دراسة التآكل في المنشآت الصناعية

study of corrosion in industrial structures

إعداد :

قاسم فضل الله البدوي

سامي محمد علي حمد

بحث تكميلي لنيل درجة بكلاريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

osama Mohammed Elmardi Suleiman

Nile valley University, Faculty of Engineering

Mechanical Engineering Department

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

أكتوبر 2009م

بسم الله الرحمن الرحيم

دراسة التآكل في المنشآت الصناعية

إعداد :

قاسم فضل الله البدوي 205B323

سامي محمد علي حمد 205B009

بحث تكميلي لنيل درجة بكلاريوس الشرف في الهندسة الميكانيكية

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

أكتوبر 2009م

الإفتتاحية

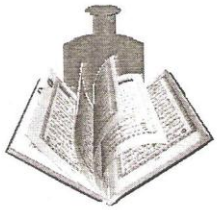
بسم الله الرحمن الرحيم

قال تعالي :

((لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا لَهَا مَا كَسَبَتْ وَعَلَيْهَا مَا اكْتَسَبَتْ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا إِنْ نَسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إِصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ عَلَى الَّذِينَ مِنْ قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا وَاغْفِرْ لَنَا وَارْحَمْنَا أَنْتَ مَوْلَانَا فَانْصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ))

صدق الله العظيم

{سورة البقرة-الآية (286) }



الإهداء

إلى الواهب الذي يعطي من غير مقابل والشعاع

الذي يضئ طريقي كلما أظلم . .

أبي العزيز . . .

إلى نبع الحنان الدفاق والبلسم الشافي لكل الجروح والآلام . .

إلى من تحنو علي بعطفها وتغمرني بحنانها

إلى بحر المودة والحب . .

أمي الغالية . . .

إلى الذين لولاهم لم أعرف للعلم طريقاً ولا نوراً . . ا

أساتذتي الإجلاء . . .

الى الذين أحملهم في دواخلي حباً وخلوداً . .

إخوتي و أصدقائي . . .

إليكم جمعاً أهدي هذا العمل آملين أن ينال استحسانكم

فهرس المحتويات

المحتوى		رقم الصفحة
الإفتتاحية		ii
الإهداء		iii
فهرس المحتويات		iv
فهرس الأشكال		vi
الشكر والعرفان		vii
ملخص البحث		viii
Abstract		ix
الفصل الأول		
مقدمة		
1.1	مدخل	2
1.2	تعريف التآكل	2
1.3	المحددات الإقتصادية لعملية التآكل	3
1.4	المحددات الإجتماعية لعملية التآكل	4
1.5	الهدف من الدراسة	4
الفصل الثاني		
دراسة نظرية للتآكل		
2.1	أنواع التآكل	6
2.2	الحد من عملية التآكل	13
2.3	وسائط التآكل	17
2.4	الخواص التآكلية	25
الفصل الثالث		
دراسة التآكل في بعض المنشاءات الصناعية		
3.1	حماية خطوط الأنابيب التي تحت الأرض	32
3.2	انظمة ماسورة العادم في السيارة	35
3.3	وقاية ريش التوربين	36

3.4 إنتقاء مادة لسقف مصنع 37

الفصل الرابع

المناقشة

4.1 مدخل 41

4.2 دراسة حالة 41

الخلاصة 45

المراجع 46

الشكر والعرفان

الشكر والثناء أولاً لله سبحانه وتعالى الذي وفقنا وأنعم علينا بجزيل عطائه .

والشكر أجزله نسوقه إلى الأساتذة الأجلاء بكلية الهندسة والتقنية بجامعة وادي النيل. كما تفيض دموعنا شكراً وعرفاناً وتقديراً إلى تلكم الرجل الوقور ، الأستاذ : أسامة محمد المرضي والذي أشرف على هذا البحث وما فتئ يقدم لنا المعلومة تلو الأخري حتى تم هذا العمل بحمد الله فجزاه الله عنا كل خير .

ولا ننسى أن نرسل في ختام هذه الكلمات باقة من الشكر لمن وقفوا معنا وقدموا لنا العون ، فالشكر أجزله لأسرة مصنع السلام للأسمنت والباشمهندس السر أحمد حسن بشركة النيل الكبرى .

وفي الختام الشكر لكل من ذلل عقبة أو قدم نصحا في هذا المشروع .

الباحثان . .

ملخــص البحــث

يقوم هذا البحث بدراسة التآكل في بعض المنشآت الصناعية ، لأنه يعتبر أحد أهم المشكلات التي تعاني منها معظم المنشآت . وجاءت دراسته من أجل التعرف على أنواعه وكيفية التصدي له أو الحد من معدل وقوعه . فتم جمع المعلومات عن بعض المنشآت الهندسية المتآكلة وتحليلها ووضع الحلول المناسبة لعلاجها . وأهم ما تم التوصل إليه هو أن التصدي للتأكل يعتمد على عدة عناصر أهمها معرفة أسباب التآكل ونوعه وكذلك العوامل المساعدة ومدي ملاءمة الحلول لطبيعة المنشأة .

ABSTRACT

This research studies corrosion in some industrial organizations because it is considered most important problems that industrial organization suffers. A study has come in order to explore it's types and how to avoid it and reduce it is occurrence. Information has been collected about some industrial organizations that has subjected to corrosion. Analysis of Collected information leads to put the suitable solutions. The most important of that a chieved is that depends upon many factors the chief among to avoid corrosion Is to know causes of corrosion it's types auxilary factors and how the solutions are suitable to the nature of organizations.

الفصل الأول

مقدمة

الفصل الأول

مقدمة

1.1 مدخل (Introduction) :

من العناصرالتي عادة ما تكون بالغة الأهمية في الصناعات هي عملية التآكل فهو عادة السبب الرئيسي للكثير من المشاكل التي تجابه عمليات التشغيل في خطوط الإنتاج ، وهو غالباً المسئول عن الأعطال وتوقف الإنتاج .

عملية التآكل هـــي عملية تلقائية طبيعية يتم فيها إعادة الفلزات من صورتها الحرة إلى صورتها الثابتـــة (الإتحادية) والتي كانت متواجـدة عليها أصلاً في الطبيعة قـبل إستخلاصها ، وذلك أن معظم الفلزات تستخلص من خاماتها عن طريـق إمدادها بمقدار معين مـن الطاقة ويتبـع ذلك أنها تكـون في مستوي طاقي أعلى مما كانت عليه في صورتها الإتحادية ووفقا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية فإن الفـلز المستخلص سيحاول العودة إلى الصورة التي تمتلك أدنى مسـتوي طاقي ممكن أي العـودة للصورة الإتحادية من جديد وهذه العملية هي ما يسمى بالتآكل .

ومما تقدم يتضح أن التـآكل هـو الـطريقة الـتي تستعيد بها الطبيعة ما اغتصبه منها الإنسان من فلزات ومن الواضح أيضاً أنه ليس من العملي محاولة إيقاف التـآكل بصورة نهائية بل الحـد من معدل وقوعه .

كافة الفـلزات والسبـائك معرضة لعملية التـآكل ولا توجـد مادة بعينها تكون مناسبـة لكـافة التطبيقـــات والإستخدامات وفي منأى عن عملية التآكل ؛ ولحسن الحظ يوجد العديد من الفلزات والسبائك التي تستطيع أن تؤدي عملها بنجاح في أوساط محددة .

1.2 تعريف التآكل :

هنالك أكثر من تعريف للتآكل ، حيث عرف بعض العلماء التآكل بأنه إنهيار الفلزات بفعل تفاعلها مع الجو المحيط . وعرفه بعضهم أنه تلف المعادن وإختلال تماسكها وفقدانها لبعض من مادة سطحها نتيجة لتأثرها بالوسط المحيط وتفاعلها معه . كما عرفه آخرون بأنه إنحلال المعدن بسبب تفاعله مع الوسط الذي يتعرض له أو فشل المعدن لأي سبب غير السبب الميكانيكي البحت ، ويعرف أحياناً بأنه العملية العكسية لإستخلاص المعدن من خاماته .

فالتآكل فشل يصيب سطح المعدن ينتج بسبب عوامل كيميائية قد تساعدها أحيانا عوامل ميكانيكية متوفرة في الوسط الذي يعمل فيه المعدن .

1.3 المحددات الإقتصادية لعملية التآكل :

هنالك تعريف مثير للتآكل يقول " التآكل صناعة كبيرة ولكن بالعكس لا تحقق أي نوع من المكسب وإنما كلها خسارة " .

ومن الصعب تقدير تكاليف الخسارة الناتجة عن التآكل ولا يشمل هذا فقط مجموع المال اللازم للتعويضات والإصلاح . ولكنه يمتد لجوانب أخرى نادراً ما تعتبر غير كافية ويمكن تصور بعض الحالات التي تكون فيها الماكينات والمؤسسات الصناعية على درجة كبيرة من الكفاية ، وتتوقف فجأة بفعل التآكل .

ومن الممكن أن تؤدي قلة مواد معينة إلى إضطراب وقلق عام في حالات كثيرة . والعلاج هو زيادة الإنتاج ، والزيادة يمكن أن تتم بتقليل النفايات والمفقودات وزيادة عمر الأدوات مما يستلزم دراسة التآكل ويجب أن تؤخذ إقتصاديات المواد في الإعتبار .

ويجب أن يتفاعل الإنسان مع التطبيقات الخاصة والعامة للتآكل الذي يعتبر أمراً ممكناً برغم صعوبة تحويل هذه الأمور إلى اصطلاحات مالية .

ولكي نعطي أرقاماً عابرة عن التكاليف الاقتصادية للتآكل والوقاية منه نستطيع أن نقول أن في عام 1949م تم إنفاق 5500 مليون دولار في الولايات المتحدة الأمريكية لهذا الغرض . ومنذ عشر سنوات ارتفع الرقم إلى 6000 مليون دولار ولك أن تتخيل الفائدة المتحققة من إنفاق هذا المبلغ أو جزء منه في أنشطة أخرى .

توقف الإنتاج في خطوط الإنتاج الصناعية يعتبر أحد مساوئ التآكل المباشر ، وهنالك العديد من المساوئ الإقتصادية لعملية التآكل والتي يمكن إيجازها فيما يلي :

i. ضرورة إستبدال الوحدات والمعدات المتآكلة بأخرى سليمة ، وما يصاحب ذلك من فقد العديد من ساعات الإنتاج إضافة إلى تكاليف الإحلال والإستبدال .
ii. فرط التصميم ، ويقصد به إستخدام مزيد من مواد الإنشاء والتشييد عما هو مطلوب لتحمل الإجهادات الميكانيكية ، تحسباً من عملية التآكل وما يتبع ذلك من زيادة في كمية مواد الإنشاء والتشييد مما يؤدي إلى إرتفاع تكاليف الأجهزة والوحدات .
iii. ضرورة إيقاف الوحدات الصناعية وتطبيق الصيانات الدورية الضرورية كالطلاءات .
iv. تداخل نواتج عملية التآكل مع المنتج الرئيسي مما يؤدي إلى نقص في قيمة المنتج النهائي .
v. النقص في الكفاءة فمثلاً يؤدي فرط التصميم وتراكم نواتج عملية التآكل على السطوح المخصصة لإنتقال الحرارة إلى تناقص في معدل التبادل الحراري في المبادلات الحرارية .
vi. فقد المنتجات القيمة من خزاناتها نتيجة لتسربها خلال ثقوب الخزانات المتآكلة .

