



ظاهرة التآكل

المؤلف

وليد بن سعيد القطباني

المشرف على مختبرات و معامل قسم الهندسة الكيميائية

كلية الهندسة – جامعة الملك سعود

WALQAHTANI@KSU.EDU.SA



إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أحب من عرفت في هذه الدنيا والدي ووالدتي الذين لم يبخلوا علي يوماً بشيء و زودوني بالحنان والمحبة، أقول لهم: أنتم كنتم خير سبب لي - بعد الله - في الحياة والأمل والنشأة على شغف الإطلاع والمعرفة فجزاكم الله عني خير الجزاء و أمد بأعماركم على طاعته، وإلى جميع أفراد أسرتي و إلى زوجتي التي اضاءت لي الطريق وكذلك الإهداء موصول لأبني خالد، و إلى جميع أساتذتي و زملائي فكانوا كما الشموع التي تحترق لتضيء للآخرين و إلى كل من علمني حرفاً. أهدي لهم هذه السطور المتواضعة راجياً من المولى عز وجل أن يجد القبول والنجاح.

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله الذي لولاه ما جرى قلم ، ولا تكلم لسان ، و الصلاة و السلام على سيدنا محمد عليه أفضل الصلاة و أتم التسليم الذي كان أفصح الناس لساناً و أوضحهم بياناً ، ثم أما بعد .

يطيب لي أن أطرح لكم من خلال هذه الأسطر المتواضعة عن ظاهرة نراها باستمرار ألا وهي (ظاهرة التآكل) و هناك خطأ كبير يقع فيه كثير من الناس ألا وهو الخلط بين ظاهرة التآكل و خاصية الصدأ - و للتوضيح الصدأ نوع من أنواع التآكل وليس هو التآكل بشكل أساسي - و كثيراً ما نشاهد ظاهرة التآكل ويكون ذلك بشكل يومي فقد نرى ذلك مباشرة أو نرى شي من آثار التآكل على أجزاء من السيارات و الطائرات و السفن و السياج الحديدي للمنازل و الأسواق و الحدائق و المباني و كذلك نرى هذه الظاهرة في الجسور وسكك الحديد و في جميع الطرقات و غيرها . و لنندرك خطر التآكل فلنتخيل أنك مُسافر بالطائرة من مكان الى آخر و تنظر من النافذة فتري أن محرك الطائرة قد أصيب بشي من التآكل أو أن أحد المسامير الداخلية التي تربط المحرك بالطائرة قد تآكل هل ستكون مطمئن طوال فترة الإقلاع و التحليق في الجو و الهبوط ؟ أو تكون على قدر عالي من الخوف حتى تصل ؟ و الأمثلة كثيرة على هذا. سأضع هنا بين أيديكم شيئا عن ظاهرة التآكل وسيتم التطرق بإذن الله تعالى الى تعريف التآكل و كيفية حدوثه و أهمية التحكم بالتآكل و الآثار التي يخلفها التآكل و كذلك تصنيف التآكل و أخيرا الحماية من التآكل و طرق السيطرة عليه. كما سأعرض بعض الصور خلال الصفحات ليكون خير دليل على ذلك و لنعيش مع هذه الظاهرة التي سببت الكثير من المشاكل.



شكل (٢) تآكل الحديد (خاصية الصدأ)



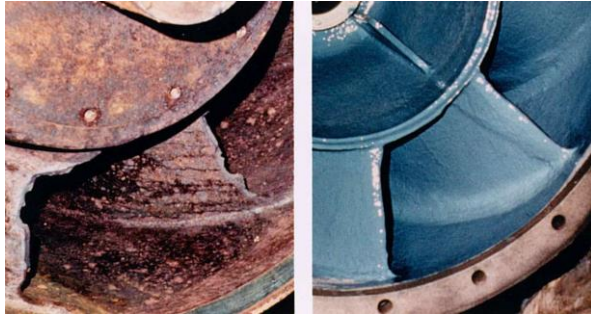
شكل (١) أحدى السفن التي قد تآكل هيكلها الخارجي بسبب تفاعل الماء و الأوكسجين الموجود في الهواء

تعريف التآكل :

التعريف البسيط للتآكل هو كل ما يتأثر أو يتصادم بمرور الزمن مع الوسط المحيط به من الهواء أو الماء أو التربة أو بهما معا. و قيل عن التآكل هو عبارة عن تفاعل فيزيائي – كيميائي مشترك بين المعدن والمحيط (الهواء ، الماء ، التربة) مما يؤدي الى حدوث تغيرات وتلف في المعدن. و التآكل ظاهرة طبيعية ، لا يمكن السيطرة عليها بالكامل ولكن نستطيع أن نعمل على الحد من انتشارها. وظاهرة التآكل أمر يصعب التنبؤ به ولكن العوامل المؤدية اليه واضحة جداً كما أن آثاره عظيمة ومُكلفة. و التعريف العلمي للتآكل هو التدهور في خواص المادة الأساسية نتيجة لتفاعل كيميائي أو إلكتروكيميائي مع بيئتها مما يطلق عليها وسط التآكل. وليس كنتيجة لعملية ميكانيكية مثل الاحتكاك الذي يحدث في الماكينات أو ما يُسمى " اهتراء " .

و سأعرض لكم بعض التعاريف للعلماء المهتمين بهذا الشأن فمنهم من عرف التآكل بأنه فشل أو انحلال يصيب الفلز نتيجة تفاعله تفاعلاً كيميائياً أو كهروكيميائياً مع الوسط الموجود فيه. والانحلال بأسباب فيزيائية لا يسمى تآكلاً وإنما يسمى بلى (Wear)، وعندما يحدث التآكل بسبب عوامل كيميائية تساعد على عوامل ميكانيكية فإن هذا النوع من التآكل يأخذ أسماءً خاصة مثل تآكل البري (Erosion Corrosion) وتآكل الاحتكاك (Fretting Corrosion) والتعريف أعلاه يخرج غير المعادن من هذه التعاريف مثل البلاستيك والخشب والجرافيت وغيرها التي يصيبها البلى والانحلال من مسمى التآكل.

ويخطئ البعض عندما يستخدم كلمة الصدأ (Rust) بدلاً من التآكل حيث أن الصدأ هو المادة الناتجة عن تآكل الحديد المتمثلة في أكاسيد الحديد الثلاثي المائي (Hydrous Ferric Oxides) - مصطلح خاص بالحديد والسبائك التي أساسها الحديد وعلى هذا الأساس فإن المعادن الأخرى غير الحديد تتآكل ولكنها لا تصدأ. والسبب الذي يدعو المعادن لأن تتآكل هو أن تأكلها هذا يؤدي بها إلى الانتقال إلى حالة أكثر استقراراً من الحالة التي كانت عليها قبل حدوث التآكل وبناءً على هذا القانون الذي يشكل أحد القوانين الأساسية في علم الديناميكا الحرارية تتصرف المعادن والمواد الأخرى.



شكل (٣) إهتراء السيراميك (إيبوكسي)



شكل (٤) تآكل الاحتكاك (Fretting Corrosion)

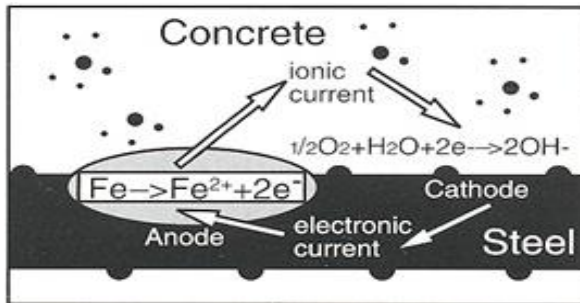
كما أن هناك تعريف آخر للتآكل بأنه تفاعل السبائك والبوليمرات مع المحيط الخارجي سواء كان غاز أو سائل (محلول اليكتروليتي أو غير اليكتروليتي) ويؤدي هذا التفاعل إلى تغير في الصفات الفيزيائية والكيميائية للتراكيب التي تصنع منها تلك السبائك. و هناك أيضا تعريف آخر للعالم - فيرمليه - حيث قال أن جميع العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تزال بها ذرات أو جزيئات من سطح التركيب أو السبيكة بصوره تدريجية إلى المحيط الخارجي

وبذلك أدخل مفهوم التعرية (Erosion). وهناك تعريف آخر للتآكل فقد عرّفه العالم - إيفانز Evans - بأنها عملية ثيرموديناميكية متولدة من فعالية الالكترونات وقابلية الفلزات واللا فلزات على تكوين خلايا كهروكيميائية (Cells Electrochemical) تؤدي وتسبب في انتقال الالكترونات والأيونات بين الانود والكاثود (المهبط و المصعد) من خلال المعدن والمحيط الخارجي مما يتسبب في تحطيم التركيب البلوري للسبانك وذوبانها في محيطها. كما يوجد تعريف آخر للتآكل إذ عُرِف بأن جميع التحولات التي يمر بها المعدن أو السبيكة من الحالة العنصرية إلى الحالة المتحدة وتشمل تفاعلات المعدن مع الغازات و السوائل أو معهما في المحيط وقد ينتج عن هذه التفاعلات نواتج متبخرة أو سائلة أو صلبة بحسب درجة الحرارة.

طبقا لهذه التعاريف فهناك إمكانية لتآكل ليس فقط المعادن ، بل مواد أخرى مثل الزجاج والخرسانة والسيراميك.



شكل (٥) تآكل الخرسانة



شكل (٦) آلية تفاعل تآكل الخرسانة

كيفية حدوث التآكل :

كما هو معروف بأن المعادن في الطبيعة تكون على شكل مركبات كيميائية مثل الأكسيدات والكلوريدات Oxides & Chlorides ولنضرب مثال على ذلك فالألومنيوم لا يمكن إيجاده في الطبيعة بشكله النقي ولكن يُفصل الألومنيوم عن مركبه الخام على هيئة (الالومونيا Alumina - Al₂O₃) لذلك عندما يتعرض الألومنيوم إلى الماء أو الهواء فإن الأكسجين (O₂) يتحد معه مكوناً الامونيا من جديد. إذا التآكل ببساطة هو عملية رجوع المادة إلى حالتها الطبيعية. و يختلف شكل ظهور التآكل من مادة إلى أخرى ففي الألومنيوم والمغنيسيوم يظهر التآكل على شكل ندوب على السطح مصحوبة بمسحوق ذات لون أبيض أو رمادي. وفي النحاس يكون طبقة خضراء اللون ، أما الحديد كما هو متعارف عليه فيكون لنا الصدأ الأحمر. وعند إزالة هذه الطبقات الخارجية تبقى الندوب التي قد تصل إلى أعماق القطعة وتكون بداية للشقوق والصدوع وهناك أنواع من التآكل تستطيع الانتقال تحت الطبقات الخارجية كالطلاء والانتشار حتى يفشل أو يضعف القطعة.

