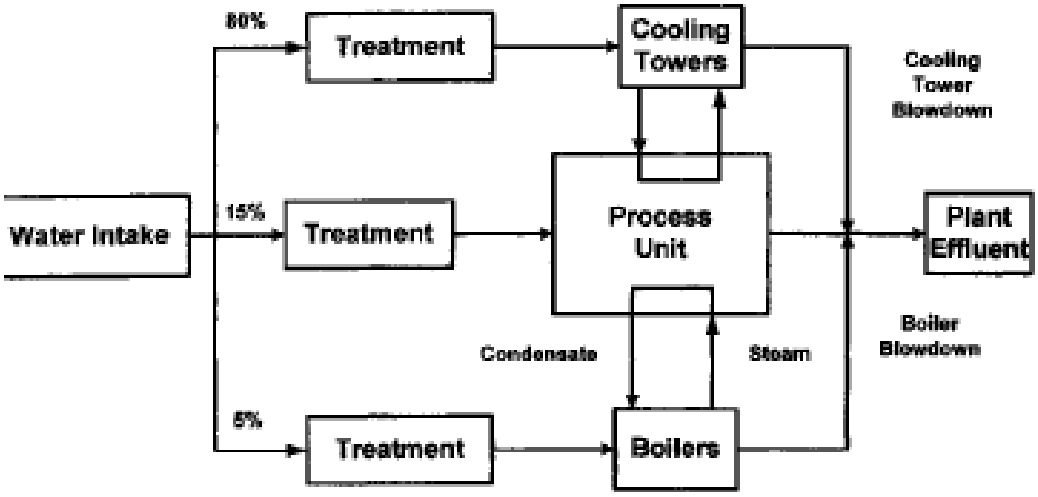
اختبارات التآكل في مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية:

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.

4-5-1 اختبارات التآكل حسب الوسط المحيط

ماء الصناعة: 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). 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.



الصناعات الكيميائية:

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.

النفط: إنتاج النفط يخلق تحد 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. تصنف اختبارات التآكل في هذا المجال حسب المراحل التي تمر بها عملية إنتاج النفط (سائل-غاز-صلب).

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

غازات ذات درجة حرارة مرتفعة: الأجواء الغازية ذات درجة الحرارة المرتفعة هي: الأكسدة والكربنة والكبرتة والهلجنة.

المحاليل العضوية: 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.

الأملاح المصهورة: 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.

التآكل في الوسط الخارجي: 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.

التآكل في الأوساط الداخلية: أهم الاختبارات الميدانية: الرطوبة ودرجة الحرارة ورصد الندى + قياسات تركيز الغازات الآكلة + الاختبارات اللازمة لمعرفة تركيز الجسيمات الناعمة والخشنة.

التآكل في التربة: 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.

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

REFERENCESS

1. Galvanic Corrosion. Corrosionclinic.com. Retrieved on 2012-07-15.
2. Methods of Protecting Against Corrosion Piping Technology & Products, (retrieved January 2012)
3. Intergranular Corrosion. Corrosionclinic.com. Retrieved on 2012-07-15.
4. Crevice Corrosion. Corrosionclinic.com. Retrieved on 2012-07-15.
5. JE Breakell, M Siegwart, K Foster, D Marshall, M Hodgson, R Cottis, S Lyon (2005). *Management of Accelerated Low Water Corrosion in Steel Maritime Structures*, Volume 634 of CIRIA Series, ISBN 0-86017-634-7
6. *R. Zuo; D. Örnek; B.C. Syrett; R.M. Green; C.-H. Hsu; F.B. Mansfeld; T.K. Wood (2004). "Inhibiting mild steel corrosion from sulfate-reducing bacteria using antimicrobial-producing biofilms in Three-Mile-Island process water". Appl. Microbiol. Biotechnol.* ***64*** *(2): 275–283. doi:10.1007/s00253-003-1403-7.*
7. [*Fundamentals of corrosion – Mechanisms, Causes and Preventative Methods*]. Philip A. Schweitzer, Taylor and Francis Group, LLC (2010) ISBN 978-1-4200-6770-5, p. 25.
8. Gerhardus H. Koch, Michiel P.H.Brongers, Neil G. Thompson, Y. Paul Virmani and Joe H. Payer. CORROSION COSTS AND PREVENTIVE STRATEGIES IN THE UNITED STATES – report by CC Technologies Laboratories, Inc. to Federal Highway Administration (FHWA), September 2001.
9. *"NACE Corrosion Costs Study". Cor-Pro.com. NACE.*

Retrieved 16 June 2014.

10. *Daniel Robles. "Potable Water Pipe Condition Assessment For a High Rise Condominium in The Pacific Northwest". GSG Group, Inc. Dan Robles, PE. Retrieved 10 December2012.*
11. Bettine Boltres (2015) *When Glass Meets Pharma: Insights about Glass as Primary Packaging Material*. Editio Cantor. ISBN 978-3-87193-432-2
12. A.K. Varshneya (1994). *Fundamentals of inorganic glasses*. Gulf Professional Publishing. ISBN 0127149708.
13. M.I. Ojovan, W.E. Lee. *New Developments in Glassy Nuclear Wasteforms*. Nova Science Publishers, New York (2007) ISBN 1600217834 pp. 100 ff.
14. *Corrosion of Glass, Ceramics and Ceramic Superconductors*. D.E. Clark, B.K. Zoitos (eds.), William Andrew Publishing/Noyes (1992) ISBN 081551283X.
15. Calculation of the Chemical Durability (Hydrolytic Class) of Glasses. Glassproperties.com. Retrieved on 2012-07-15.
16. Vapor Hydration Testing (VHT) Archived December 14, 2007, at the Wayback Machine.. Vscht.cz. Retrieved on 2012-07-15.
17. International Organization for Standardization, Procedure 719 (1985). Iso.org (2011-01-21). Retrieved on 2012-07-15.