الفصل الثاني

دراسة نظرية للتآكل

الفصل الثاني

دراسة نظرية للتآكل

2.1 أنواع التآكل (Types of corrosion):

يحدث التآكل في صور عديدة ومختلفة وتقسم هذه الصور كما يلي :

- حسب طبيعة الوسط الآكل :

وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم التآكل إلى مبتل وجاف . وحسب التسمية فإنه يكون من الضروري تواجد سوائل أو رطوبة لكي يحدث التآكل من النوع الرطب بينما لا يستوجب الجاف ذلك ، وعادة يحدث التآكل الجاف عند درجات الحرارة المرتفعة أي بين الفلزات والغازات كما يحدث في بعض المداخن .

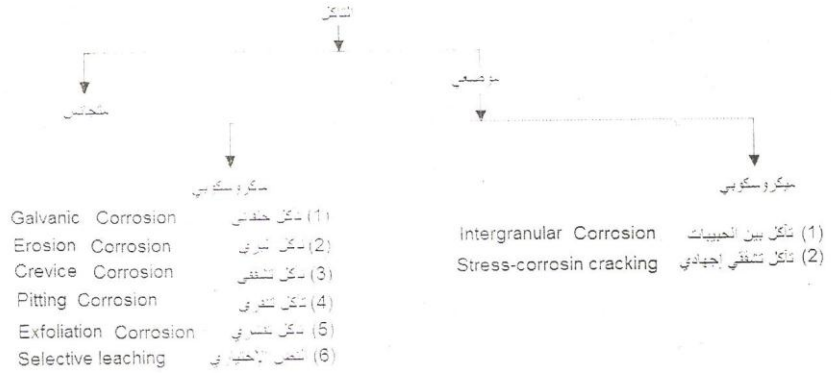
- حسب ميكانيكية عملية التآكل :

أي حسب المسلك الذي تسلكه عملية التآكل وفي هذا الخصوص ينقسم إلى تآكل كيميائي وآخر كهروكيميائي .

- حسب المظهر للفلز المتآكل :

وفي هذه الحالة يتم تقسيم التآكل إلى تآكل متجانس يحدث عند السطح المتآكل كله أي أن معدل التآكل يكون متساوياً عبر السطح الفلزي ككل ، وتآكل موضعي أو متمركز وفي هذه الحالة يتمركز في مساحات محددة .

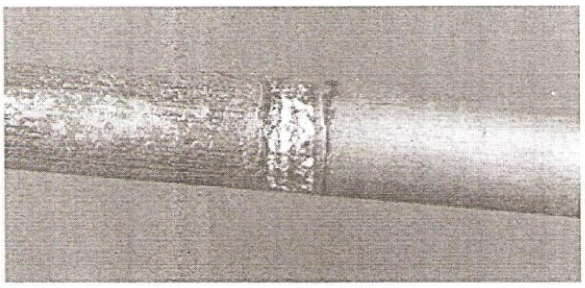
والتقسيم حسب المظهر، سوف يكون أكثر فائدة في تعرضنا لأساسيات التآكل ولذلك تم إستخدام هذا التصنيف خلال هذه الدراسة . الشكل (1-2) أدناه يوضح الصور المختلفة للتآكل .



الشكل (1-2) يوضح الصور المختلفة للتآكل .

1/ التآكل الجلفاني (Galvanic Corrosion) :

يحدث هذا النوع من التآكل عندما يتواجد فلزان مختلفان من حيث النشاط الكهروكيماني في حالة تلامس مع بعضها البعض أو تم توصيلها بموصل كهربي . وتم التعرض لهما بفصل ألكتروليت ما ، فإن كل قطعة فلزية من هاتين القطعتين تكتسب جهداً كهربياً خاصاً بها يتوقف من حيث المقدار على نوع هذه القطعة الفلزية وموقعها في الترتيب الذي يشار إليه بالسلسلة الكهروكيمائية ، إضافة إلى كل من تركيز المحلول الإكتروليتي ودرجة الحرارة وتاسيساً على ما تقدم سوف ينشأ فرق في الجهد بين القطعتين الفلزيتين المختلفتين وسوف يعمل هذا الفرق في الجهد كقوة دافعة لمرور التيار الكهربي خلال الوسط الإلكتروليتي أو وسط التآكل . الشكل(2-2) أدناه يوضح التآكل الجلفاني .



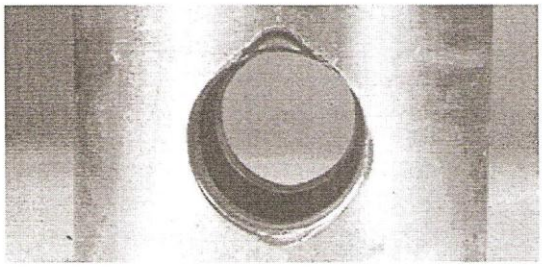
الشكل(2-2) يوضح التآكل الجلفاني .

يتآكل الفلز الأنشط والأسبق في السلسلة الكهروكيمائية ، إذ يتصرف كأنود وتحدث عنده عملية أكسدة أو تحرر في الإلكترونات (ذوبان عن طريق التحول إلى أيونات) بينما يتصرف الفلز الآخر ككاثود. وكلما زاد الفرق في الجهد بين القطعتين الفلزيتين كانت الفرصة أكبر لحدوث التآكل الجلفاني ، وبمعدل أكبر ، ويتسبب التآكل الجلفاني في زيادة معدل تآكل أحد الفلزين ويعني ذلك أن الفلز الأنشط يتآكل بمعدل أكبر عما إذا غمر بمفرده في الوسط الآكل . ويمكن ملاحظة التآكل الجلفاني وذلك بحدوث زيادة واضحة في معدل التآكل بالقرب من الوصلات بين فلزين مختلفين .

2/ تآكل البري (Erosion Corrosion) :

يحدث هذا النوع من التآكل عندما يتهدم الفلز بفعل عاملين إحداهما كيميائي والآخر ميكانيكي ، فعندما يتحرك الوسط الآكل بسرعة معينة على السطح الفلزي نجد أن معدل التآكل يتزايد ويرجع السبب في

ذلك أن نواتج عملية التآكل والتي يمكن أن تعمل كطبقة واقية إذا ترسبت بصورة غير مسامية ، سوف تزال هذه المرة نتيجة لتحرك الوسط الآكل ، ويكون له إتجاه محدد يرتبط بإتجاه مسار الوسط الآكل الذي يتحرك على السطح الفلزي ويتواجد تآكل البري في الظروف التي تتواجد بها سرعات عالية ، وسريان دوامي "مضطرب" . الشكل (3-2) أدناه يوضح تآكل البري في قطعة فلزية .



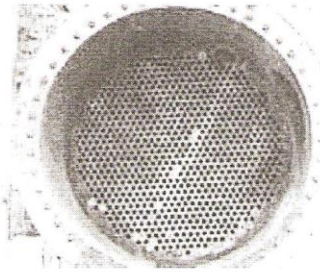
الشكل (3-2) يوضح تآكل البري .

وتسبب المعلقات المتحركة التي تحتوي على جسيمات صلبة في حدوث تآكل البري . ويعد كل من التآكل التفتتي والتآكل التجوفي نوعين مختلفين من تآكل البري فيحدث التآكل التجوفي نتيجة لتكوّن وإصطدام فقاقيع البخار وتداعيها عند السطح الفلزي ، فإن الضغط المرتفع الناشئ من إنفجارهذه الفقاقيع عند السطح يؤدي إلى تشوه سطح الفلز وإزالة الغشاء الواقي الذي عادة ما يتواجد على سطحه .

أما التآكل التفتتي فإنه يحدث عندما ينزلق فلز على فلز آخر وهو عادة يسبب إنهياراً ميكانيكياً لأحد الفلزين أو كلاهما ، وعادة ما ينجم الإنزلاق نتيجة لعمليات الأهتزاز .

3/ تآكل الشقوق (Crevice Corrosion) :

تتغير الظروف داخل الشقوق مع الزمن وفقاً لتغير البنية عند تلك المناطق القريبة من الشقوق للسطوح المفتوحة ، فقد تتولد ظروف أشد قسوة داخل الشقوق عند الأطواق الخاصة بمنع التسرب ووصلات التراكيب والصواميل...الخ . الشكل (4-2) التالي يوضح صورة لتآكل الشقوق .



الشكل (4-2) يوضح تآكل الشقوق .

ويمكن أن تتكون الشقوق عن طريق ترسب الأوساخ ونواتج عمليات التآكل والخدوش في طبقات الطلاء . ويعزى التآكل داخل الشقوق إلى واحد أو أكثر من الأسباب التالية :

- التغير في درجة الحموضة داخل الشقوق .
- نقص الأمدادات بالأوكسجين داخل هذه الشقوق .
- نقص كميات معوقات التآكل داخل هذه الشقوق .
- تراكم نوعيات معينة من الأيونات داخل الشقوق .

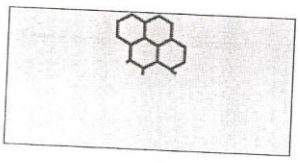
4/ تآكل التنقر (Pitting Corrosion) :

يقصد بتآكل التنقر تكوّن نُقر عميقة على سطح غير متآكل ويمكن لهذه النقر أن تتخذ أشكالاً عدة، وقد يكون شكل النقر هو السبب الأساسي المسؤول عن أستمرار نموها وذلك لنفس الأسباب التي أشرنا إليها في حالة تآكل الشقوق فإن السطح يجب أن يكون متجانساً ونظيفاً بأستمرار . فالسطح الفلزي النقي والمتجانس والمصقول جيداً يكون أكثر مقاومة لهذا النوع من التآكل عن ذلك السطح الذي يحتوي على بعض العيوب أو يكون خشناً وعادة ما تكون عملية تكوّن النقر عملية بطيئة تتطلب عده شهور أو بضع سنين حتى يمكن رؤيتها ، لكنها دائماً ما تسبب الأنهيارات الفلزية دون سابق إنذار ، فإن الحجم الصغير للنقرة وكمية الفلز الناتجة من التآكل في مراحله المختلفة نتيجة لتطور ونمو هذه النقر هي أحد الأسباب الرئيسية في فشل المنشآت الفلزية . ويعد إختبار مواد الإنشاء والتشييد والتصميم بحيث تبقى السطوح دائما نظيفة هي أحسن الوسائل وأكثرها أماناً لتجنب هذا النوع من التآكل . الشكل (2-5) التالي يوضح التآكل التنقري .

6/ التآكل فيما بين الحبيبات (Intergranular Corrosion) :

عندما يتم قولبة فلز منصهر فإنه يبدأ في التجمد عند العديد من أنوية التبلر الموزعة توزيعاً عشوائياً داخل الفلز المنصهر وكل من هذه الأنوية تنمو في الأتجاهات المختلفة عن طريق إنتظام ذرات الفلز في تناسق هندسي محدد " نوع نظام التبلور " الذي تخضع له ذرات الفلز لتكون ما يسمى بالحبيبات .

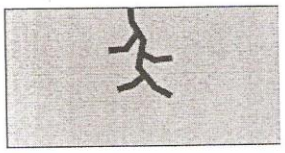
إنتظام الذرات في كل حبيبة والمسافات بينهما يكون ثابتاً في كافة الحبيبات ولكن كنتيجة لعشوائية توزيع أنوية التبلر فإن مستويات الذرات التي تقع في الجوار بين الحبيبات لا يمكنها أن تخضع لنظام أي من الحبيبات ونتيجة لذلك فإنها تتخذ تناسقاً وسيطاً وتسمى هذه المنطقة بمنطقة حدود الحبيبات . ويلاحظ أن هذه الحدود الحبيبية تكون أنشط في التعامل مع الوسط الآكل من الحبيبات نفسها ويرجع السبب في ذلك إلى أن ذرات الفلز في هذه المنطقة تتخذ موقعاً وسيطاً بين حبتين مختلفتين لا تكون قد أتخذت موضع التوازن كباقي ذرات الحبيبات ومن ثم فإنها تكون في مستوي طاقي يجعلها أنشط ، هذا بالأضافة إلى أن ضرورة بناء الحبيبات في ذرات نفس النوع يجعل الشوائب تتراكم عند حدود الحبيبات مما يهيء الفرصة لحدوث تآكل جلفاني على المستوي الذري ولا يمكن ملاحظة التآكل فيما بين حدود الحبيبات في مراحلة الأولي بالعين المجردة ولكن إذا تقدم فقد يؤدي إلى إنخلاع الحبيبات نفسها تاركة سطحاً خشناً مثل حبيبات السكر ، أما ظاهرة حدود الحبيبات والتي تتسبب في التآكل بين الحبيبات فهي حساسة للحرارة ولذلك فإنه يتم الحد منها بالمعالجات الحرارية . الشكل (7-2) أدناه يوضح رسماً توضيحياً لترتيب الحبيبات في مادة معينة .