و هناك مثال آخر لكيفية حدوث التآكل ، فنأخذ تآكل الحديد على سبيل المثال فقال عنه – الموسوي^(٢) – الحديد موجود في الطبيعة على شكل أكسيد الحديد أو كبريتيد الحديد وبحالة الطاقة الارضية (Ground State – Gr.St.) حيث وصل الى هذا التركيب خلال الآلف السنين وفقد أكبر ما يمكن من الطاقة الكامنة وتحول الى حالة (Gr.St) ولكن المعدن بهذه الحالة لا يصلح للاستفادة منه في تصنيع المعدات لأنه هش وخواصه الكيميائية والفيزيائية لا تصلح للاستخدام المباشر ، وأثناء التصنيع لتحويل الحديد الى معدن يمكن الاستفادة منه ، فإنه يُضاف إليه طاقات كامنة وعند تحويله الى سبيكة فإنه تضاف إليه طاقات أخرى. إذا تواجد الحديد في وسط مؤكسد أو مشبع بالأكسجين فإننا نتوقع أن يكون التحول الى أكسيد الحديد Fe₂O₃ أما إذا كان الوسط الخارجي مائي ولا يحتوي على الأكسجين فإنه يتحول الى أكسيد الحديدوز FeO وقد يتحول الى Fe₂O₃ الى طبقة من أكسيد الحديد المغناطيسي Fe₃O₄ أي الماجنتايت وهو اكسيد جيد الالتصاق على السطح ولا يذوب في الماء مما يؤدي إلى ايقاف التآكل حيث تحدث حالة الخمول Passive State - - أما عندما يحتوي الوسط الخارجي على أيونات الكلوريد فإن الناتج يكون كلوريد الحديدك أو كلوريد الحديدوز الذي يذوب في الماء ولا تتكون طبقة عازلة وبهذا لا تحصل حماية ذاتية - أنتهى كلام الموسوي^(٢)



شكل (٧) تآكل النحاس و تظهر لنا الطبقة الخضراء



شكل (٨) تآكل الحديد و يظهر لنا الصدأ الأحمر



شكل (٩) تآكل الألمنيوم والمغنيسيوم يظهر التآكل على شكل ندوب على السطح مصحوبة بمسحوق ذات لون أبيض أو رمادي

تعتبر نواتج التآكل مشابهة في تركيبها للصخور المعدنية التي في القشرة الأرضية بمعنى آخر إن تفاعلات التآكل تجعل المعادن تعود إلى خامتها الطبيعية وتوجد المعادن في الطبيعة على هيئة مركبات كيميائية معدنية وتحتاج إلى كمية معينة من الطاقة لاستخلاصها من مركباتها و نفس هذه الكمية من الطاقة تنبعث أثناء التفاعل الكيميائي الذي ينتج عنه تآكل المعدن و لذلك فإن علم التآكل يُسمى أحيانا علم المعادن الإستخلاصي العكسي

(Extractive Metallurgy in Reverse)

و نتكلم قليلا عن المعادن و السبائك بشي من التفاصيل.

المعادن (Minerals)

المعدن هو عبارة عن مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائي ثابت ونظام بلوري مميز.

وهناك تعريف آخر للمعدن إذ قيل عنه بأنه مركب صلب يتكون طبيعياً من خلال عمليات جيولوجية. ولا تعود الكلمة على المركب الكيميائي فقط ، ولكن على البناء المعدني أيضاً. تتغير المعادن في التركيب من عناصر نقية ، وأملاح بسيطة ، إلى سليكات غاية في التعقيد بألاف التكوينات المعروفة. والعلم الذي يدرس المعادن يسمى علم المعادن (Mineralogy)

التصنيف الكيميائي للمعادن :

المعادن العنصرية : الذهب والفضة والنحاس والجرافيت والألماس

الكبريتيدات : البيريت والجالينا

الأكاسيد : الكوارتز والماجنيثيت والهيماتيت والكروندم

الهاليدات : الفلوريت- الهاليت

الفوسفات : الاباتيت

الكربونات : الكالسيت والدولوميت والماجنيثيت

الكبريتات : الجبس والباريت وانهيدريت

السليكات : مجموعة الفلسبارات، مجموعة البيروكسين، مجموعة لامفيبول، مجموعة

الميكا، الكوارتز، أوليفين، موسكوفيت، التل

السبائك (Alloys)

هي اتحاد كلي أو جزئي بين عنصرين كيميائيين أو أكثر مع بعضهما البعض على أن يكون أحدهما فلزاً. وتكون السبائك عادة ذات خواص فلزية مختلفة عن العناصر المكونة لها. يتحدث كثيراً من الناس في وقتنا الحاضر عن السبائك كما لو كانت جديدة والعديد منها جديد حقاً . ولكن رجالاً ما كان يعيش فيما قبل التاريخ بالشرق الأوسط هو الذي اكتشف أنه بخلط الفلزين النحاس والقصدير يمكنه صنع مادة أكثر صلابة من أي من الفلزين ولذلك تكون أفضل بكثير لصنع العدد والأسلحة. لقد اكتشف البرونز أقدم سبيكة عرفها الإنسان. تعتبر السبائك محاليل صلبة (Solid Solution) لأنها تحتوي على عدة مكونات مختلفة وتُحضر بصهر نسب معينة من المعادن المكونة للسبيكة عند درجة حرارة عالية بحيث تتكون محاليل صلبة ثم يتم تبريد المحلول المنصهر بسرعة وببطء للحصول على الشكل

البلوري المطلوب وعند التبريد تتجمع البلورات بشكل طبقات ويُسمى أصغر تركيب للبلورة وحدة الخلية (Unit Cell) وعند تجمع هذه الوحدات تكوّن حبيبه (Grain) وتسمى المسافات بين الحبيبات بالحدود الحبيبية (Grain Boundary) وتترسب أغلب المواد غير البلورية في هذه الحدود الحبيبية مما يجعلها مختلفة كيميائياً و فيزيائياً عن باقي البلورة وفي معظم الأحيان يبدأ التآكل في هذه المسافات البينية.

وتتحرك الذرات والدقائق المكونة للسبائك حركه بسيطة عند تسليط إجهادات عليها وهذه الحركة هي السبب في الخلل والعيوب (Defects) في جسم السبيكة حيث عند زيادتها في منطقه ما تسبب ضعف ميكانيكي للمعدن وبالتالي تعتبر بؤره تآكل.



شكل (١٠) أجزاء من ميغ-٢٩ الروسية مصنوعة من سبيكة ألومنيوم سكانيديوم



شكل (١١) يعتبر الصلب سبيكة فلزية من عنصرين رئيسيين هما الحديد مع الكربون.



شكل (١٢) بعض المعادن و السبائك

أهمية التحكم في التآكل (١)

لأنه يكلف الحكومات و الشركات و غيرها تكاليف باهظة. وقد يذهب البعض حين يسمع كلمة تكاليف إلى التكاليف المالية فقط ، والواقع أن التآكل يكلف المجتمع من خلال أمور ثلاثة هي:

أولاً : التآكل يهدر أموالاً طائلة

لقد دلت الإحصاءات على أن حوالي ٥٪ من الناتج الإجمالي لأي دولة يذهب في مكافحة التآكل. وإن الواحد ليعجب أشد العجب حينما يُطلع على الأرقام المهولة التي يكلفها التآكل، إذ كيف يكلف تغيير قطع متآكلة بأخرى جديدة هذه المبالغ الكبيرة ، ولكن العجب يزول حينما نعلم أن الكلفة لا تتوقف على قيمة قطع الغيار فحسب ، بل يضاف إلى ذلك الكلفة غير المباشرة نتيجة سبب أو أكثر من الأسباب الآتية.

١. التكلفة الباهظة بسبب الإجراءات الوقائية للحد من التآكل.

إن طرق الحماية المتعددة مثل الحماية المهبطية للأنابيب المدفونة والطلاء بالدهانات كإجراءات وقائية للحد من التآكل تدخل ضمن كلفة التشغيل والصيانة ، فعلى سبيل المثال : بلغت تكلفة أعمال الدهان للمنشآت المعدنية للطرق في قرافيل هيل (برمنجهام) لمدة تزيد على ١٨ شهر مليوني جنيه إسترليني.

٢. التكلفة الناتجة عن تعويض المستهلكين المتضررين عن معداتهم المتآكلة.

يشترط المستهلك عادة عند شرائه للمعدات - كالسيارات مثلا ، سلامتها من التآكل لفترة معينة ويطالب بالتعويض عند حدوثه ، ليس هذا فحسب بل يترتب على هذا فقدانه للثقة في هذه المعدات ، ومن ثم تجنب شرائها. ومثال ذلك ما حصلت عليه جمعية ملاك سيارات فورد الصدنة بأونتاريو من تعويض كبير من المحكمة نظير شكاوهم لشركة فورد المنتجة للسيارات.

٣. تدني أو انعدام جودة المنتج نتيجة تلوثه بنواتج التآكل.

إن نواتج التآكل تؤدي إلى تغيير الطبيعة الكيميائية للوسط أي تلوثه وفي الغالب يكون ذلك غير مرغوب فيه ، حيث أن المتطلبات التجارية تستوجب الحصول على منتج نقي وخالٍ من الملوثات ذي مواصفات معلومة. وعليه فإن حدوث التآكل في العلب المحتوية على المنتجات

الغذائية وإن كان بسيطاً يؤدي إلى تلوثها ومن ثم فقدان قيمتها الغذائية أو تسممها مما يستدعي التخلص منها ، وفي ذلك خسارة اقتصادية كبيرة. و لتخيل العلبة التي تحفظ الأجبان أو علبة التونة أو المشروبات الغازية و غيرها تخيل أنها متأكلة هل ذلك آمن على صحتك أو على أرباح الشركة المصنعة أو على البائع ؟

٤. إهدار الطاقة نتيجة تسرب الوقود ، الماء والهواء المضغوط من الأنابيب المتأكلة.

٥. الحاجة لعمالة أكثر ومخازن أكبر لقطع الغيار مما يشكل عبئاً كبيراً على رأس مال الدولة.

ثانياً : يستنزف الموارد الطبيعية

وهذا هو ثاني الأمور التي يكلفها التآكل المجتمع ، ففي الولايات المتحدة – على سبيل المثال - وجد أن طن واحد من الصُّلب (الحديد) يتحول كليةً إلى صدأ كل ٩٠ ثانية ، كما دلت الإحصاءات أن ٥٠ مليون طن من الحديد يفقد سنوياً كلياً بحيث لا يمكن استعادته. علماً بأن الحديد المنتج عالمياً يبلغ ٥٠٠ مليون طن تقريباً. وبعيداً عن هذا الاستهلاك الكبير للحديد فإن الطاقة اللازمة لإنتاج هذا الطن من الحديد من خاماته تكون كافية لإمداد منزل متوسط بالطاقة لمدة ثلاثة أشهر.

ثالثاً : يؤدي إلى عدم راحة العاملين وفي بعض الأحيان القضاء عليهم.

الأمر الثالث الذي يكلفه التآكل المجتمع أنه يؤدي أحياناً أو في كثير من الأحيان إلى حصول كوارث إذا لم تتخذ الإجراءات الوقائية الكفيلة بإيقافه والحد منه. فالتعامل مع المواد الخطرة كالمخاطر السامة ، المواد القابلة للاشتعال ، المواد المشعة والحوامض المركزة مثل : حمض الكبريت والنيتروجين يتطلب استعمال مواد معدنية لا تتآكل بدرجة كبيرة في مثل هذه الظروف لحفظ هذه المواد من جهة وضمان سلامة البشر من حولها من جهة أخرى. كما أن تآكل جزء معدني صغير قد يؤدي إلى انهيار أو سقوط منشأ كامل ، وقد تتسبب نواتج التآكل أحياناً في تحول مواد غير مضرّة إلى مواد متفجرة.

أهمية التحكم في التآكل (٢)

يلعب التآكل دوراً هاماً في كثير من مجالات الحياة ، و هناك العديد من الأسباب التي تدفعنا لدراسة التآكل ومحاولة التحكم فيه والحد من آثاره الضارة ومن هذه الأسباب :

- أسباب اقتصادية.
- أسباب أمنية.
- أسباب صحية.
- المحافظة على الموارد الطبيعية.

الأسباب الاقتصادية :

إن التآكل مُكلف جدا ففي عام ١٩٨٠ م قدرت تكاليف التآكل في الولايات المتحدة الأمريكية بحوالي ٧٠ بليون دولار ، حاليا تقدر بـ ٢٧٦ بليون دولار سنويا . أما في بريطانيا فقد قدرت تكاليف التآكل بحوالي ١.٤ بليون جنيه إسترليني عام ١٩٧١ م أي حوالي ٣ % من الناتج الوطني ، وبسبب التآكل فإن هناك دائما الحاجة إلى الدهان وإعادة الدهان للحديد الصلب (Steel) بالإضافة إلى مئات الآلاف من الدولارات التي تنفقها الشركات لتصنيع مواد جديدة أكثر مقاومة للتآكل و قد قدرت كمية الحديد التي أُلْفها التآكل بربع أو ثلث الإنتاج السنوي في بلجيكا . كما ان هناك تكاليف إغلاق المصانع للصيانة الدورية للأجهزة إضافة إلى تكاليف الأجهزة التي تتعطل بسبب التآكل.

الأسباب الأمنية :

إن التآكل يسبب مضايقات عديدة للناس وقد يفقدون الحياة فهناك العديد من الحوادث التي تسبب فيها التآكل من سقوط طائرات إلى غرق سفن ولعل أشهر حادث هو انفجار المفاعل النووي (ثري مايل أيلاند - *Three Mile Island* - الذي حدث عام ١٩٧٩ م في الولايات المتحدة الأمريكية) الذي كان سببه الرئيسي التآكل ولا ننسى حادث الطائرة المشهور SAS Q400 في الدنمارك في التاسع من سبتمبر ٢٠٠٧ الذي حصل في المدرج بعد ما كان السبب هو صدم أحد المسامير في المحرك مما أدى الى اختلال في توازن المرواح و منه الى إصابات بالغة و خفيفة لبعض المسافرين. و نذكر حادث الطيران الذي حدث في هاواي بتاريخ ٢٨ ابريل ١٩٨٨ والذي توفي فيه راكب و جرح (٦٥) راكب. Aloha Airlines Flight 243 - بسبب التأثير المزدوج للإجهاد الميكانيكي والتآكل الجوي في بيئة مدارية .

وفي حرب - فوكلاند - كانت تعاني بعض طائرات السلاح الجوي البريطاني من فشل أجهزتها عام ١٩٨٢ م بسبب التآكل. وكذلك انفجار مصنع كيميائي في - ولاية بوبال - الهند ديسمبر ١٩٨٤ م - حيث أدى الحادث الى قتل الآلاف من الناس وإصابة المئات بالعمى. ولا ننسى انفجار سخانات المياه بسبب تراكم نواتج التآكل على الأنابيب فهذا يحدث بشكل مستمر.



شكل (١٣) لحظة انفجار المفاعل النووي ثري مايل أيلاند - الولايات المتحدة الأمريكية - ١٩٧٩



شكل (١٤) حادث الطائرة المشهور SAS Q400 في الدنمارك - ٢٠٠٧ م



شكل (١٥) حادث هاواي ١٩٨٨ م



شكل (١٦) آلاف الموتى و المصابين بسبب انفجار مصنع كيميائي في - ولاية بوبال - الهند ، ديسمبر ١٩٨٤ م

الأسباب الصحية :

عند تآكل الأنابيب النفطية المدفونة في الأرض فان هذا يؤدي الى تلويث للبيئة وتسرب مواد سامة الى النباتات والمياه وبالتالي إلى الإنسان مما يُعرضه لمشاكل صحية خطيرة و يمكن مُسرطنه.



شكل (١٧) بعض الأنابيب الناقلة للبتترول و الماء

المحافظة على الموارد الطبيعية :

إن التآكل يسبب فقدا للموارد الطبيعية. و يسبب التآكل يتدهور الخارصين وأسطح الرصاص كما يؤدي تآكل أنابيب المياه وتشققها إلى فقد للمياه الطبيعية.

و تعاني صناعة البترول أيضا من مشاكل التآكل حيث تحتوي بعض الآبار على غاز H_2S الذي يساهم في انخفاض الرقم الهيدروجيني ، كما توجد أيونات S^{-2} وكلاهما يُسرع عملية التآكل للأنابيب في ظروف الحرارة العالية للآبار بالإضافة إلى أن تشققات أنابيب نقل البترول و يؤدي هذا إلى فقد هذه الثروة بالإضافة لتلويثها للبيئة.

إن ما سبق ذكره يعتبر أمثلة بسيطة على التكاليف المباشرة للتآكل ولكن التكاليف غير المباشرة الناتجة عن التآكل الفعلي أو الممكن حدوثه قد يصعب تقديرها ومنها :

إضاعة الوقت في المصانع نتيجة التوقف لإصلاح الأجزاء المتآكلة للأجهزة وهو جزء بسيط من التكلفة الفعلية فهناك تكاليف الصيانة الدورية المرتفعة فقد يُكلف إيقاف مفاعل نووي ملايين الدولارات كل يوم ، و تكاليف الدعاوى القضائية التي يرفعها المستهلكون بسبب تلف الأجهزة الناتج عن التآكل.

انخفاض كفاءة الأجهزة بسبب تراكم نواتج التآكل. وبالإضافة لكل ما سبق فإنه يجب الانتباه إلى اختيار العمر الافتراضي الصحيح للأجهزة والالتزام به. إن اختيار المواد ونظام الحماية الذي يُحسن من مقاومة التآكل لجهاز ما في عمره الافتراضي يقلل من تكلفة الصيانة وبالرغم من أن التكاليف الابتدائية قد تكون أعلى فإن التكلفة الإجمالية على المدى البعيد تكون أقل.

الآثار التي يخلفها التآكل :

١. زيادة تكاليف الصيانة والتكاليف التشغيلية للمصانع و خطوط النفط و غيرها.
٢. توقف المصنع أو الوحدة الصناعية و ما تسببه من خسائر و مخاطر.
٣. خسارة المنتج. أو تشوهات المنتج.
٤. مشاكل السلامة. (مثل التي تحدث في الطائرات و السيارات و السفن و القطارات)
٥. تلوث المنتج. (مثل تلوث المياه داخل السخان او تلوث الأجهزة الطبية)

يمكن تجنب التآكل أو تأخيره بالخطوات التالية:

١. استكشاف خطر التآكل في المراحل المبكرة وإيقاف تفاعلاته الغير المرغوبة.
٢. اختيار المعدن المناسب للبيئة المطلوبة.
٣. توفير / تطوير التغليف المقاوم للصدأ Corrosion Resistant Coating.
٤. تقليل قابلية التآكل التي يسببها المحيط من خلال المعالجة الكيماوية مثل استخدام مثبطات التآكل Corrosion Inhibitor. و سنتطرق بإذن الله لذلك في آخر الكتاب.
٥. وضع تصاميم وآليات تقلل آثار التآكل الى أقصى حد ممكن.

تصنيف التآكل (Classification of Corrosion)

يمكن تصنيف التآكل بعدة طرق منها:

الطريقة لأولى: تصنيف التآكل على أساس درجة الحرارة

- التآكل عند درجات الحرارة العالية (High-temperature Corrosion)

(من $100 \sim 1000$ م° إلى $1000 \sim$ م°)

- التآكل عند درجات الحرارة المنخفضة (Low-temperature Corrosion)

(من $25 \sim 80$ م° إلى $80 \sim$ م°).

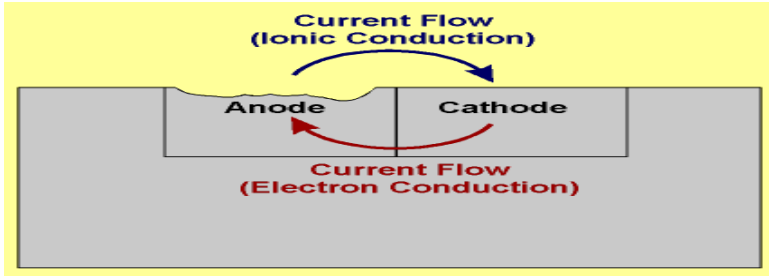
الطريقة الثانية: تصنيف التآكل على أساس منشأ التآكل

- التآكل الكيميائي (Chemical Corrosion)

وهو التآكل الذي ينشأ بسبب التفاعل المباشر بين الفلز (أو السبيكة) والبيئة المتصلة بها.

- التآكل الكهروكيميائي (Electrochemical Corrosion)

وهو التآكل الذي ينشأ بسبب تيار كهربائي يتعرض له الفلز أو السبيكة ، وهذه التيارات تنشأ بسبب تطبيق جهد خارجي أو وجود ازدواج جلفاني أو وجود خلايا تركيزية.