الشكل(7-2) يوضح رسماً توضيحياً لترتيب الحبيبات.

7/ تآكل الشقوق الأجهادي (Stress- Corrosion Cracking) :

يحدث هذا النوع من التآكل كنتيجة للفعل المشترك لكل من الأجهاد الميكانيكي والوسط الاكل وهو يؤدي تحت ظروف معينة إلى تصدع وتشقق الفلز أو السبيكة . الشكل (8-2) التالي يوضح تآكل الشقوق الإجهادي .



الشكل (8-2) يوضح تآكل الشقوق الإجهادي .

وتتعرض معظم السبائك لهذا الخطر ولكل سبيكة وسط آكل معين يتسبب في ظهور الشقوق أو الشروخ التي قد تكون مخزونة في الفلز أثناء تشكيله على البارد وأثناء عمليات اللحام أو المعالجات الحرارية أو نتيجة إجهاد مطبّق خارجياً أثناء خدمة الفلز أو السبيكة ويمكن للشقوق أن تسلك مساراً فيما بين الحبيبات أو عبر الحبيبات وهنالك أتجاه لتفرع وتشعب هذه الشقوق . ويعتبر تآكل الكلال صورة خاصة من صور تآكل الشقوق الأجهادي .

يعتبر الكلال كسراً ديناميكياً ويشكل 90% من الكسور الميكانيكية التي تحدث في المجال الهندسي . لحدوث الفشل الكلالي لابد من توفر الظروف الآتية :

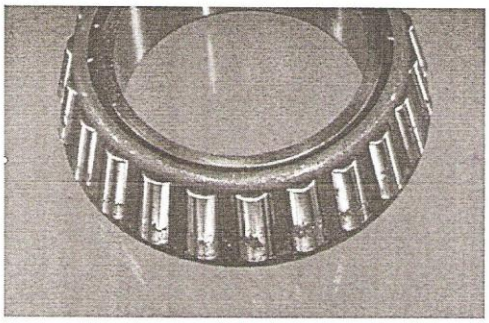
i. إجهاد دوري Cycle Stress .
ii. نقطة تركيز إجهاد Stress concentration point .
iii. عدد كافي من دورات الإجهاد لحدوث الكسر .

عادة ما يحدث الكسر على نحو مفاجئ دون أي علامات لأن الصدوع التي تسبقه لايمكن أن تكتشف أثناء الفحص الدوري .

إحداث الصدع الأولي الذي يؤدي للفشل يأخذ حوالي 90% من عمر الجزء المكسور أما الـ 10% الباقية تترك لتنامي الكسر حتى حدوث الفشل .

التركيب الدقيق لسطح الكسر يوضح أن الصدع الأولي يحدث نتيجة لحركة الإنخلاعات على سطح المعدن ، وعندها يكون الإجهاد على حافة الصدع أكبرمن أى إجهاد آخر داخل المعدن . ونسبة لتركيز الإجهاد عند حافة الصدع يتنامي الصدع مع كل دورة إجهاد .

سرعة تنامي الصدع تعتمد على قصفية المعدن ففي المعادن القصفية يتنامي الصدع إلى حد حرج يحدث بعده الفشل ، أما المعادن الطروقة يستمر الصدع في التنامي إلى أن يفشل الجزء الباقي من مقطع المعدن ويحدث الفشل فى دورة الإجهاد التالية . الشكل (9-2) التالي يوضح تآكل الكلال في محمل بلالي أسطوانية .



الشكل(9-2)يوضح تآكل الكلال .

ويعرف الفشل الكلالي بنطاقين واضحين :

i. سطح أملس تظهرعليه علامات تنامي الصدع عند كل دورة إجهاد .

ii. سطح خشن يبين الكسر النهائي .

ولتجنب الفشل الكلالي يجب تجنب التغيرات المفاجئة في تشكيل المعدن . كما يجب تنعيم الأسطح إذ أن السطح الأملس يكون بعيداً عن حساسية الصدوع ، وعموماً فإن المعادن القصفية أقل إستيعاباً للإجهاد المتزايد بعكس الطروقة والتي تتسع لذلك للدانتها . وأيضاً يتم تجنبه عن طريق معالجة الأسطح ؛ وذلك لإعطاء سطح متماسك خالي من الصدوع ، ولإضافة إجهاد ضاغط على السطوح ومن هذه المعالجات :

i. طرق الأسطح .

ii. درفلة الأسطح .

iii. تقسية الأسطح .

كما يتم تجنبه أيضاً عن طريق طلاء الأسطح . وتجنب عيوب التصنيع على الأسطح كعيوب السباكة واللحام التي تعمل على تركيز الإجهاد عند نقاط معينة على الأسطح ، لذا يجب التخلص منها .وتجنب معدلات الحرارة العالية إذ يزداد حد الإجهاد مع زيادة الحرارة .

2.2 الحد من عملية التآكل :

يمكن تحقيق الكثير من الوفرة في تكاليف الإنتاج عن طريق تقليص معدل حدوث التآكل الحادث نتيجة لفعل الكيماويات وتغير الخواص الطبيعية للمتغيرات والظروف الموجودة داخل خط الإنتاج ، وهنالك أربع طرق مختلفة للحد من التآكل :

1/ السيطرة على المتغيرات الخاصة بالعملية الإنتاجية :

وهذه الطريقة من طرق السيطرة تتم في العوامل المؤثرة على التآكل والتي تم ذكرها آنفاً بحيث يتم التأثير على هذه العوامل لتعطي أقل معدل للتآكل كتقليل تركيز الوسط الآكل أو تقليل درجة الحرارة أو تواجد معوقات للتآكل وغيرها من العوامل الأخرى .

2/ التصدي للتآكل بالتصميم الهندسي الجيد :

يمكن التصدي للتآكل خلال خطوة تصميم خطوط الإنتاج والوحدات الصناعية وقبل التشييد والتنفيذ ، فكل من التآكل الجلفاني وتآكل البري والتآكل التشققي الإجهادي يمكن التصدي لها بالسيطرة بالتصميم المناسب للوحدات الصناعية .

وهنالك طرق وحلول مثل اللحام وتلاقي نهايات الحبيبات والحرص على التصفية الجيدة وكل ذلك يتحقق بالتصميم المناسب .

I. تآكل الشقوق Crevice Corrosion : ويمكن حل هذا النوع من التآكل من ناحية تصميمية عن طريق تلافي وجود الشقوق ، لأن لها الأثر الضار إذا تعرضت هذه الشقوق لعمليات الإبتلال والجفاف بصفة تبادلية .

II. التآكل الجلفاني Galvanic Corrosion : يمكن العلاج والتصدي لمشاكل التآكل الجلفاني بالطرق التالية :

- إذا كان من الضروري إستخدام فلزين غير متماثلين فيجب إختيارهما بحيث يكونان متقاربان في السلسلة الجلفانية (الكهروكيميائية) .
- إذا كان من الضروري إستخدام فلزين غير متماثلين فيجب مراعاة أن المساحة الأنودية كبيرة بالنسبة للمساحة الكاثودية .
- إذا كان من الضروري تواجد فلزين غير متماثلين في المنشأ الفلزي فيجب إستخدامهما بعد تطبيق عازل كهربي بينهما ، ويفيد هذا العازل في عدم تحقيق التلامس بين الفلزين ويعوق تكون خلية التآكل الجلفانية . ويتم تطبيق العازل بطريقة جيدة لا تسمح بتحقيق التوصيل بنواتج عملية التآكل الصلبة والتي تتكون أثناء خدمة المنشاة .
- إذا كان من الضروري إستخدام فلزين غير متماثلين فيمكن إستخدام فلز ثالث بينهما على أن يكون أكثر نشاطاً من كِلا الفلزين مما يؤدي إلى تآكله دون تآكل الفلزان المشتركان في تكوين المنشأة الفلزية .

III. تآكل البري Erosion Corrosion : ويعزى تآكل البري أساساً إلى كل من سوء التصميم والبيئة التي سوف يعمل بها الفلز ويزداد كلما زادت سرعة الوسط الآكل ، ولما كان تآكل البري تآكل موضعي فإن العلاج يكمن في التعرف على تلك المواضع المعرضة لمثل هذا النوع من التآكل أثناء خطوة التصميم حيث يمكن تنفيذها بطريقة تسهل إستبدالها مع إستهلاك أقل قدر ممكن من الوقت والجهد .

وفي الحالات الخاصة مثل التجاويف (التكهف) يكمن العلاج في صقل السطح وجعله أملساً تماماً مما يقلل من المراكز التي تكوّن الفقاقيع الغازية ، وهي السبب المباشر لهذا النوع من التآكل .

أما في التآكل التفتتي والذي يحدث نتيجة تحرك وإنزلاق سطين فلزين يعملان تحت حمل معاً أحدهما مقابل للآخر ، يكمن العلاج في تشحيم تلك السطوح بحيث يسهل تحركهما مع بعضهما البعض.

IV. التآكل التشققي الإجهادي Stress-Corrosion Cracking : يمكن التصدي لهذا النوع من التآكل بإنتاج سطوح نظيفة مصقولة متحررة من الإجهادات وهذه الظروف تزيد من مقاومة الفلز لمثل هذا النوع من التآكل .

3/ التصدي للتآكل بالحمايات الكاثودية والأنودية :

I. الحماية الكاثودية : في هذا النوع من الحماية يربط الفلز بدائرة كهربية خارجية بحيث يتصرف ككاثود . وبالتالي فلن تتواجد عليه أي مساحات أنودية وتبعاً لذلك فإنه لن يتآكل . ويمكن تطبيق هذه الطريقة على جميع الفلزات وتستخدم بصفة خاصة للمنشآت الفولاذية ، وفي هذا النوع من الحماية لابد أن يكون الوسط الآكل الكتروليتياً ، وهناك نوعان من الحماية الكاثودية :

a. حماية كاثودية بإستخدام تيار خارجي مسلط .

b. حماية كاثودية جلفانية أو حماية بإستخدام مبدأ التضحية .

II. الحماية الأنودية : وهي تطبيق تيار كهربي على الفلز لجعله أكثر أنودية ، وهذا ما يُعرف بالتسليب . هذا النوع من الحماية يمكن تطبيقه علي تلك الفلزات والسبائك والتي تملك صفة السلبية " passivity " مثل الحديد ، الفولاذ الغيرقابل للصدأ ، التيتانيوم ، الألمونيوم ، الكروم وكما هو الحال في الحماية الكاثودية فإن الوسط الآكل لابد أن يكون الكتروليتياً حتى يمكن تطبيق هذا النوع من الحماية .

4/ التصدي للتآكل الفلزي بالتغطيات:

التغطيات الفلزية والغيرعضوية هي من التغطيات الشائعة للسيطرة علي التآكل ويتوقف إختيار نوع التغطية علي كلٍ من الوسط الآكل وطريقة التطبيق ونوع الفلز المراد تغطيته بالإضافة إلى نوع الترابط بين الفلز المغطى والتغطية نفسها .

تقوم التغطيات بعزل الفلز عن الوسط الآكل كلياً أو أنها تؤخر حدوث التفاعل بين كلٍ من الفلز المراد حمايته والوسط الآكل .

هنالك ثلاث أنواع مختلفة من التغطيات :

I. التغطيات الفلزية : وتطبق هذه الحماية على معظم الفلزات والسبائك ولها عدة طرق :

(1) الغمر الساخن	Hot Dipping
(2) الرش الفلزي	Metal Spraying
(3) التكسية	Cladding
(4) السمنتية	Cementation
(5) التكثف للبخار	Vapor Deposition
(6) الطلاء الكهروكيماني	Electro chemical Plating
(7) الطلاء الكهربي	Electro Plating
(8) الطلاء الميكانيكي	Mechanical Plating
(9) التفليز	Metal dins

II. التغطيات الغيرعضوية : تتم تغطية الفلزات بطبقة من الخزف أو الزجاج عن طريق صهرها على سطح الفلزات بقصد حمايتها من التآكل .

III. التغطيات العضوية : وتتم في هذا النوع من الحماية تغطية الفلزات بمادة عضوية وهي طريقة نادرة الإستخدام .

وبصفة عامة فإن التغطيات لا تستخدم لحماية الفلزات من أثر الكيماويات القوية ولكنها عادة تستخدم في الأوساط المتعادلة ولمقاومة التآكل الجوي أو التآكل في الماء أو في داخل التربة.

الطلاء الفلزي الكهروكيميائي عملية من العمليات شديدة الأهمية ، فهنالك العديد من أجزاء الآلات والسيارات والقطارات والأجهزة والمعدات مطلية بالطرق الكهروكيميائية ، وقد تكون التغطية على مواد فلزية أو غير فلزية .

تجرى عملية الطلاء بالكهرباء عن طريق إزابة الفلز المراد الطلاء به أنودياً وترسيبه على المادة المراد طلاؤها كاثودياً في محلول يحتوي على أيونات الفلز المراد الطلاء به من ملح مذاب في الإلكتروليت

المستخدم في خلية الطلاء الكهربي وبالنسبة للمصاعد القابلة للذوبان فإن التفاعل عندها يكون عملية أكسدة أو ذوبان لمادة المصعد حسب المعادلة :

$$M \longrightarrow M^{+n} + ne \qquad (1)$$

حيث n هي عدد الإلكترونات المفقودة أو المكتسبة .

بينما يكون التفاعل على المهبط عكس ذلك فهو يكون تفاعل إختزال أو ترسيب حسب المعادلة :

$$M^{+n} + ne \longrightarrow M \qquad (2)$$

ونتيجة لمرور التيار الكهربي فإن الأيونات الفلزية موجبة التكهرب المذابة فى حمام الطلاء تجتذب ناحية القطب السالب (الكاثود) وهنالك تتعادل كهربياً وتفقد شحنتها وتتحول إلى ذرات متعادلة تترسب على السطح وبذلك تتم عملية التغطية .

5/ التصدي للتآكل بالإختيار الجيد لمواد الإنشاء والتشييد :

من وجهة النظر الفنية فإن حل مشكلة التآكل يكمن في إستخدام مواد للإنشاء والتشييد أكثر مقاومة له ، ويعد هذا الإتجاه بديل إقتصادي عن إستخدام مواد أقل مقاومة مع تطبيق طرق الحماية المختلفة .

وعادة تتم عدة دراسات فى إتجاهات محتلفة عند إختيار مواد الإنشاء والتشييد إلا أن الإختيار النهائي يخضع للجوانب الفنية والعوامل الإقتصادية وعند تحديد مادة إنشاء وتشييد فإن العملية تتطلب ثلاثة مراحل رئيسية :

a. جدولة الخواص المطلوبة .
b. إختيار وتقييم مواد الإنشاء والتشييد المرشحة للتنفيذ .
c. إختيار أفضلها من وجهة النظر الإقتصادية .

فعند تصميم منشأة جديدة فإن عملية إختيار مواد الإنشاء والتشييد يجب أن تتم بسرعة قدر الإمكان وذلك قبل إنتهاء مرحلة التصميم ، لأنه يعتمد إلى حد كبير على مادة الإنشاء والتشييد المستخدمة .

2.3 وسائط التآكل :

هنالك عدة عوامل يمكن أن تؤثر على عملية التآكل ومن تلك العوامل أو المتغيرات مايلي :

1/ تأثير تركيز المكون الرئيسي :

يزداد معدل التآكل لأي مادة مع زيادة تركيز الوسط الآكل . والتآكل الكهروكيماوي يتطلب حدوث تفاعلات أنودية وأخرى كاثودية لذلك فإن متغيرات العملية الأنتاجية تؤثر على معدل التآكل لأنها في الوقت

نفسه تؤثر على أحد التفاعلات السابقة أو كليهما . فعلى سبيل المثال يكون التفاعل الكاثودي الرئيسي عندما يتآكل الحديد في حامض غير عضوي هو تصاعد لغاز الهيدروجين وفقاً للمعادلة الأتية :

$$2H^{+} + 2e \longrightarrow H_2 \qquad (3)$$

وكلما كانت أيونات الهيدروجين متوافرة بصورة أكثر عند الكاثود زاد معدل حدوث التفاعل الكاثودي . وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة معدل الذوبان الأنودي للفلز والذي يحدث وفقاً للمعادلة التالية :

$$M \longrightarrow M^{+n} + ne \qquad (4)$$

وهذا مايحدث بالفعل في ذلك المدى من التركيز المستخدم في حالة حامض الهيدروكلوريك . وفي كثير من العمليات يكون من الممكن التحكم في تركيب المنتج على الأقل في بعض مراحل العملية الأنتاجية للحد من عملية التآكل .

2/ تأثير الشوائب :

أحياناً يكون تاثير الشوائب تأثيراً سيئاً وأحياناً أخرى جيداً من وجهة النظر التآكلية . ويكون تأثيرها جيداً عندما يكون في مقدورها أن تعمل كمعوق لعملية التآكل . ومن ثم يتسبب تواجدها في حدوث تناقص في معدل التآكل ويحدث ذلك طالما أن الشوائب موجودة وبالكميات المناسبة لكي تقوم بعملها كمعوق بكفاءة ، وإذا حدث أن إختفت هذه الشوائب فجأة (كنتيجة لاستخدام مصدر جديد للمواد الخام) فإن التآكل الحادث سوف يكون بمعدل أكبر وسوف يحدث من النتائج الخطيرة ما لا يمكن توقعه .

إذا كان معدل التآكل أقل بكثير من معدل حدوثه فإن ذلك يمكن اسناده إلى تواجد شوائب تعمل كمعوقات في عملية التآكل . أما التأثير الخطر للشوائب فهي تلك الأيونات النشطة مثل أيون الكلوريد .

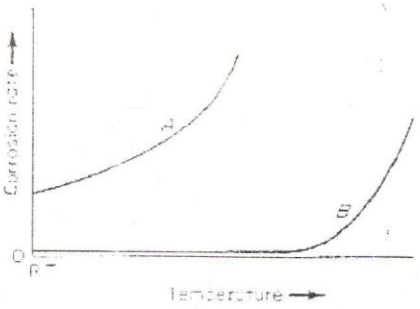
ويعد أيون الكلورريد مثال نموذجي لتلك الشوائب الخطرة لأنه يتداخل مع التفاعل الأنودي كذلك فإن أيون الكلوريد يكون ذا أثر فعال في تحطيم صفة السلبية التي تملكها بعض المواد مثل الفولاذ غير القابل للصدأ ، ويمكن للشوائب أيضاً أن تعجل من عمليات التآكل الأنودي بطريقة أخرى غير التأثير على صفة السلبية التي يملكها الفلز .

ويمكن القول جملة أن تأثير الشوائب متغير فإنه غالباً ما يكون معقد وفي كثير من الأحيان لا توجد طريقة للتخلص منها وفي بعض الأحيان الأخرى يمكن التخلص منها أو الحد من تأثيرها بإضافة بعض المواد ، وعلى العموم فإن أولى الخطوات لتفهم دور الشوائب هو معرفة ما هي هذه الشوائب؟ وبأي نسب تتواجد؟ ومن أين تأتي؟ .

3/ تأثير درجة الحرارة :

السيطرة على درجة الحرارة تعد من أحد الطرق الرئيسية للحد من التآكل . فزيادة درجة الحرارة تؤدي عادة إلى الزيادة في معدل التآكل . إلا إنه توجد بعض الإستثناءات القليلة والتي يحدث فيها تناقص في معدل التآكل مع الإرتفاع فى درجة الحرارة .

ويعزى هذا التناقص في معدل التآكل إلى التناقص في محتوى الوسط الآكل من الأوكسجين بفعل الإرتفاع في درجة الحرارة (خصوصاً بالقرب من درجة الغليان) . فمثلاً تآكل الحديد في الماء عند درجة حرارة الغليان أو في ماء البحر يكون أقل من معدل تآكله عند درجات حرارية أقل من ذلك بقليل ويرجع السبب في ذلك إلى أن وجود الأوكسجين يكون ضرورياً لإزالة إستقطاب التفاعل الكاثودي . وإذا تم طرد الأوكسجين من الوسط الآكل بالغليان فإن التفاعل الكاثودي سوف يتباطأ وهذا بدوره سوف يؤدي إلى تناقص التفاعل الأنودي المفضي إلى عملية التآكل . وعادة تكون درجة حرارة الفلز المتآكل أعلى مما هو مطلوب . الشكل (10-2) أدناه يوضح تأثير درجة الحرارة على معدل التآكل .



المنحنى (A) يمثل معدل التآكل في المنطقة قرب السلبية
المنحنى (B) يمثل معدل التآكل بعيدا عن منطقة السلبية

الشكل (10-2) يوضح تأثير درجة الحرارة على معدل التآكل .

4/ تأثيرالرقم الهيدروجيني (PH) :

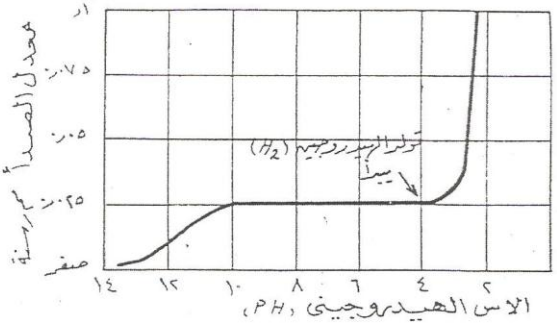
تتوقف درجة حموضة الوسط على تركيز أيون الهيدروجين به (H^+) ، أما الأس أو الرقم الهيدروجيني (PH) فإنه يرتبط بتركيز أيونات الهيدروجين وفقاً للمعادلة الاتية :

$$PH = -\log (H^+) \qquad (5)$$

وكلما إزداد تركيز أيون الهيدروجين إزدادت درجة حموضة الوسط وقل الرقم الهيدروجيني له .

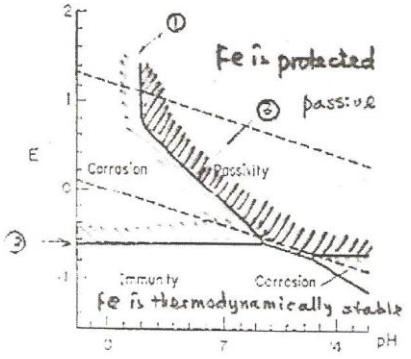
فالمحاليل المتعادلة تملك رقم هيدروجيني = 7 ، بينما المحاليل التي تملك رقم هيدروجيني أعلى تكون قاعدية والتي تملك رقم أقل تكون حمضية .