شكل (١٨) التآكل الكهروكيميائي (Electrochemical Corrosion)

الطريقة الثالثة : تصنيف التآكل على أساس وجود الرطوبة من عدمها

- **التآكل الرطب (Wet Corrosion)** وهو الذي يحدث في وسط سائل (Liquid) كتآكل الحديد في الماء أو الحمض.



شكل (١٩) التآكل الرطب Wet Corrosion

- **التآكل الجاف (Dry Corrosion)** وهو ما يحدث في غياب السائل أو عند درجة حرارة أعلى من درجة تكثف بخار السائل. والوسط المسبب للتآكل في هذه الحالة عبارة عن الأبخرة والغازات. وهو مرتبط دائماً بدرجات الحرارة العالية. ومثال هذا النوع هو تآكل الحديد بواسطة غازات الأفران.



شكل (٢٠) التآكل الجاف Dry Corrosion

الطريقة الرابعة : تصنيف التآكل على أساس نوع التآكل

أنواع التآكل (Types of Corrosion)

إن تأثير التآكل على سطح المعدن يتخذ أشكالاً مختلفة يعتمد على طبيعة هذا التآكل وحالة الوسط وظروفه التي تؤدي إلى حدوثه. وعلى هذا يمكن تمييز أنواع من التآكل أبرزها ما يلي:

١- التآكل المنتظم (Uniform Corrosion)

يسمى أيضاً بالتآكل العام (General Corrosion)، وهو أكثر الأنواع شيوعاً ، وفيه يتم حصول التآكل على جميع أجزاء المعدن بنفس المعدل ويحدث عندما يكون المعدن متماثلاً من الناحيتين الميتالورجية (Metallurgically Uniform) والتركيبية (Compositionally Uniform) وفرصة وصول المحلول إلى جميع أجزائه متساوية. وهذه المواصفات لا توجد في عالم الواقع ولكن يبقى المسمى سائغاً إذا كان الانتظام هو الغالب. وأشهر مثال على هذا النوع هو تآكل الحديد في المحاليل الحمضية.



شكل (٢١) صورة للتآكل المنتظم Uniform Corrosion

٢- تآكل التماس الثاني (Dissimilar Metal Corrosion)

ينتج هذا النوع لمعدنين مُختلفين من حيث النشاط الكهروكيميائي في وسط تآكل - محلول موصل للتيار الكهربائي - بحيث يكونان خلية تآكل رطبة (Wet Corrosion Cell). في هذه الحالة يزداد معدل تآكل أحد المعدنين ويقل معدل تآكل الآخر وذلك بالنسبة إلى معدل تآكل

كلٍ منهما عندما يتعرضان منفردين إلى هذا الوسط ويكون المعدن الذي ازداد معدل تأكله بعد التماس مصعداً (Anode) والمعدن الذي انخفض معدل تأكله بعد التماس مهبطاً (Cathode). ويصبح معدل تأكل المهبط عادةً - في هذه الحالة - منخفضاً جداً أو معدوماً. ويسمى هذا النوع أيضاً باسم آخر وهو التآكل الجلفاني (Galvanic Corrosion).



شكل (٢٢) تآكل التماس الثاني (Dissimilar Metal Corrosion)



شكل (٢٣) التآكل الجلفاني - Galvanic Corrosion

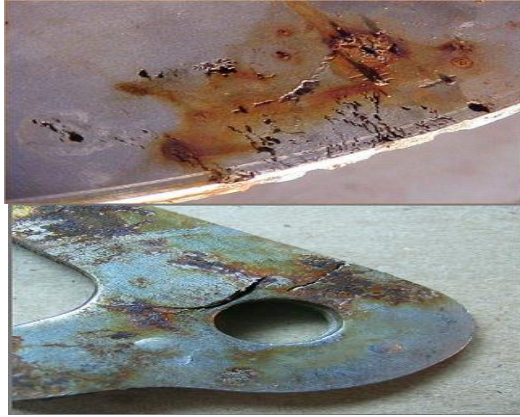
وهذا النوع من التآكل يحدث كثيراً ومثاله ما حدث لتمثال الحرية The Statue of Liberty الذي تم بناؤه في العام ١٨٨٦ م من معدني الحديد والنحاس حيث أصابه اهتراء شديد في العام ١٩٨٠ م، غُزي جزئياً إلى هذا النوع من التآكل. ومثال آخر هو تآكل المعادن المطلية طلاء معدنيًا مثل صفائح الصلب المطلية بالقصدير عند حصول خدش فيها.



شكل (٢٤) صورة لتمثال الحرية The Statue of Liberty عام ١٨٩٠ م (<http://liberty1886.com>)

٣- تآكل الشقوق الإجهادي (Stress Corrosion Cracking, SCC)

يحدث هذا النوع من التآكل المؤدي إلى الكسر للسبائك المتعرضة لإجهاد شد ساكن A static tensile stress في ظروف بيئية معينة ، ويظهر على هيئة شقوق (Cracks) في بعض المناطق على سطح المعدن دون غيرها. وتعتبر المعادن النقية مقاومة نسبياً لهذا النوع من التآكل ويستلزم حدوثه وجود بعض الجسيمات الذائبة في وسط التآكل ، فعلى سبيل المثال ، يحدث هذا النوع للفولاذ المقاوم في محاليل الكلوريد الساخنة Hot Chloride Solutions والنحاس الأصفر (Brass) في المحاليل المحتوية على الأمونيا والصلب الكربوني (Carbon Steel) في المحاليل المحتوية على النترات، ومما يزيد من خطورته صعوبة توقع حدوثه فغالباً ما تختار مادة ما لمقاومتها للتآكل في بيئة معينة ويحدث فشل لها عند مستوى إجهاد أقل من المستوى الإجهادي الطبيعي للكسر (Normal fracture stress) كما أنه ليس هناك أي دلائل مسبقة توحى بقرب حدوث هذا النوع من التآكل.



شكل (٢٥) تآكل الشقوق الإجهادي (Stress Corrosion Cracking, SCC)

٤ - التقصف الهيدروجيني (Hydrogen Embrittlement)

هذا النوع من التآكل يشبه تماماً في مظهره النوع السابق (تآكل الشقوق الإجهادي) حيث تتعرض السبيكة لتشققات بسبب وجود جهد شد في وسط تآكل يتضمن تحرير هيدروجين ذري ينفذ إلى داخل سطح السبيكة مسبباً ما يدعى بالتقصف الهيدروجيني. إن التمييز بين الفشل الحاصل بسبب التقصف الهيدروجيني وذلك الذي يحصل بسبب تآكل الشقوق الإجهادي لا يعد أمراً سهلاً ، ويمكن على أي حال التمييز بينهما عن طريق استجابة الشق لنوع التيار المسلط. فعندما تتعجل سرعة التشققات بسبب تسليط تيار مصعدي ، فمعنى ذلك أن هذه التشققات هي تشققات التآكل الإجهادي وحينما تتعجل سرعة نمو الشق عند تسليط تيار مهبطي ، فإن التشققات في هذه الحالة تكون هيدروجينية المنشأ (أي تقصف هيدروجيني) ذلك لأن تسليط التيار المهبطي يؤدي إلى تحرير الهيدروجين الذري.



شكل (٢٦) التقصف الهيدروجيني Hydrogen Embrittlement

٥- تآكل ما بين الحبيبات (Intergranular Corrosion, IGC)

يحدث عندما يكون المعدن في حالة ميتالورجية معينة تؤدي إلى جعل منطقة حدود الحبيبات (Grain boundaries) أكثر نشاطاً من مناطق الحبيبات (Grains) نفسها. هذا النوع من التآكل تعاني منه معظم السبائك مثل سبائك الصلب المقاوم الأوستونيتي (Austenitic Stainless Steel) حيث تؤدي المعالجات الحرارية (Heat treatment) في مدى ٤٢٥ - ٨١٥ م° إلى حدوث تفاعل ميتالورجي (Metallurgical reaction) ينشأ عنه راسب من كربيدات الكروم (Chromium Carbide, Cr₂₃C₆) في منطقة حدود الحبيبات مؤدية بذلك إلى اضمحلال أو زوال الكروم من منطقة حدود الحبيبات والمناطق المجاورة لها، وعندما تصل نسبة الكروم إلى أقل من ١٠ ٪ تفقد تلك المناطق مقاومتها وتكون موقعاً مفضلاً للتآكل.

٦- تآكل النزاع الاختياري (Selective Leaching)

في هذا النوع تتعرض بعض السبائك في أوساط وتحت ظروف معينة إلى ما يسمى بالنزاع الاختياري وهو زوال أو ذوبان أحد عناصر السبيكة الأكثر نشاطاً وبقاء العنصر أو العناصر الأخرى مما يؤدي إلى حدوث فشل (تآكل) عام متجانس والذي قد يشمل كل أجزاء سطح السبيكة أو فشل موضعي. النوع الأول (العام) يؤدي إلى فقدان المقاومة الميكانيكية للسبيكة والنوع الثاني يؤدي إلى حصول ثقب في الأجزاء ذات السمك القليل. إن أكثر أنواع السبائك عرضةً لظاهرة النزاع الاختياري سبيكة النحاس الأصفر (Brass) التي يتم فيها زوال الخارصين من السطح وبقاء النحاس حيث تدعى حينئذٍ هذه الحالة بظاهرة إزالة الخارصين (De-zincification). إن حصول هذه الظاهرة - ظاهرة إزالة الخارصين - في النحاس الأصفر يمكن الكشف عنها بسهولة وبالعين المجردة ، ذلك لأن المنطقة التي تتعرض لهذا الفشل يكون لونها أحمرًا ومميزاً عن اللون الأصفر المعروف لسبيكة النحاس الأصفر. وقد تحصل هذه الظاهرة ، ولكن بشكل أقل في سبائك أخرى ، مثل ظاهرة إزالة الألمنيوم (Di-aluminization) أو ظاهرة إزالة الكوبلت (De-cobaltification).



http://www.sailnet.com شكل (٢٧) ظاهرة إزالة الخارصين (De-zincification)

٧- التآكل بالتعرية (Erosion corrosion)

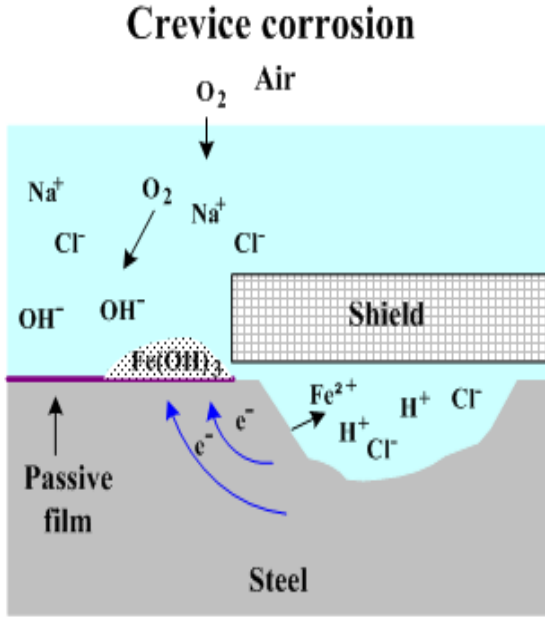
يحدث هذا النوع بسبب عاملين أحدهما كيميائي والآخر ميكانيكي ، فنتيجة للحركة النسبية بين المعدن والمانع (السائل أو الغاز) المساعد على التآكل يحصل زيادة أو تعجيل في معدل تحلل المعدن. والفشل الذي يصيب المعدن بسبب التعرية ليس ميكانيكياً بحتاً وإنما يساعد في حدوثه - أيضاً - الطبيعة الكهروكيميائية المساعدة على التآكل لهذا الوسط المتحرك. وهذا النوع من التآكل له اتجاه محدد يرتبط باتجاه مسار الوسط المسبب للتآكل الذي يتحرك على سطح المعدن. وتزداد ضراوته عند وجود فقاعات الهواء أو جسيمات صلبة عالقة كالرمل. ويستشري هذا النوع في الظروف التي توجد بها سرعات عالية وسريان دوامي ، فكثيراً ما يلاحظ في أجهزة التقلب أو الخلط (Mixer) والمضخات والأنابيب خصوصاً عند الانحناءات والأكواع.



www.cdcorrosion.com شكل (٢٨) التآكل بالتعرية (Erosion corrosion)

٨- التآكل الجيبي أو الصدعي (Crevice Corrosion)

هو تآكل موضعي شديد يصيب الأجزاء المعدنية في مناطق الجيوب سينة الخلط (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).



شكل (٢٩) التآكل الجيبي أو الصدعي (Crevice Corrosion)

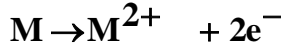
ميكانيكية التآكل الجيبي

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

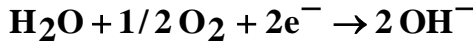
المرحلة الأولى :

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

(1) التفاعل المصعدي.



(2) التفاعل المهبطي.



(3) التفاعل الكلي.



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 نفاذ كمية الأكسجين في المناطق المحصورة بين سطحي المعدن (الشقوق) كما في التفاعل (1) ذلك لأن وصول الأكسجين إلى هذه المنطقة من الجو أو من المحلول في المناطق الأخرى يكون صعباً بسبب ضيقها.

المرحلة الثانية :

وبعد نفاذ كمية الأكسجين داخل الشق يستمر تحلل المعدن (التفاعل المصعدي) يرافقه تفاعل مهبطي في أقرب منطقة خارجية يتوفر فيها الأكسجين حيث ينشأ ما يسمى بالخلية التركيبية. 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 - إليها كما هو مبين في التفاعل (٢).

إن وصول أيونات الكلوريد إلى منطقة الصدع يؤدي إلى تكوين كلوريد معدني (M^+Cl^-) وهذا الكلوريد يتفاعل مع الماء وفق المعادلة التالية:



مما يؤدي إلى انخفاض الرقم 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 الواقى (Protective passive film) لسطح المعدن ، ويسمى - المحلول - في هذه الحالة بالمحلول الحرج للشق (Critical Crevice Solution, CCS) الذي يضع نهاية لمرحلة الابتداء والإيدان 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 المادة (Mass Transfer) وحركية التفاعل.

٩- التآكل النقري (Pitting Corrosion)

في هذا النوع من التآكل تتكون نُقر (Pits) على أجزاء من سطح المعدن دون غيرها. هذه النقر ربما تكون صغيرة - وهو الغالب - أو كبيرة ، وربما تكون عميقة أو سطحية. كما أن هذه النقر 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 بتقبيها دون فقدان شيء

يذكر من وزنها وكذلك لكونه يصعب قياس درجة حدته كميأ. كما أنه يصعب توقعه بالقياسات المخبرية لاختلاف عمق وعدد النقر 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.



شكل (٣٠) التآكل النقري (Pitting Corrosion) www.nauticclub.net

ميكانيكية التآكل النقري (Mechanism of Pitting Corrosion)

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

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

المرحلة الأولى : (بدء النقر)

تتضارب الآراء حول سبب بدء النقر ، فأحدى النظريات تعزو بدأه في المعادن من النوع (النشط - الخامد) - أي التي يغطي سطحها طبقة أكسيدية - إلى وجود العيوب الدقيقة (Micro-flows) أو الخدوش السطحية في هذه الطبقة الأكسيدية حيث تشكل بؤراً مصعدية منها يبدأ التآكل. ونظرية أخرى تعزو بدء النقر 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 الأكسيدية 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^{+n} ، 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 (أي بسبب حصول ظاهرة التهوية المتباينة " غير المتساوية " ، Differential Aeration).

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

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

المرحلة الثانية : (امتداد النقر)

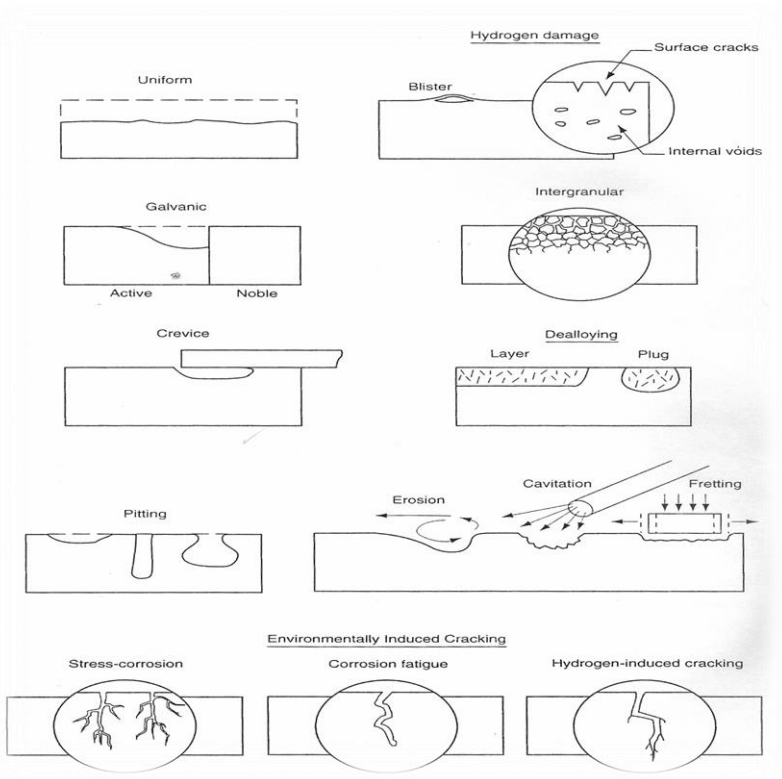
تُعزى عملية امتداد النقر إلى عملية التحفيز الذاتي ، أي أنه عندما يبدأ النقر فإن امتداده إلى داخل المعدن يصبح عملية ذاتية مستمرة ، حيث تؤدي زيادة تركيز أيونات المعدن M^{+n} في المنطقة التي بدأ فيها النقر إلى جذب أيونات الكلور والذي بدوره يؤدي إلى زيادة تركيز أيونات الهيدروجين أي تقليل الـ pH في ضوء التفاعل المبين في معادلة الأخيرة (٤) ،

وهذه الأيونات - كما بُيِّنَ سابقاً - تؤدي إلى زيادة تحلل المعدن ، أي تكوين أيونات جديدة من المعدن M^{+n} 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.

أوجه الشبه و الاختلاف بين التآكل الجيبي والنقري

يذهب جمع من الباحثين إلى أن ميكانيكيتي كل من التآكل الجيبي والنقري متشابهتان، ومع هذا فإن هناك بعض الاختلافات الأساسية كما بينت ذلك الباحثة سميالوسكا (٢) تتمثل في ما يلي:

- أ- كلا النوعين له علاقة وثيقة بالمحاليل المحتوية على أيون الكلور Cl^- إلا أن التآكل الجيبي يحدث أيضاً في بيئات تآكل أخرى مثل المحاليل الحمضية.
 - ب- التآكل الجيبي يحدث بسبب وجود محلول راكد داخل شق بينما التآكل النقري يحدث سواءً أكان المحلول راكداً أم متحركاً ، ونتيجةً لذلك فإنه يمكن أن يحدث في أي جزءٍ من سطح المعدن على خلاف التآكل الجيبي الذي يكون محصوراً بمنطقة محدودة وهي منطقة الشق.
 - ج- يحدث التآكل الجيبي عند جهود منخفضة مقارنة بالتآكل النقري.
 - د- فترة حضانة التآكل الجيبي (Induction time) أقل من تلك التي في التآكل النقري.
- ويذهب بعض الباحثين إلى أن هناك علاقة ارتباطية متبادلة بين النوعين تتمثل في ما يلي:
- أ- التآكل النقري حالة خاصة من التآكل الجيبي حيث تعمل المسام الميكروسكوبية (Micro pores) الموجودة في طبقة الأكسيد كشق منها يبدأ التآكل.
 - ب- التآكل الجيبي يبدأ بِنَقْرٍ تنشأ داخل الشق.
 - ج- العمليات الكهروكيميائية متشابهة إلا أن طريق الانتشار (Diffusion Path) في التآكل الجيبي أطول منه في التآكل النقري.
 - د- مرحلة الانتشار (Propagation Stage) في كلا النوعين متطابقة.