ويعد الرقم الهيدروجيني من العوامل بالغة الأهمية في تحديد معدل التآكل والسيطرة عليه ، ومن الأمثلة الشائعة في هذا الخصوص عملية معادلة حامض بإستخدام قلوي لرفع الرقم الهيدروجيني للوسط وبالتالي الحد من خواصه التآكلية إذ أن كافة مواد الإنشاء والتشييد تقريباً تقاوم فعل القلويات لكنها تهاجم بسهولة بفعل الأحماض . الشكل (11-2) أدناه يوضح تأثير PH على معدل التآكل .



الشكل (11-2) يوضح تأثير PH على معدل التآكل .

ويكون الرقم الهيدروجيني أيضاً ذو تأثير كبير على مقاومة المواد في مجابهة التآكل الإجهادي التشققي وتآكل التنقر . وهذه التاثيرات تكون في العادة معقدة ونوعية ، ولذلك فإنه ليس من الحكمة تعميم ذلك دون تحديد لنوعية الوسط أو مخطط بوربيه لتحديد نوعية المادة . والشكل (12-2) التالي يوضح مخطط بوربيه .



(1) تمثل منطقة التآكل

(2) تمثل منطقة المناعة

(3) تمثل منطقة السلبية

الشكل (12-2) يوضح مخطط بوربيه .

ومخطط بوربيه هو المخطط الذي يربط إمكانية حدوث التآكل بالرقم الهيدروجيني للوسط الاكل مع الفرق فى الجهد بين الفلز النقي وأيوناته الموجودة في الوسط . ويمكننا هذا المخطط من معرفة ما إذا كان التآكل ممكن الحدوث عند رقم هيدروجيني معين أو لا . ويهتم هذا المخطط بالإتزانات الثرموديناميكية وليس بما حدث بالفعل . وعلى الرغم من ذلك فإن مخطط بوربيه يمكن أن يعطينا تصوراً معقولاً لما يمكن أن يحدث بين الفلز والوسط الأكل وهي تعطينا فكرة عن كيفية حدوث التآكل وكيف يمكن الحد منه أو تجنبه .

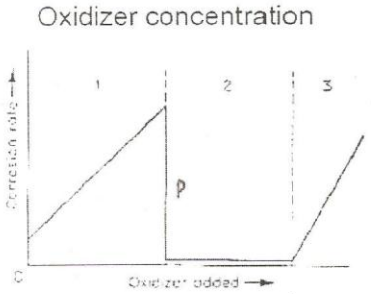
وهنالك نماذج لمخطط بوربيه لكل من التيتانيوم ، التنتالوم ، الألمونيوم ، المنجنيز . وتتوافق هذه المخططات مع المعلومات المعروفة جيداً نتيجة الخبرة العملية .

5/ تأثير التهوية :

يمكن أن يسبب توافر الأوكسجين على صورة هواء زيادة أو نقص في معدل التآكل كما يمكن ألا يكون لتوافره أي تأثير على الأطلاق على معدل حدوث التآكل . ويكون تأثير الأوكسجين على تآكل الفلزات كالآتي :

- بالنسبة للفلزات التي لا تملك صفة السلبية (كالنحاس) فهي تكون عرضة للتآكل ، وعادة تتآكل بمعدل أسرع إذا زاد محتوي الوسط الأكل من الأوكسجين . ومن ناحية أخرى فإن معدل التآكل للفلزات التي تملك صفة السلبية يزداد أيضاً إذا كانت تتآكل بالفعل بصفة نشطة .
- أما المواد التي تكون فى الصورة السلبية عادة لا تتأثر بزيادة تركيز الأوكسجين .

- أما إذا كانت الظروف المحيطة بالفلز تقع على الخط الفاصل بين الصورة السلبية والصورة النشطة له فإن توافر الأوكسجين يتسبب فى ميل الميزان ناحية السلبية . ومما تقدم يتضح أن ظروف البيئة (من حالة التهوية وعدم التهوية) يمكن أن يكون لها تأثير معاكس . والشكل (13-2) أدناه يوضح تأثير زيادة الأوكسجين .



(1) تمثل المنطقة النشطة

(2) تمثل منطقة السلبية ومعدل التآكل مستقل عن الأوكسجين

(3) إذا زاد الأوكسجين زيادة كبيرة زاد معدل التآكل

الشكل (13-2) يوضح تأثير زيادة الأوكسجين .

6/ تاثير سرعة الوسط الآكل :

هنالك نوعان من الإستقطاب أحداهما يشار إليه بإستقطاب التنشيط والآخر يشار إليه بإستقطاب التركيز . والسرعة ليس لها أي تأثيرإذا كان الفلز يقع تحت تأثير إستقطاب التنشيط فقط أما إذا كان الفلز واقع تحت إستقطاب التركيز وكان تفاعل التآكل الخاص به من النوع الذي تحكمه خطوة الإنتشار فإن سرعة الوسط الآكل يكون لها تأثيرات كبيرة .

الفلزات التي لا تملك صفة السلبية عندما يكون تآكلها تحت سيطرة خطوة الإنتشار فإن زيادة سرعة الوسط الآكل يقلل من صعوبة الإنتشار .

وإذا أخذنا حالة فلز يملك صفة السلبية يتآكل ويكون التفاعل الكاثودي الخاص به واقع تحت سيطرة خطوة الإنتشار، يزداد معدل التآكل الخاص به مع زيادة سرعة الوسط الآكل . ولكنه فجأة يتحول من الصورة النشطة إلى الصورة السلبية مما ينجم عنه تناقص مفاجئ في معدل التآكل .

وتساعد السرعات العالية في تجنب تآكل التنقر . يكون النقر غالباً تحت الترسبات الصلبة ، وتساعد السرعات العالية في الحد من فرص تكون مثل هذه الترسبات وبالتالي تحد من التآكل التنقري .

وأدني سرعة يمكن إستخدامها في التطبيقات العملية للفولاذ غير القابل للصدأ في ماء البحر عندما يتوقع حدوث التآكل التنقري هى عشرة أقدام لكل ثانية . وهنالك ميزة أخرى للسرعات العالية لأنها تتسبب في تزويد السطح الفلزي المعرض للتآكل بإمدادات كافية من معوقات التآكل تحد من سرعة حدوث التآكل .

7/ تأثير معوقات التآكل :

المعوق هو مادة يمكنها الإقلال من معدل حدوث التآكل عندما تتواجد بكميات ضئيلة في الوسط الأكل ويمكن تصنيفها بعدة طرق ، فمن حيث التركيب تصنف إلى معوقات عضوية وغير عضوية كما تصنف من حيث ميكانيكية أدائها إلى معوقات أنودية ومعوقات كاثودية ، كما أنها تصنف حسب الطورالذي تعمل فيه إلى معوقات تعمل في الطور السائل ومعوقات تعمل في الطور البخاري . إلا أننا سنقوم بتصنيفها إلى أربعة أقسا م هي :

i. المعوقات الأنودية :

هي تلك المعوقات التي يتركز دورها في تعويق التفاعل الأنودي وهي إما أن تكون :

a. عوامل مؤكسدة (كالكرومات والنترات وأملاح الحديديك) والتي تعجل من إكتساب الفلز لصفة السلبية .

b. مكونات الأغشية والتي تترسب على صورة غير قابلة للذوبان تغطي المساحات الأنودية ، وعادة يقال للمعوقات الأنودية بأنها معوقات خطرة ، خصوصاً النوع المؤكسد منها لأنه في هذه الحالة يكون المطلوب أن تحمي المساحات الأنودية كلها وبطريقة فعالة . أما إذا تواجدت مساحات أنودية صغيرة غير محمية فإن هذه المساحات سوف تتآكل بمعدل كبير (لتكون نقرة) ويرجع السبب في ذلك إلى كبر المساحات الكاثودية نسبة إلى المساحات الأنودية ، وهنالك مشكلة أخرى تواجه المعوقات الأنودية من النوع المؤكسد وتتلخص هذه المشكلة في أن هذه المواد المؤكسدة يمكنها الحد من الإستقطاب الحادث من التفاعل الكاثودي وبالتالي التعجيل بعملية التآكل وذلك قبل أن تتمكن من إكساب المساحات الأنودية كلها صفة السلبية .

ii. المعوقات الكاثودية :

المعوقات الكاثودية فهي تلك المعوقات التي تؤخرمن التفاعل الكاثودي . وهى تنقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية :

a. كاسحات الأوكسجين ، وهي تلك التي تزيل الأكسجين المتواجد في الوسط الأكل وبالتالي تمنع عملية الأستقطاب الحادث عند الكاثود .

b. مصممات تصاعد الهيدروجين كأيونات بعض الفلزات الثقيلة كالزرنيخ والأنتيمون والبزموث وغيرها والتي تؤخر من عملية إزالة إستقطاب الهيدروجين ومعني ذلك أنها تؤخر التفاعل التالي :

$$2H^{+} + 2e \longrightarrow H_2 \qquad (6)$$

وتكون هذه المعوقات فعالة في الأوساط ذات الرقم الهيدروجيني المنخفض ولكنها تكون غير فعالة عندما يكون التفاعل الكاثودي الغالب هو إختزال الأوكسجين (كالمحاليل المتعادلة) .

c. مكونات الأغشية غير القابلة للذوبان على الكاثود بحيث تنقص من المساحات الكاثودية الفعالة .

ومن أمثلة هذا النوع من المعوقات بيكربونات الكالسيوم عند إضافتها إلى محلول متعادل أو قلوي خفيف يعمل به فلز الحديد حيث تتحول إلى كربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان والتي تترسب على سطح الحديد مكونة لغشاءٍ واق .

المعوقات الكاثودية معوقات غير خطرة لأنها لا تتسبب في زيادة معدل التآكل إذا ما تواجدت بكميات غير كافية وكما هو الحال في المعوقات الأنودية . وعادة تكون المعوقات الكاثودية أقل فاعلية من المعوقات الأنودية .

iii. معوقات الإمتزاز :

معوقات الإمتزاز تتحكم في معدل حدوث التآكل عن طريق التأثير على أي من التفاعل الأنودي أو التفاعل الكاثودي أو كليهما .

وعادة تكون معوقات الإمتزاز هذه عبارة عن مركبات عضوية إلا أن ميكانيكية تعويقها لعملية التآكل لا زالت حتى الآن قيد البحث ولكن يمكن القول بأن عملية التعويق في هذه الحالة تتم نتيجة أمتزاز المعوق عند المساحات الأنودية والمساحات الكاثودية مما يقلص من حجمها وبالتالي يحد من عملية التآكل . وعادة تستخدم معوقات الإمتزاز في الأوساط الحامضية (مثل عمليات التخليل للفلزات Pickling) وخزانات تخزين الأحماض ومن أمثلة هذا النوع من المعوقات تلك المركبات العضوية التي تحتوي على مجموعات قطبية في جزئياتها (كالأمينات) .

iv. معوقات الطور البخاري :

هذه المعوقات تعمل في الطور البخاري فهي تملك ضغط بخاري مرتفع مما يمكنها من الإنتشار في الجو ثم يحدث لها بعد ذلك عملية إمتزاز على السطوح الفلزية الموجودة في الجوار القريب من مجال تأثيرها . وهي تماثل من حيث الخواص معوقات الإمتزاز وتستخدم لتجنب التآكل في الأجواء المتعادلة والأماكن المغلقة كمخازن المنتجات الفلزية وأثناء عمليات الشحن وفي الحالة الأخيرة فإنه يمكن وضع المعوق بجانب المنتجات الفلزية على صورة مسحوق كما يمكن رشه على الفلز على صورة محلول . وهنالك إتجاه جديد في إستخدام هذا النوع من المعوقات وهو غمر العبوات المستخدمة في تعبئة تلك المجسمات الفلزية في محلول المعوق ومن أمثلة هذا النوع أملاح الأمينات والمورفولين وبنزوات الصوديوم .