شكل (٣٠) بعض أشكال التآكل النقري و الجيبي

Mechanism of Corrosion (آلية التآكل)

يعتبر التآكل تفاعل أكسدة و اختزال كيميائي غير متجانس (Heterogeneous) يحدث على السطح البيني بين المعدن واللامعدن حيث يتأكسد المعدن ويختزل اللامعدن ومن المبادئ الأساسية في التآكل ان معدل الأكسدة يساوي معدل الاختزال ، ويمكن أن يمثل التآكل بالتفاعل الكيميائي التالي :



حيث A هو المعدن و B اللامعدن ، C الشكل المؤكسد للمعدن أي ناتج التآكل و D الشكل المختزل للمعدن ، ومن المهم الإشارة إلى أنه عندما يكون المحيط معقدا جدا فان المكونات الثانوية قد تلعب دورا هاما فمثلا غاز النيتروجين الذي يكون %75 من الهواء الجوي وزنا ليس له أي أهمية في التآكل الجوي للحديد الصلب مقارنة بأهمية البخار والأكسجين. (يُرمز للحديد Fe و الالمنيوم Al و الاكسجين O₂)

يمكن توضيح المعادلة السابقة بالتفاعل التالي :



حيث Fe₂O₃ (s) تمثل كلا من D و C وهذه التفاعلات التي لا تحتوي على الماء تسمى تفاعلات جافة أما التفاعل الرطب للتفاعل السابق فنستطيع تمثيله بالتالي:



والأمثلة التالية توضح بعض حالات تأكسد المعدن :



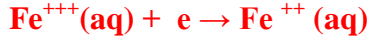
أما الأمثلة التالية فتوضح بعض أنواع تفاعلات الاختزال وأشهرها اختزال أيونات الهيدروجين:



وقد يحدث اختزال للماء مع تصاعد الهيدروجين:



أو اختزال للمعادن :



أما اختزال الأكسجين الذائب فيلاحظ في المحاليل المتعادلة والقلوية :



أما في المحاليل الحمضية فقد يحصل التفاعل التالي :



وباختصار فإن معنى الميكانيكية الكهروكيميائية للتآكل أن التآكل تفاعل كهروكيميائي يتفاعل المعدن فيه ويتأكسد بينما تختزل مادة أخرى في المحلول .

ولفهم ظاهرة التآكل يجب الأخذ في الاعتبار العوامل الثلاثة التالية :

أ- المعدن وتركيبه الذري الدقيق ، عدم التجانس العام والدقيق (Microscopic and Macroscopic Heterogeneity، الإجهاد (Stress)، وغيره

ب- الوسط المحيط بالمعدن (Environment) تركيز المكونات المتفاعلة والشوائب الضارة ، الضغط ، درجة الحرارة ، سرعة تدفق السوائل وغيره

ج- السطح البيني (Interface) بين المعدن والمحيط ، حركية ذوبان المعدن وتأكسده ، حركية اختزال المكونات في المحلول ، طبيعة نواتج التآكل ، نمو الغشاء (Film Growth) وذوبانه إلى غير ذلك

بالإضافة إلى ما سبق فإنه يجب الأخذ في الاعتبار عوامل حركية أخرى مثل الانتشار الكلي (Bulk Diffusion) و تفاعلات انتقال الشحنة (Charge Transfer) ومما سبق يتضح أن ميكانيكية التآكل المعدني معقدة جدا ويحتاج فهم ظواهرها المختلفة إلى فهم العديد من العلوم البحتة والتطبيقية .

أن الظروف المثالية لحدوث التآكل هي أن توازن العملية الكاثودية يجب أن يكون أعلى من توازن العملية الأنودية كالاتي:

$$E_{eq,c} > E_{eq,a}$$

ولغرض عدم حدوث التآكل يجب أن يكون توازن العملية الكاثودية اقل من توازن العملية الأنودية.

العملية الكاثودية Cathodic Process

تفاعل الأوكسجين:



تفاعل الهيدروجين:

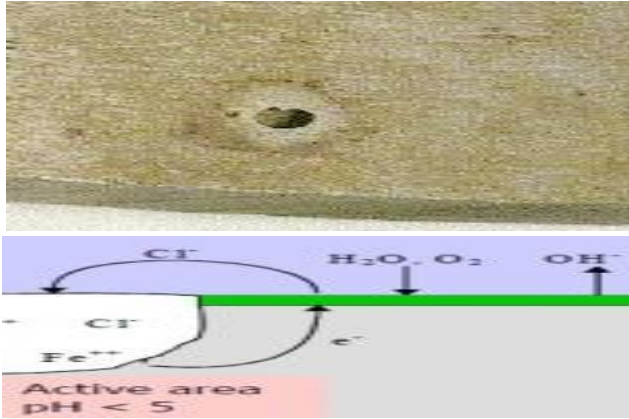


تقليل جزيئات الأوكسجين.

التآكل النقري Pitting Corrosion:

ينشأ هذا النوع من التآكل بسبب:

- وجود الكلوريدات.
- وجود جزيئات الأوكسجين.
- وجود البكتيريا.



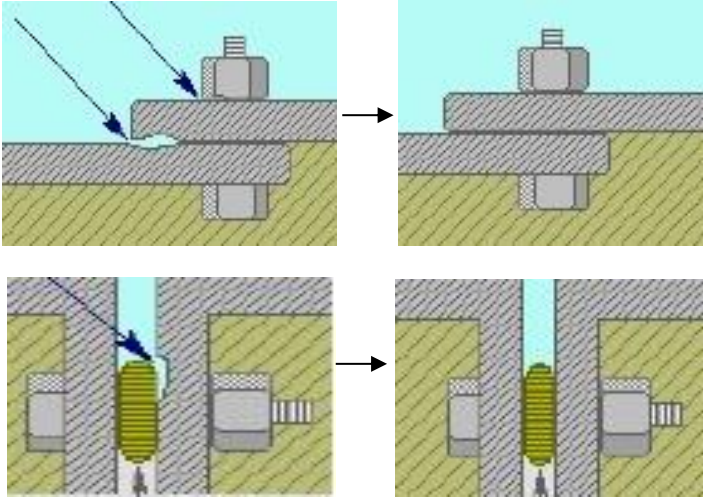
شكل (٣٢) التآكل النقري Pitting Corrosion

ولمنع هذا النوع من التآكل يجب اتخاذ الخطوات التالية:

١. إزالة الكلوريدات والمؤكسدات مثل الأوكسجين المذاب من الوسط المحيط.
٢. تجنب توقف الجريان (الركود) حيث أنه يساعد على حفر الأنابيب.
٣. أستعمل تصميماً مثالياً للتصريف Drainage.
٤. التأكد من الاختيار المناسب للمادة ، من حيث نوع السبيكة والمعاملة الحرارية.
٥. استخدام الإضافات Additives مثل مانع التآكل Corrosion Inhibitor التي تحتوي على SO_4^{--} و NO_3^- لتقليل التنقر (الحفر) .
٦. استخدام الحماية الكاثودية والحماية الأنودية.
٧. استخدام معالجة مناسبة للأسطح المعدنية و خلافه.

٨. التآكل الصدعي (الجيبى) : Crevice Corrosion

يحدث هذا النوع في البراغي (المسامير) ، حلقات أو O-Ring ، حافات (أطراف) الأنابيب يمكن فهم هذا النوع من التآكل من خلال هذه الصور التالية :



شكل (٣٣) بعض أنواع التآكل الصدعي

البيئات أو الأماكن المحتمل وجود التآكل بها و تنقسم الى أربعة أقسام :

١. بيئة لا تسمح بالتآكل

وذلك بغياب الماء عن الوسط (Formation Water) أو في الظروف التالية:



٢. بيئة تحتوي على غاز CO₂



٣. بيئة تحتوي على H₂S



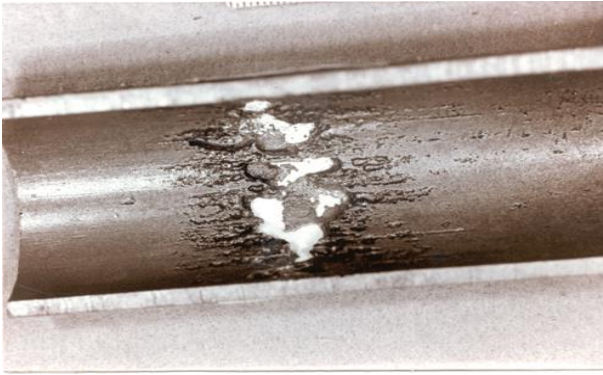
٤. بيئة تحتوي على كل من CO₂ و H₂S



و سوف نتكلم بشي من التفصيل عن هذه البيئات الأربعة.

● التآكل بسبب ثاني أكسيد الكربون CO_2

- إن غاز ثاني أكسيد الكربون هو من أكثر العوامل المسببة للتآكل في صناعة النفط والغاز الطبيعي.
- إن غاز ثاني أكسيد الكربون السبب الرئيسي لتضرر معدات الإنتاج والنقل في الصناعة النفطية.
- إن غاز ثاني أكسيد الكربون العامل الرئيسي الذي يُحدد استخدام الفولاذ غير القابل للصدأ (Stainless Steel)



شكل (٣٤) بعض أشكال التآكل بسبب ثاني أكسيد الكربون CO_2

- كيفية السيطرة على التآكل الذي يسببه ثاني أكسيد الكربون
 - - استخدام الفولاذ غير القابل للصدأ Stainless Steel
 - - استخدام المواد المانعة للتآكل Corrosion Inhibitors
 - - استخدام التغليف أو التبطين الداخلي Internal Coating
 - - السيطرة على تركيز أيون الهيدروجين PH Control

● أشكال التآكل الحامضي: Sour Corrosion Forms

- التفتّع. Blistering
- التصدّع المستحث بالهيدروجين. Hydrogen Induced Cracking
- التصدّع التدريجي. Stepwise Cracking
- التصدّع الكبريتي الأجهادي Sulphide Stress Cracking



شكل (٣٥) بعض أشكال التآكل الحامضي

- **السبائك المقاومة للصدأ: Corrosion Resistant Alloys**
- **التصدع الناشئ بسبب الكبريتات. Sulphide Stress Cracking**
- **التصدع الناشئ بسبب الإجهاد. Stress Corrosion Cracking**

حدوث التصدع الناتج بسبب الإجهاد: Stress Corrosion Cracking
يشترط لحدوث هذا النوع من التآكل وجود العوامل التالية :

- وجود مادة فعالة.
- وجود بيئة معينة (ضغط أو حرارة) تساعد على التآكل.
- يكون إجهاد الشد (Tensile Stress) أعلى من الحد المسموح.

إن البيئة لوحدتها لا تستطيع أن تتسبب في هذا النوع من التصدعات إلا بوجود التنقر (الثقوب) . وهناك نوعان من هذا التصدع:

١. الذوبان عن المصدر **Ionic Dissolution** الذي يحصل في طرف التشقق.
٢. بسبب الهشاشة التي يسببها الهيدروجين.

ميكانيكية أجهاد الانحلال الأيوني Stress Corrosion Cracking

إن العوامل التي تؤدي الى زيادة حساسية المادة في الانحلال الأيوني هي:

- زيادة الحرارة.
- وجود أيونات الكبريت.
- وجود المواد المؤكسدة مثل الاوكسجين والكبريت الحر.
- التضرر في الغشاء وانخفاض الدالة الحامضية PH.
- زيادة الخواص الميكانيكية للمادة مثل الصلابة. Hardness.