وتعد المعوقات من الطرق المعروفة الآن للحد من التآكل وهي عادة تستخدم في المجموعات المغلقة. ويجب توجيه عناية خاصة عند إستخدام المعوقات الخطرة كما يجب التنبؤ إلى أن هذه المعوقات أحياناً ما تكون لها جوانب مؤذية كما يمكن أن تؤدي إلى :

- التداخل مع المنتج المراد إنتاجه (خصوصاً فى صناعة إنتاج الأغذية) .
- يمكن أن تنتقل هذه المعوقات إلى جزء آخرمن الخط الإنتاجي حيث يمكنها هنالك زيادة معدل التآكل.
- يمكن لهذه المعوقات أن تعوق التفاعل المراد إجراؤه في الوحدة الإنتاجية . ومثال ذلك في عملية تحليل الفلزات فقد يؤدي إستخدام المعوقات إلى تقليص معدل إزالة القشور إلى الدرجة التي تجعل إستخدامها لا معني له .

8/ تأثير طريقة التشغيل الإبتدائي والإيقاف للخط الإنتاجي :

العديد من مشاكل التآكل لا تتولد أثناء تشغيل الخط الإنتاجي بصورة مستمرة . ولكن هذه المشاكل تنجم عندما يحدث عدم إنتظام في ظروف التشغيل خصوصاً في مرحلة التشغيل الإبتدائي ومرحلة الإيقاف عن العمل . أما مشاكل التشغيل الإبتدائي فعادة تكون مرتبطة بالدرجات الحرارية المرتفعة .

2.4 الخواص التآكلية :

سوف نهتم في هذا المقال بالخواص المطلوب تحقيقها عند إختيار مواد الإنشاء والتشييد خصوصاً تلك الخواص التي تتعلق بمقاومة التآكل . ولكي يمكننا تقدير مدي الأداء الجيد للمادة في مجابهة التآكل فإنه يتحتم علينا الإلمام بمعظم العناصر ، ومن ثم معظم السبائك الشائعة التطبيق في الصناعات .

1/ الحديد والفولاذ :

يعد الحديد والفولاذ أكثر الفلزات شيوعاً من حيث الإستخدام الهندسي وهما يتآكلان في معظم الأوساط حتى في الجو العادي . وعادة يُختار الحديد والفولاذ كمادة إنشاء وتشييد لخواصها الميكانيكية كالمتانة وسهولة التشغيل والنقص في التكاليف وليس لمقاومتها للتآكل . ولذا فإنه يتوجب إقامة الحماية ضد التآكل على المنشآت الحديدية والفولاذية .

ليس من المعتاد إعتبار تواجد إختلاف في مقاومة التآكل بين الحديد والفولاذ طالما أن التآكل سوف يكون بفعل الجوي العادي . ولكن في بعض الأحيان وعند إضافة 0.3 % من النحاس إلى الفولاذ الكربوني فأن ذلك يؤدي إلى تناقص معدل الصدأ في السبيكة الجديدة إلى نصف أو حتى إلى ربع معدل الصدأ للفولاذ الكربوني . ووجد بالتجربة أن إضافة كل من النحاس ، الفوسفور ، الكروم ، النيكل إلى الفولاذ الكربوني فإنها تحسن من مقاومته للتآكل بفعل الجو . وقد يكون التحسن كافياً إلى درجة تمكننا من إستخدام الفولاذ دون الحاجة إلى تطبيق أي طريقة من طرق الحماية عليه ، مثل هذا النوع يشار إليه بالفولاذ المقاوم لعوامل

التجربة (weathering steel) .

وكقاعدة عامة فإنه يجب تجنب الأحماض في حالة إستخدام الفولاذ ، ولكن إضافة كميات قليلة من النحاس إلى الفولاذ يمكنها أن تحِد إلى حد كبير التأثيرات الضارة الناشئة من تدخل كل من الفوسفور والكبريت في الفولاذ وتأثره الشديد باللأحماض المخففة . ويعد تواجد الأوكسجين في الماء مؤذياً . وأيضاً فإن الفولاذ مثل باقي الفلزات التي تكوّن غشاء من الأوكسيد السلبي أما الحديد فتكون الظروف أفضل له في غياب الأكسجين الذي يزيل الإستقطاب الحادث للتفاعل الكاثودي ، وإذا كان لا مفر من تواجد الأكسجين فإنه يجب أن يتواجد بالقدر الكافي لإقامة غشاء ثابت من أكسيد الفلز عليه يقيه من فعل الوسط حوله .

ويكون الفولاذ المطاوع عرضة للتآكل التشققي الإجهادي في تلك الأوساط التي تحتوي على النترات ، الهيدروكسيدات ، الأمونيا وكبريتيد الهيدروجين . وأي تصاعد للهيدرجين يمكن أن يُسبب الهشاشية للفلز كما يمكن أن يسبب تكوّن بثرات على سطح الفولاذ .

2/ الفولاذ ذو المحتوي المنخفض :

من مواد السبك الذي يحتوي حتى 0.5% من العنصر الرئيسي المستخدم في السبك فإنها تحضَر لمتانتها العالية وهي تماثل من حيث المقاومة للتآكل الفولاذ الخالي فيما عدا أن مقاومتها لفعل التآكل الجوي تكون أفضل من الفولاذ الخالي . ويكون معدل التآكل لأي سبيكة من الفولاذ ثلث معدل التآكل للفولاذ الخالي والذي لا يحتوي على أي قدر من فلز النحاس .

عادة يضاف % (12-10) من الكروم إلى الفولاذ لتجنب صدؤه في الجو . ويجب أن يكون معلوماً أن الفولاذ عالي المتانة ذو المحتوى المنخفض من مواد السبك ، عندما يكون في أقصى صلابة له يكون عرضة للتآكل التشققي الإجهادي في الظروف العادية وعندما ترتفع نسبة الرطوبة .

3/ الحديد السيليكوني :

وخصوصاً ذلك الذي يحتوي على حوالي % 15 سيليكون يكون أكثر مقاومة للتآكل عن الفولاذ ، ولكن لسوء الحظ فإن هذا النوع من الحديد يكون متوافراً لعمليات الصب والقولبة لأنه يكون هشاً للغاية . ويملك هذا النوع من الحديد مقاومة عالية لفعل الأحماض المؤكسدة والمختزلة (فيما عدا حامض الهيدروفلوريك) ويكون أداؤه جيداً عند التعامل مع الموانع التي تحتوي على معلقات لأن له مقاومة جيدة ضد عوامل البري .

4/ الفولاذ غير القابل للصدأ :

عادة يحتوي الفولاذ غير القابل للصدأ على % (10-30) من الكروم وقد يحتوي أيضاً على النيكل والموليدنيوم والنحاس والتي تضاف لزيادة المقاومة للتآكل . وكلما ارتفع محتوي الفولاذ من الكروم زادت مقاومته للأوساط المؤكسدة وزادت مقاومته للتآكل عند درجات الحرارة العالية . ويستخدم النيكل حتى % 35 ، والنحاس % (2-3) والموليدنيوم % (1-4) لتحسين المقاومة للتآكل في الأوساط المؤكسدة والتي تكون مقدرتها على الأكسدة أقل من سابقتها . وعملياً تزيد هذه العناصر من مقاومة الفولاذ لفعل حامض الكبريتيك والعديد من الاحماض العضوية ، أما الموليدنيوم فإنه يحد من التنقر بفعل أيون الكلوريد .

5/ النيكل وسبانكة :

يعد النيكل وسبانكه من مواد الإنشاء والتشييد ذات المقاومة العالية للأوساط التي تشمل أيون الكلوريد ولتلك الأوساط المختزلة والتي يمكن أن تهاجم الفولاذ غير القابل للصدأ . ويمكن تحسين مقاومة النيكل لتأثير العوامل المختزلة بإضافة فلز الموليدنيوم والنحاس . فالسبيكة (B) والتي تحتوي على 27% موليدنيوم % 73 نيكل تكون مقاومة لفعل حامض الهيدروكلوريك أما السبيكة (400) والتي تحتوي على 30% نحاس ، 70% نيكل تستخدم بكثرة فى المياه الطبيعية وفي المبادلات االحرارية وهي تملك أيضاً مقاومة جيدة لفعل حامض الهيدروفلوريك وذلك بالرغم من أنها تعاني من ظاهرة التآكل التشققي الإجهادي .

الفولاذ غير القابل للصدأ يقاوم فعل الأوساط المؤكسدة نتيجة لاحتوائه على فلز الكروم . وإذا أضفنا الكروم إلى النيكل فإننا نحصل على سبائك ذات مقاومة عالية للعوامل المؤكسدة والمختزلة ومن هذه السبائك السبيكة (600) والتي تحتوي على النيكل 15% كروم ،7% حديد . وإذا أضفنا أيضاً فلز الموليدنيوم فإننا نحصل على سبيكة أشدّ مقاومة للعوامل المؤكسدة والمختزلة كما أنها تملك مقاومة فائقة للتآكل التنقري بفعل أيون الكلوريد ومن هذه السبائك السبيكة (c) والتي تحتوي على النيكل أضافة إلى 15% كروم ، 15% موليدنيوم ، 5% حديد . وجميع سبائك النيكل تتميز بمقاومة عالية للتآكل عبر الحبيبات والتآكل التشققي الأجهادي عند درجات الحرارة العالية ومقاومة عالية أيضاً لفعل الكلوريدات وفي مثل هذه الأوساط يكون الفولاذ غير القابل للصدأ من النوع الوستنتيتي أكثرعرضه لهذه الأنواع من التآكل .

أما المقاومة للتآكل التنقري التي تملكها تلك السبائك ذات المحتوى العالي من النيكل والكروم فتكون بصفة عامة أفضل من تلك التي يمكن الحصول عليها في حالة فصائل الفولاذ غير القابل للصدأ وعلى الرغم من ذلك فإنها تكون أكثر عرضه للتآكل عبر حدود الحبيبات .

الخارصين في الأجواء الرطبة التي تحتوي على الأمونيا .

ويمكن لسبائك النحاس الاصفر التي تحتوي على أقل من 15% خارصين أن تستخدم للتعامل مع العديد من الأحماض والقلويات والمحاليل الملحية وفق شروط محددة .

أما في البرونز يضاف القصدير من % (1-100) وإلى النحاس بغرض زيادة متانته ومقاومته لفعل التآكل ، ويتسبب وجود الألمونيوم في البرونز في زيادة المقاومة لتآكل البري كما أنها تزيد المقاومة للتآكل التشققي الأجهادي ويتسبب في تحسين خواص السبيكة عند درجات الحرارة العالية أما إضافة السيلكون فإنها تتسبب أساساً في تحسين خواص لدرجات الحرارة العالية.

أما سبائك النحاس مع النيكل والتي تحتوي على % (10-30) نيكل فهي تعد أشدّ سبائك النحاس مقاومة لفعل التآكل . ولذلك فإن هذه السبائك تلغي تطبيقات متعددة في الوحدات التي تتعامل مع الماء مثل وحدات التبادل . كما تم استحداث سبيكة للنحاس تحتوي على 3% كروم للتطبيقات التي لها متانة عالية للخضوع .

8/ الألمونيوم :

سبائك الألمونيوم مع النحاس السلسلة (Cu – Al 2000) تكون أقل مقاومة لفعل التآكل عن الألمونيوم النقي على المستوي التجاري . وتضاف عناصر السبك إلى فلز الألمونيوم بقصد زيادة المتانة وتحسين الخواص الميكانيكية .

أما مقاومة فلز الألمونيوم لفعل التآكل فهي تعتمد على الغشاء الواقي من الاكسيد والذي يتكون على سطحه . ويكون هذا الغشاء من الأكسيد ثابتاً في المحاليل المائية والتي يقع رقمها الهدروجيني (PH) في الحدود بين (4.5-8.5) وعند الأرقام الهيدروجينية التي تقل أو تزيد عن تلك السابقة فإن ميل الألمونيوم للتآكل يزداد .

هنالك بعض سبائك الألمونيوم والتي تكون عرضة للتآكل عبر حدود الحبيبات وكنتيجة لتفاعلات التعتيق التي تحدث عند درجات حرارية منخفضة وما يتبعها من حدوث ترسبات داخل حدود الحبيبات ويمكن للتآكل عبر حدود الحبيبات في هذه الحالة أن يظهر على صورة تآكل تقشري أو على صورة تآكل تشققي إجهادي .

السبيكة التي تتكون من الألمونيوم والخارصين والماغنسيوم تكون أكثر السبائك عرضة للتآكل التشققي . أما التآكل الجلفاني فيبرز كمشكلة رئيسية عندما يستخدم الألمونيوم في المنشآت الفلزية المعقدة .

9/ بعض مواد الإنشاء والتشييد الأخرى :

استخدم الرصاص لعدة آلاف من السنين في عمل الأنابيب الناقلة للمياه فهو مقاوم أيضاً لبعض الأحماض غير العضوية مثل حامض الكبريتوز وحامض الكروميك والفوسفوريك و الهيدروفلوريك البارد والكبريتك إلا أنه يجب تجنب تواجد حامض الفورميك والخليك . ويملك الرصاص مقاومته لفعل التآكل نتيجة تكون نواتج التآكل والتي تشكل غشاءاً واقياً إلا انه يمكن أن يكون عرضة لتآكل البري .

ومن الفلزات الحرارية فلز التنتالم وهو فلز واسع الإستخدام في الصناعات الكيمائية . ومعظم التطبيقات تشمل التعامل مع المحاليل الحامضية والتي لا يمكن التعامل معها بالحديد أو بالسبائك التي أساسها من النيكل . إلا ان التنتالم على الرغم من ذلك ليس بمادة الإنشاء والتشييد المناسبة للتعامل مع القلويات الساخنة أو ثالث أكسيد الكبريت أو الفلور . وكذلك فإن فلز التنتالم يمتص بسهولة الهيدروجين ليكوّن هيدريد التنتالم الهش . ويحذو حذو التنتالم كل من فلز التيتانيوم والزركونيوم .

أما الزركونيوم وسبائكه فيتسع إستخدامها في التطبيقات النووية إضافة إلى التطبيقات التي تحتاج لمقاومة عالية لفعل الحرارة والماء والبخار وبالإضافة إلى المتانة العالية التي تملكها هذه المواد عند درجات الحرارة المرتفعة ، فإنها تملك أيضاً مقاومة عالية بفعل حامض الهيدروكلوريك والكبريتيك (إلى تركيز يصل إلى 70%) وحامض الفوسفوريك إلى تركيز يصل إلى 80% . إلا أن الزركونيوم وسبائكه هي مواد إنشاء وتشييد غير مناسبة للتعامل مع حامض الهيدروفلوريك .

ويعتمد الزركونيوم ومقاومته لفعل التآكل على غشاء رقيق واقي من طبقة الأوكسيد .

وعند التعامل مع الفلزات النبيلة (كالفضة والذهب والبلاتين) فإن هناك عناية يجب أن تؤخذ للحد من التآكل الجلفاني الذي يمكن أن يحدث للأجزاء من المنشأ والتي تصنع من فلزات أقل نبلا .

الفصل الثالث

دراسة التآكل في بعض المنشآت الصناعية

الفصل الثالث

دراسة التآكل في بعض المنشآت الصناعية

في هذا الفصل سنتناول ثلاث مشاكل حقيقية للتآكل في المنشآت الصناعية وهي وقاية خطوط الأنابيب (pipeline) ومواد لأنظمة ماسورة عادم السيارة (car exhaust systems) وإنتقاء مادة لسقف مصنع ما (factory roof) فصدأ الحديد يظهر في كل هذه الحالات الثلاث ، ولكن أحسن طريقة للتغلب عليه تختلف في كل حالة عن الأخرى . والشي الأفضل في بعض الأحيان هو أن ننتقل إلى مادة جديدة لا تصدأ ، إلا أنه في العادة تمنعنا الكلفة الإقتصادية من أن نفعل ذلك ، ولهذا يجب أن تبتكر طرق لإبطاء أو إيقاف التفاعل المؤدي إلى الصدأ .

3.1 حماية خطوط الأنابيب التي تحت الأرض

(The protection of underground pipes):

أن عدة آلاف من الأميال لخطوط الأنابيب الفولاذية مدفونة تحت سطح الأرض أو على تماس معها لنقل النفط أو الغاز الطبيعي عبر المسافات الطويلة . فمن الواضح أن التآكل سيكون مشكلة شرط أن تكون الأرض بأية حالة من الأحوال رطبة كما هي عليه في العادة ، وإذا لم يكن العمق كبيراً إلى الحد الذي يمكن إقصاء دور الأوكسجين فعلياً . فعندئذ يمكن أن يحدث تفاعل إختزال الأوكسجين .

$$O_2 + 2H_2O + 4e \longrightarrow 4OH^- \qquad (7)$$

وتفاعل تآكل المعدن هو الذي يسبب تآكل الأنبوب .

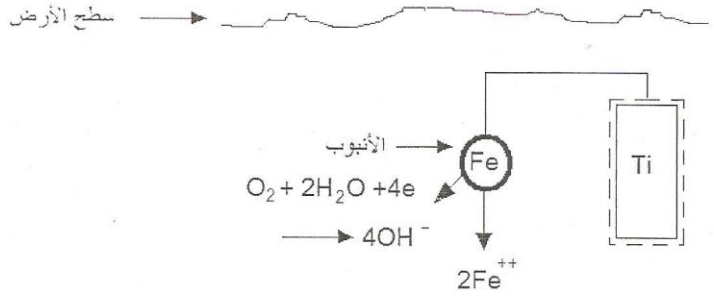
$$Fe \longrightarrow Fe^{++} + 2e \qquad (8)$$

وبسبب كلفة خطوط الأنابيب الضخمة وتعذر بلوغها إذا كانت مدفونة وتوقف الإمداد الناتج أثناء تجديد الأنابيب والعواقب الوخيمة المحتملة لفشل التآكل غير المكتشف ، فمن الواضح أن من المهم جداً التأكد أن خطوط الأنابيب لن تتآكل .

إن من أحدى الطرق الواضحة لحماية الأنبوب هي تغطيته ببعض المواد الخاملة لتحفظه من دخول الأوكسجين والماء إليه فصفيحة سميكة من البولى إثلين (Polyethylene) تلصق على كامل الأنبوب بصمغ البوتيل (butyl glue) مثلاً وتترك مقاطع نهايات الأنابيب غير مغطاة لتكون جاهزة للحام ، وتغطى فيما بعد مناطق اللحام تباعاً في الواقع . ومع أن مثل هذه التغطيات من النادر أن تزودنا بحماية

فقط لسلوك التآكل ، ومرة أخرى يكون العمل التجريبي عادة مقدمة ضرورية للتصميم ضد التآكل .

الشكل (2-3) أدناه يوضح بعض المواد المضحي بها .

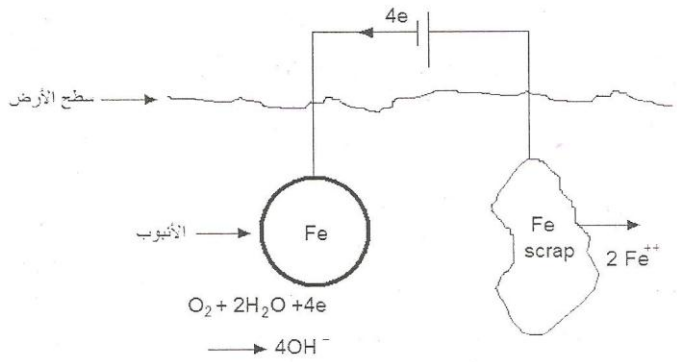


الشكل (2-3) يوضح بعض المواد المضحي بها .

ومن الطبيعي أن تتطلب هذه التقنية تبديل ألواح الأنود من وقت لأخر لأن الحماية تعتمد على إنحلالها ، ومن هنا جاءت تسمية الأنودات المضحي بها (Sacrificial anodes) . ولأجل تقليل فقدان معدن الأنود ، فمن المهم أن تكون هنالك طبقة حاجزة جيدة مهما أمكن حول الأنبوب ، ومع ذلك يمكن أن يظل الأنبوب محمياً بدون أية طبقة حاجزة على الإطلاق .

2/ الحماية بتسليط فرق جهد (Protection by imposing potential) :

هنالك طريقة بديلة لحماية الأنبوب ، وفيها تدفن قطعة من فولاذ الخردة (scrap steel) قريباً من الأنبوب ويربط معها من خلال بطارية أو مجهز قدرة (power supply) والتي تحافظ على فرق تحافظ على فرق جهد كافٍ بينهما ليتأكد من أن فولاذ الخردة هو أنود دائماً والأنبوب هو كاثود (فهي تستولى تقريباً على جهد التآكل للحديد ، والذي هو أقل بقليل من 1 فولت) . وهذا وحده سوف يحمي الأنبوب ، ولكنه إن لم يغلف الأنبوب فسنحتاج إلى تيار كبير للمحافظة على فرق الجهد هذا . الشكل (3-3) التالي يوضح حماية خطوط الأنابيب بواسطة تسليط جهد .



الشكل (3-3) يوضح حماية خطوط الأنابيب بواسطة تسليط جهد .

3/ المواد البديلة (Alternative materials) :

إن التكلفة هي التي تتحكم في معظم المواد البديلة لخطوط الأنابيب البعيدة المسافة ، فإنشاء أنبوب من فولاذ مطاوع (mild steel) يكون أرخص بكثير من إستعمال الفولاذ المقاوم للصدأ (stainless steel) كبديل عنه ، مع أنه لا يحتاج إلى حماية ، والمادة المنافسة الوحيدة هي البولمير (polymer) والتي تكون منيعة تماماً ضد التآكل الرطب من هذا النوع . فخطوط أنابيب غاز المدينة الرئيسية تبدل بأخرى من البوليمر ، إلا أن المقاومة الميكانيكية للفولاذ جعلته الإختيار المفضل بالنسبة لخطوط النقل الكبيرة القطر .

3.2 أنظمة ماسورة العادم فى السيارة

(Automobile Exhaust Systems) :

إن معدل عمر نظام ماسورة العادم المألوف لسيارة عائلية هو سنتان أو نحوه ، والفولاذ المطاوع هو المادة الإعتيادية ، فهو لم يشار إليه لمقاومته للتآكل . فباطن النظام غير مصبوغ ويبدأ بالتآكل آنياً في غازات العادم الساخنة الخارجة من المحرك ، والطلاء الوحيد من الصمغ التجميلي الرخيص يقشر من السطح بفترة وجيزة ليبدأ التصدؤ حيث يساعد ذلك تأثير أيونات الكلوريد من أملاح الطريق والتي بدورها تساعد على كسر غشاء أوكسيد الحديد .

إن عمر نظام ماسورة العادم يمكن أن يحسن بكلفنة الفولاذ ، إلا أن هنالك مشاكل في إستعمال الطلاءات حيث يجب أن يربط الفولاذ باللحام أثناء التصنيع .