كيفية منع الانحلال الأيوني والسيطرة عليه:

- تقليل الإجهاد الى الحد المقبول.
- إزالة العوامل البيئية المسببة.
- تغيير السبيكة.
- نصب منظومات الحماية الكاثودية.
- إضافة مواد مانعة التآكل. Corrosion Inhibitors
- التغليف. Coating

كيفية منع هشاشة الهيدروجين والسيطرة عليها:
تقليل معدل التآكل من خلال تسخين المادة أو تغيير المادة واللحام بعناية.

الفشل السطحي الناتج عن التآكل على سطح المعدن.

إن الأضرار التي يسببها الفشل السطحي بسبب التآكل عديدة وجميعها ذات مردود اقتصادي سيء ، ومن هذه الأضرار :

■ تغير الأبعاد وفقدان الخواص الميكانيكية :

يؤدي التآكل إلى فقدان الوزن بسبب انحلال المعدن وبالتالي إلى تغير أبعاده ، لذلك تعطى في الغالب بعض السماحات للتآكل (Corrosion Allowance) عند التصميم وتكون هذه السماحات أكبر سمكاً في الأوساط التي يكون فيها معدلات التآكل عالية منها في الأوساط التي يكون فيها معدلات التآكل منخفضة .

ولتغير أبعاد القطعة المعدنية بسبب التآكل تأثير في الخواص الميكانيكية ، حيث تقل قابليتها لتحمل الأحمال الخارجية ، أي تزداد قابليتها للتشويه اللدن (Deformation Plastic) و (التشويه المرن Elastic Deformation)

إن استخدام المعدن في أوساط مساعدة على التآكل يؤدي إلى انخفاض قيم العديد من الخواص الميكانيكية وخصوصاً مقاومة المعدن للكلال (Fatigue Strength) ونشوء التشققات (Cracks) التي تؤدي إلى حصول الكسر الهش السريع (Fast Fracture)

■ تشوه المظهر :

يتأثر مظهر المعدن بدرجة كبيرة عند إصابته بالتآكل حيث يظهر المعدن دائماً بمظهر سيء . لذا يجب استخدام معادن مقاومة للتآكل الجوي مثل الألمنيوم أو الفولاذ المقاوم للصدأ بدلاً من الفولاذ الكربوني ، كمعادن بناءً ظاهرية مثل الشبائك ومواد واجهات الأبنية الخارجية ويعزى المظهر الحسن لهذه المواد إلى مقاومتها للتآكل الجوي . أما المعادن ذات المقاومة الضعيفة للتآكل فإنها تظلي بأنواع خاصة من الطلاء المختلفة لتحسين مظهرها من خلال الحد من تآكلها.

مبادئ دراسة التآكل .

التآكل الجلفاني للحديد والألمونيوم في وجود ماء مالح . تحدث ثقوب في لوح الألمونيوم خلال سنتين .

● المبدأ الكهروكيميائي.

غالبية عمليات التآكل تتم كعملية الكهروكيميائية وخاصة في وجود محلول اليكتروليتي موصل مما يتيح الفرصة لانتقال الشحنات بين المعدن والمحلول .

مثال علي ذلك تفاعل الحديد مع حمض الهيدروكلوريك:



هذا التفاعل يمكن تقسيمه الى :



يمكن تجنب التآكل أو تأخيرها بالخطوات التالية:

١. استكشاف خطر التآكل في المراحل المبكرة وإيقاف تفاعلاته غير المرغوبة.
٢. اختيار المعدن المناسب للبيئة المطلوبة.
٣. توفير / تطوير التغليف مقاوم للصدأ **Corrosion Resistant Coating**.
٤. تقليل قابلية التآكل التي يسببها المحيط من خلال المعالجة الكيميائية مثل استخدام مادة مانع التآكل **Corrosion Inhibitor**.
٥. وضع تصاميم وآليات تقلل آثار التآكل الى أقصى حد ممكن.

الحماية من التآكل والسيطرة عليه

Corrosion Prevention & Corrosion Control

تقنيات الحماية من التآكل

- مراقبة البيئة.
- الاختيار الصحيح للمواد.
- اعتماد تقنيات مناسبة للحماية من التآكل.
- الصيانة الدورية
- التصاميم المناسبة.

تقنيات مراقبة التآكل

- مراقبة السُمك بالنسبة للأنابيب والأوعية والخزانات.
- مراقبة التشققات والاستشعار بها. Cracks Detector
- مراقبة المقاومة الكهربائية. Electrical Resistance

إجراءات منع التآكل في مرحلة التصميم

- اللحام بدلاً من وضع البراغي.
- مراعاة وضع منظومة تصريف للخزان Tank Drainage System ، مع الأخذ بنظر الاعتبار كيفية تنظيفه وصيانته في المستقبل.
- سهولة استبدال الأجزاء العاطلة وخاصة في منظومات الضخ. Pumping Systems
- تجنب الانحناءات الحادة في منظومة الأنابيب.
- إجراء الاختبارات اللازمة مثل الاختبار بالماء. Hydrostatic Test
- إجراء الصيانة الدورية.
- تجنب حدوث الاهتزازات في أنابيب المبادلات الحرارية Heat Exchanger pipes 'vibration.

اختيار المواد

لعل من أهم الأمور اختيار المواد المناسبة بالشكل الذي يتلاءم مع الوسط والمواد المستعملة كالاتي :

- حامض النتريك : الفولاذ غير القابل للصدأ.
- السوائل القلوية : النيكل - الفولاذ الكربوني + Carbon steel الأيبوكسي. Epoxy
- حامض الكبريتيك : النحاس للحامض المخفف الفولاذ الكربوني Carbon Steel للحامض المخفف
- الهواء الجوي : الألمنيوم - الفولاذ الكربوني Carbon steel
- الماء المغلي : الألمنيوم والصفائح.
- المحلول المؤكسد- الحار : التيتانيوم. Titanium
- المحيط الذي يسبب التآكل : التيتانيوم. Titanium

حماية سبيكة الصلب الكربوني من التآكل:

- الهواء الجوي : التغليف Organic Coating أو استعمال الزنك.
- الماء النقي : التغليف العضوي أو الرملي.
- منظومات التبريد : مانع التآكل. Corrosion Inhibitors
- الأنابيب داخل مياه البحر : الحماية الكاثودية Cathodic Protection أو التغليف.
- الرمل : الحماية الكاثودية أو التغليف العضوي.
- ماء المعالجة : مانع تكون الأغشية و الترسبات. Filming Inhibitors
- المنصات البحرية : offshore platform الحماية الكاثودية.



شكل (٣٦) المنصات البحرية Offshore platform www.seaphantom.com

و بما أننا نتكلم عن الحماية من التآكل والسيطرة عليه فلا بد لنا أن نأخذ نبذة عن الصلب المقاوم.

الصلب المقاوم (Stainless Steel)

الصلب المقاوم هو عبارة عن سبيكة حديدية تحتوي على (١١٪) كروم على الأقل موجودة بشكل زانب في الحالة الصلبة ، إضافة إلى احتوائها - أحياناً - على بعض العناصر مثل : النيكل أو التيتانيوم أو الموليبدنيوم وذلك من أجل تحسين خواصه. وتعود مقاومته المتميزة للتآكل في كثير من الأوساط إلى تكوينه طبقة رقيقة جداً من أكسيد الكروم تلتصق بسطح السبيكة ومن ثم تقيه من التآكل.

عُرفت هذه السبيكة لأول مرة من قبل الباحث بريرلي في العام ١٩١٢ م ، حيث استطاع الحصول على سبيكة تحتوي على (١٢ - ١٣ ٪) كروم لا تصدأ في الجو ومعظم الأوساط الأخرى. وقد استخدمت هذه السبيكة فيما بعد في صنع أدوات المائدة. ومنذ ذلك الحين ظهرت أنواع عديدة من الصلب المقاوم ودخلت استخداماته في مجالات متعددة. وتكون الحاجة مُلحة لاستخدام هذه الأنواع من السبائك عندما يكون وسط التآكل بالغ القسوة مثل : الأوساط الموجودة في الصناعات الكيماوية والبترولية. ومما سبق يتبين أن الصلب المقاوم يناسب أغراض التخزين والنقل وحفظ الأطعمة والمشروبات. ولقد وجد أن إضافة الموليبدنيوم (Mo) يحسن من مقاومة هذه السبائك لكل من التآكل النقري والجبيبي في الأوساط المحتوية على أيون الكلور أو أي هاليد آخر. وللصلب المقاوم استخدامات عديدة في الصناعة فهو يستخدم في صنع المعدات المستخدمة في صناعة الورق ، الأنسجة المواد الطبية والصيدلانية ، الأطعمة والمشروبات ، المفاعلات ، أعمدة التنقية والتقطير ، الصهاريج وفي الصناعات الكيماوية المختلفة الأخرى.

وللصلب المقاوم أقسام عديدة يتميز بعضها عن بعضها الآخر في درجة مقاومتها للتآكل وفي خواصها الميكانيكية وكذلك كلفتها. والذي يحدد استخدام قسم منها دون آخر هو معرفة التطبيق المراد استخدامها فيه لتحديد النوع المناسب منها.

١ - أقسام الصلب المقاوم (Classification of Stainless Steel)

يمكن تقسيم الصلب المقاوم حسب التركيب الميتالورجي إلى مجموعات رئيسة أهمها ما يلي:

أ - مجموعة الصلب المقاوم المارتنزيتي (Martensitic stainless steels)

تحتوي على أكثر من (١١,٥ ٪) كروم، وسميت بهذا الاسم (المارتنسايتي) لأن لديها القابلية لتكوين المارتنزيت عند تبريدها تبريداً سريعاً من الحالة التي يكون تركيبها أوستنايت عند

درجات الحرارة العالية. وتستخدم هذه السبائك في الأغراض التي تتطلب مقاومة و صلادة عاليتين ومقاومة تآكل معتدلة نسبياً. ومثال هذه المجموعة هو: سبيكة (420) التي تستخدم في صناعة الأدوات الجراحية.

ب- مجموعة الصلب المقاوم الفيريتي (Ferritic stainless steel)

تحتوي على نسبة من الكروم تبدأ من (١٥-١٨ %) و يمكن أن تصل إلى (٣٠ %). وتؤدي زيادة نسبة الكروم في هذه المجموعة إلى استقرارية الفيريت. ولهذا السبب لا يمكن تصليد هذا النوع كما هو الحال في المارتنزيتي الذي يمكن تحويله إلى أوستنايت ومن ثم مارتنزيت. ويطلق على هذا النوع (الصلب المقاوم غير القابل للتصليد بالمعاملات الحرارية) وعليه فإن طريقة تصليده الوحيدة هي التشكيل على البارد. إن أشهر أنواع سبائك هذه المجموعة هي سبيكة (430)، التي يمكن تشكيلها على البارد بسهولة والتي تتميز بمقاومة تآكل جيدة في الجو مما جعلها تستخدم بشكل واسع في صناعة زخارف السيارات و الدرجات النارية.



شكل (٣٧) نموذج لأحدى تطبيقات الصلب المقاوم الفيريتي. <http://img.ehowcdn.com>

ج- مجموعة الصلب المقاوم الأوستنايتي (Austenitic stainless steel)

تعد سبائك هذه المجموعة أكثر أنواع الصلب المقاوم استعمالاً ، نظراً لما تمتاز به من خواص ميكانيكية جيدة ومقاومة للتآكل عالية - مقارنة بسبائك المجموعتين الأولى والثانية - مما جعل استعمالها واسعاً في الصناعات الكيماوية المتعددة. وتختلف هذه المجموعة عن المجموعتين الأولى والثانية في أن سبائكها لا تحمل صفات مغناطيسية وذلك لأن التركيب الميتالورجي لسبائك هذه المجموعة هو الأوستنايت الذي يكون من نوع (Face Centered Cubic, F.C.C) . وسبائك هذه المجموعة لا تتصلد بالتبريد السريع من درجات الحرارة العالية. لأن الأوستنايت يبقى مستقراً ولا يتحول إلى المارتنزيت كما هو

الحال في سبائك المجموعة الأولى ، وذلك لوجود النيكل أو المنغنيز في هذه السبائك الذي يؤدي إلى استقرارية طور الأوستنايت. ونظراً لمقاومة التآكل العالية التي تتميز بها سبائك هذه المجموعة فإنها تستخدم في الأغراض التي تتطلب عدم حصول تآكل مهما كانت درجته بسيطة كما هو الحال في الصناعات الدوائية والغذائية ومن أمثلة هذه المجموعة : السبائك 304 ، 316L و 904L المستخدمة في هذه الدراسة.

د- الصلب المقاوم المزدوج التركيب (Duplex stainless steel)

معظم سبائك هذه المجموعة تجارية ، وتركيبها المينالورجي هو فرايت في أرضية من الأوستنايت بنسب متقاربة نسبياً. أما عن المكونات الكيميائية الأساسية لهذه السبائك فهي الكروم والنيكل وإن كانت نسبة الكروم عادة أعلى من النيكل ، حيث يؤدي الكروم إلى استقرارية الفرايت في حين يؤدي النيكل إلى استقرارية الأوستنايت. والسبيكة القياسية (CD-4Mcu) - المستخدمة صناعياً لفترة طويلة - هي خير مثال على أفراد هذه المجموعة، حيث تتشكل من ٦٠ ٪ فرايت و ٤٠ ٪ أوستنايت. ويتميز هذا النوع بخواصه الميكانيكية المتميزة ومقاومته العالية للتآكل، إلا أن قابليته للتشكيل ميكانيكياً أقل مما هي عليه في أنواع الصلب المقاوم الأخرى ، نظراً لوجود الفرايت في أرضية من الأوستنايت.

مثبطات التآكل (Corrosion inhibitors)

مثبط التآكل يمكن تعريفه بأنه أي مادة تضاف بكميات قليلة إلى وسط التآكل للحد من سرعة تآكل المعدن فيه، وذلك من خلال عمله على سطح المعدن أو قريباً منه ، والتثبيط في معظم الحالات يأتي نتيجةً لارتباط - أو تفاعل - المثبط مع سطح المعدن حيث ينتج عن هذه العملية تكوين غشاء يمنع أو يحد من عملية التآكل. واختيار المثبطات يتم بناءً على عدة اعتبارات أهمها مايلي :

- صفاتها التركيبية.
- طبيعة وسط التآكل.
- طبيعة المعدن المراد حمايته.

ويمكن التعرف على جودة التثبيط من عدمها من خلال حساب كفاءة التثبيط (Efficiency) التي يمكن أن تعطى بالعلاقة التالية:

$$EF (\%) = [(R_0 - R_i) / R_0] \times 100 \%$$

حيث R_0 و R_i هما سرعة التآكل في غياب ووجود المثبط على الترتيب.

أنواع المثبطات :

أولاً : تصنف المثبطات حسب آلية عملها إلى :

أ- مثبطات التآكل الأنودي (Anodic Inhibitors)

هي تلك المواد التي تبطأ أو تلغي التفاعلات الأنودية (تفاعلات القطب الموجب) فوق سطح المعدن وبصوره عامه فأنها تتحد مع نواتج (مخلفات) التآكل وتكوّن ملح قابل للذوبان فوق سطح القطب الموجب (المعدن نفسه) وتمنع التفاعلات . يجب أن تكون القيمة المضافة أكبر من القيمة الحرجة المعينة وليس تحتها حيث يمكن أن تحفز التفاعلات الانودية . من هذه المواد : (الكرومات ، النترات ، الهيدروكسيدات ، الكربونات للمعادن القلوية) .

ب- المثبطات الكاثودية : (Cathodic Inhibitors)

وهي مواد كيميائية تبطأ أو تزيل التفاعلات الكاثودية . وتتم بتزويدها بالأيونات الموجبة والتي تتحد مع القاعدة الكاثودية لتكوين مواد غير ذائبة تتجمع على جوانب القطب السالب . (Cathodic Sites) إن المثبطات الكاثودية أكثر أماناً عند الاستخدام من المثبطات الأنودية وذلك لأنه لا يوجد قيمه حرجة لتركيزها وحتى لو استخدمت بتركيز منخفض فسوف تتحقق درجه منخفضة من الحماية من المواد المستخدمة كمثبطات تآكلية كاثودية هي (الخاصين ، المغنيسيوم ، النيكل ، الكبريتات) .

ج- مثبطات التآكل الأمتزازية : (Adsorption Inhibitors)

تختلف هذه المثبطات عن المثبطات الأنودية أو الكاثودية بأنها تغطي سطح المعدن بأكمله أي تغطي منطقتي القطب الموجب والقطب السالب . أما فعالية هذا النوع من المثبطات فتعتمد على عدة عوامل هي : حجم الأجزاء الممتزة ، توزيع شحناتها ، طبيعة المنطقة الواقية المتكونة . من أهم المواد المستخدمة كمثبطات تآكل إمتزازية هي الأمينات والتي تجهز تحت ماركات تجاربه مختلفة الأسماء .

ثانياً : تصنف حسب الطبيعة الكيميائية إلى :

أ- المثبطات العضوية : (Organic Inhibitors)

إن آلية عمل هذه المثبطات هي التصاقها على جزء سطح المعدن الذي يعمل على أساس ظاهرة الإمتزاز . (Adsorption) أهم هذه المثبطات هي : الأمينات (Amines) وهي مشتقات الأمونيا وقد تكون أمينات أحادية أو ثنائية أو ثلاثية ويعتمد ذلك على عدد ذرات الهيدروجين التي تبدل بجذور اروماتيه (عطرية) . إن بعض المثبطات العضوية لها مجاميع قطبيه مثل مجموعة الكبريتيد Sulfide والهيدروسلفايد (-SH) والكحول (OH) وبعض الأحماض إذ تعمل هذه المجاميع على الالتصاق بجزء المعدن الذي يعمل قطب سالب يعيق عمله التآكل .

ب : المثبطات غير العضوية : (Inorganic Inhibitors)

تعمل هذه المثبطات فتلها على سطح المعدن الذي يعمل كقطب موجب وأهمها هي : السيليكات ، الكرومات ، الفوسفات ، البورات ، وأيونات الزرنيخ ، أيونات الإتيمون. ويمكن تقسيم المثبطات غير العضوية حسب نوع العمل الذي تقوم به إلى :

ب-١) المثبطات غير العضوية المؤكسدة (Oxidizer Inhibitors)

تستخدم للمعادن نوع (Active – Passive) حيث تستخدم الكرومات والنترات وأملاح الحديد في مقاومة انتقال المعدن إلى الحالة التي يكون فيها نشطاً. (Active) أي أنها تنقل المعدن إلى حالة Passivity وتثبت هذه الحالة . يتطلب ضبط كميته المادة المضافة من المادة المثبطة إذ يجب ألا تزيد على بعض الأجزاء من المليون . إذ أن استخدام كميات كبيرة من تلك المادة يعني عمل المادة المثبطة كمادة مؤكسده ، إذ يتكسر الغشاء (الطبقة) الواقية و زيادة معدل التآكل حيث تعمل المادة المضافة عمل عكسي .

ب-٢) المثبطات غير العضوية الكاسحة (Scavenger)

تعمل هذه المثبطات على تخلص الوسط من المادة المسببة للتآكل ، مثل تخلص المحيط (الوسط) من الأوكسجين وخاصة المحيط المائي ، وهي لا تعمل بكفاءة في المحاليل الحامضية القوية . من الأمثلة التطبيقية : سلفيت الصوديوم . (Na2SO3) الهيدرازين N₂H₄

ب-٣) المثبطات غير العضوية التي تعيق التفاعل الكاثودي: (Cathodic Inhibitors)

تعمل هذه المثبطات على إعاقة تحرر غاز الهيدروجين على جزء المعدن الذي يعمل كقطب سالب ولما كان معدل التآكل يتناسب مع معدل تحرر غاز الهيدروجين لذا فهي تعمل على اختزال معدل التآكل. إن هذا النوع من المثبطات فعال في محيط المحاليل الحامضية : ومن هذه المثبطات السليكون ، الكرومات ، الفوسفات ، أيونات الزرنيخ . كما توجد مثبطات في الحالة البخارية وهي من مشتقات الأمونيا . ويجب الحذر في استعمالها لحماية السطوح التي يدخل النحاس في تكوينها وذلك بتكوين أيونات معقدة تتفاعل مع النحاس الداخل في تركيب السبيكة الداخلة في تركيب المعدات والآلات . وتستخدم هذه المثبطات في حماية سطح الحديد وسبائكه في وجود الرطوبة وثاني أكسيد الكبريت وتتراوح كمية المادة المستخدمة أجزاء من المليون.

المراجع :

- ١- من محاضرات أستاذي الفاضل د. فرج عبدالسلام، جامعة الملك سعود، قسم الهندسة الكيميائية
- ٢- اقتباس من رسالة دكتوراه في موقع د. إبراهيم بن سعد الدريس – جامعة الملك سعود
- ٣- <http://ar.wikipedia.org>
- ٤- www.eng2all.net
- ٥- www.corrosion.org
- ٦- www.uae7.com
- ٧- <http://al3loom.com>
- ٨- www.arab-oil-naturalgas.com
- ٩- www.smsec.com/ar/encyc/earth
- ١٠- <http://www.arab-eng.org>