فالخارصين مثلاً ينصهر عند 420°C وسوف يحترق منفصلاً عن اللحام ، والكسور تستمر بالحصول إذا أستعملت معادن ذات درجة إنصهار عالية (مثل Ni 1455°C) . وفي بعض الأحيان يصنع المنتجون أجهزة ماسورة عادم مطلية بالكروم لكن هذا للمظهر الخارجي فقط ، فإذا تم الطلاء قبل اللحام فمناطق اللحام ستكون غير محمية وستتآكل بسرعة ، أما إذا تم الطلاء بعد اللحام ، فباطن النظام سيكون غير مطلي وسوف يتآكل .

إن أكثر الطرق نجاحاً في مقاومة تآكل نظام ماسورة العادم هو في الواقع الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless steel) ، وهذا مثال جيد مشابه بالضبط لحالة التآكل الجاف حيث يبين كيف أن إضافة الذرات الغريبة للمعدن يمكن أن تكوّن أغشية أوكسيدية مستقرة والتي تعمل كحواجز ضد التآكل . وفي حالة الفولاذ المقاوم للصدأ ، يذاب الكروم في الفولاذ ليكوّن محلولاً جامداً ويتكون (Cr_2O_3) على سطح الفولاذ ليعمل كحاجز ضد التآكل .

إن هنالك مأزقاً أساسياً واحداً يجب تجاوزه في حالة إستعمال أجزاء الفولاذ المقاوم للصدأ المربوطة مع بعضها باللحام ، وهو المعروف بتلف اللحام (weld decay) . فقد وجد في بعض الأحيان أن المنطقة المتأثرة بالحرارة (heat – affected zone) منطقة المعدن التي تلي اللحام حيث أنها تسخن أثناء اللحام إلا أنها لا تنصهر وتتآكل بشكل سئ ، لأن كل أنواع الفولاذ تحتوي على الكربون " لاجل خواصها الميكانيكية " وهذا الكربون يمكن أن يسحب الكروم من المحلول الجامد (خصوصاً عند الحدود البلورية) ليكوّن ترسبات من مركب كاربيد الكروم ، لأن المناطق القريبة من الحدود البلورية تفقد معظم الكروم الموجود فيها بهذه الطريقة ، فهي إذن لم تعد محمية بـ (Cr_2O_3) فتتآكل بشكل سئ . والعلاج هو تثبيت الفولاذ المقاوم للصدأ بإضافة Ti أو Nb وهما يتفاعلان بدلاً من Cr قرب الحدود البلورية .

3.3 وقاية ريش التوربين (Protecting turbine blades) :

إن ريش التوربين في الوقت الحاضر تتألف أساساً من النيكل مع إضافة عناصر غريبة مختلفة للحصول على خواص زحف ملائمة .

ومع حلول الريش المجمدة إتجاهياً (DS) فهذه السبائك ستعمل في العادة عند حوالي 950°C والتي تقرب من ($0.7\,T_m$) للنيكل (1208 K ، 935°C) . وعند هذه الدرجة الحرارية يفقد النيكل (0.1 mm) من المعدن من سطحه بالتأكسد في مدة 600 ساعة ، ولا يشمل السماح التغيرات الإحصائية في معدل التأكسد ، والتي يمكن أن تكون كبيرة جداً أو للتأكسد التفضيلي (عند الحدود البلورية مثلاً) مؤدياً

إلى التنقر (pitting) وبسبب الكلفة العالية لتبديل مجموعة الريش (حوالى 33000 دولار للمحرك الواحد) فمن المتوقع أن تدوم المجموعة لأكثر من 5000 ساعة ، ومن الواضح أن هذا النوع من الفقدان غير مسموح به .

ما يوجد من الكروم في السبيكة هو % 20 فقط ، والسبيكة تتصرف جزئياً كما لو كانت محفوظة بمركب Cr_2O_3 وفي الحقيقة فقد وُجد بالتجربة أن Cr 20% يزيد زمن فقدان مقدار معين من المعدن بحوالي عشرة مرات فقط أي أن الزمن المستغرق لفقدان 0.1mm عند درجة حرارة عمل الريشة يصبح 600×10 ساعة = 6000 ساعة .

فحيثما تأملت سبيكة ما بدلاً من مادة نقية ، فطبقة الأوكسيد (بغض النظر عن طبيعتها Ni و Cr_2O_3 ...الخ) تتضمن عناصراً غريبة فيها أيضاً . وبعض هذه العناصر تزيد بشكل كبير معاملات الإنتشار في الطبقة أو الموصلية الكهربائية لها ، ومن ثم تجعل معدل التأكسد خلال الطبقة أكبر من معدله لو أن هذا التلوث بالعنصر الغريب غير موجود فالمرء يجب أن يكون حذراً جداً عند نقل البيانات عن وقاية الغشاء من مادة نقية إلى أخرى سبيكية (alloyed one) ، وعلى أية حال تكون التحديدات التجريبية على السبائك الحقيقية أساسية لبيانات العمل في كل أشغال التأكسد .

وبالرغم من أن الفقدان 0.1 mm هذا من السبيكة Cr 20% فى 6000 ساعة عند 935 °C، أحسن من النيكل النقي ، فهو لا يزال غير جيد إلى الدرجة المرضية .

للأغشية الأوكسيدية بعض المساوئ . حيث تسبب الأكاسيد قصيفة في العادة عند الدرجات الحرارية التي تتعرض لها عند سطح ريشة التوربين ، لذا من الممكن أن تنكسر ، وخصوصاً عندما تتغير درجة حرارة الريشة ونشوء إجهادات تمدد وتقلص حرارية تفاضلية بين السبيكة والأوكسيد . وهذه يمكن أن تعمل كمراكز تنويه مثالية لشقوق الكلال الحراري ولأن طبقات الأوكسيد في سبيائك النيكل ملتصقة جيداً مع السبيكة التي تحتها (ستكون عديمة النفع إذا لم تكن كذلك) ، فالشق يمكن أن ينتشرإلى السبيكة نفسها لذلك يكون لخواص غشاء الأوكسيد تأثير مهم جداً على خواص الكلال للأداة بصورة عامة .

3.4 إنتقاء مادة لسقف مصنع

(Select material of factory roof) :

الفولاذ المتموج المطلي بالخارصين (مكلفن) من المواد القوية والخفيفة والرخيصة وسهلة النصب والتركيب . والفولاذ المكلفن الجديد نسبياً خالي من الصدأ ، ولكنه بعد 20 إلى 30 سنة سيحتوي على كثير من الصدأ وسيفشل السقف أخيراً .

تترك الكلفنة طبقة خفيفة من الخارصين على سطح الفولاذ . وهذه تعمل كحاجز يحول بين الفولاذ والجو ، ومع أن الفولتية الدافعة لتآكل الخارصين أكبر من تلك التي للفولاذ ، ففي الحقيقة تآكل الخارصين أبطأ بكثير في جو المدينة الاعتيادي بسبب التأثير الحاجز لغشائه الأوكسيدي . فالفقدان النموذجي للسمك هو 0.1 mm خلال 20 سنة .

فإذا حصلت خدوش وكسور في طبقات الخارصين بسبب التضرر العرضي ، والتي من المؤكد أن تحصل خلال نصب وتثبيت الألواح ، عندها سيحمي الخارصين الحديد كاثودياً بنفس الطريقة تماماً التي تحمي بها خطوط الأنابيب بإستعمال أنودات من الخارصين . وهذا يفسر التأجيل الطويل لحدوث الصدأ ، لكن سمك الطلاء حوالي 0.15 mm فقط ، فبعد حوالي 30 سنة فإن أغلب الخارصين سيصبح زائلاً ، ويصبح التصدؤ متواصلاً ومن ثم سيفشل السقف . ويبدو للوهلة الأولي أن الرد هو زيادة سمك طبقة الخارصين . ومع أنه ليس من السهولة عمل ذلك ، بسبب أن عملية الغمس الحار المستعملة في الكلفنة لا يمكن السيطرة عليها بصورة دقيقة ، أما عملية طلاء الخارصين كهربياً على ألواح الفولاذ فإنها تزيد كلفة الإنتاج إلى حد بعيد . وأما صبغ اللوح بدهان فهو يساعد على تخفيض فقدان الخارصين إلى حد بعيد . ولكنه بنفس الوقت سيقلل بشدة من المساحة المتيسرة للحماية الكاثودية للفولاذ ، فإذا أخترق أي خدش كل من طبقتي الصمغ والخارصين ، فالفولاذ المعرض خلاله يمكن أن يتآكل أسرع بكثير من ذي قبل .

كان إبتداع إستعمال الألمونيوم المؤنود " وهو الذي تم كساءه بطبقة من أوكسيده بطريقة كهروكيميائية " في الفن المعماري حديثاً نسبياً . ومع أن القوة الدافعة للتأكسد الرطب للألمونيوم عالية جداً فإنه يتآكل ببطء شديد في بيئات الماء العذب لأنه يحمل غشاء شديد الإلتصاق من أوكسيده Al_2O_3 الردئ التوصيل . ويمكن أن يزداد سمك غشاء Al_2O_3 صناعياً في الألمنيوم المؤنود لأجل جعل هذا الحاجز مؤثراً لدرجة كبيرة ضد التآكل . وفي عملية الأنودة توضع قطعة الألمونيوم في ماء يحتوي على مواد مضافة مختلفة لتعزيز نمو غشاء محكم (مثل حامض البوريك) وعندئذ يجعل الألمونيوم موجباً كهربياً والذي سيجذب ذرات الأوكسجين في جزئيات الماء القطبي (polar water molecules) فتتفاعل جزئيات الاوكسجين الملتصقة بإستمرار مع المعدن لتعطى غشاء أوكسيدياً أسمك . ويمكن أن يلون هذا الغشاء لأغراض جمالية بإضافة عوامل ملونة قرب نهاية العملية مع تغيير تركيب محتويات الحوض للسماح لعوامل التلوين أن تكون مندمجة .

إن ألواح البلاستيك المتموجة تستعمل عموماً لتسقيق السقائف الصغيرة وسقائف موقف السيارة والأبنية المشابهة ، ولكنه بالرغم من أن البوليمرات بشكل عام لا تتآكل ، فهي عادة ما تستعمل في البيئات الردينة مثل مصانع الكيماويات ، فهي عرضة للتلف بتأثير الأطوال الموجية فوق البنفسجية لأشعة الشمس .

فهذه الفوتونات العالية الطاقة التي تؤثر طوال فترة من الزمن ، تكسر تدريجياً السلاسل الجزيئية في البوليمر ومن ثم تدهور خواصها الميكانيكية .

هنالك خطأ شائع وهو أن يثبت سقف الفولاذ المكلفن أو الألمونيوم في مكانه بمسامير أو لوالب من معادن مختلفة مثل النحاس والنحاس الأصفر ، فالنحاس سيعمل ككاثود وسيتآكل الخارصين أو الألمونيوم مضمحلاً بسرعة قرب المثبت . ومن المعلوم أن شيئا مشابهاً لهذا النوع من السلوك يحصل عندما تثبت ألواح تسقيف نحاسية بمسامير من فولاذ وحالة من هذا النوع تؤدي إلى تآكل سريع ومأساوي ليس لكون الحديد أنودياً فقط وأنما لأن الإلكترونات المتولدة بالتآكل الأنودي سوف تتسرب بسهولة كبيرة إلى الكاثود النحاسي الكبير .

الفصل الرابع

المناقشة

الفصل الرابع
المناقشة

4.1 مدخل (Introduction) :

سنتناول في هذا الفصل دراسة إحدي مشكلات التآكل التي تجابه المنشآت الصناعية . وتمت هذه الدراسة بمصنع السلام للأسمنت .

توجد في هذا المصنع منظومة تعمل على تنقية الهواء من الغبار العالق به نتيجة تكسير وطحن الحجر الجيري وهو العنصر الأساسي فى صناعة الأسمنت .

ويتم تجميع الغبار ورفعه عبر أنبوب ضخم إلى مستوي عالي قبل أن تتم عملية فصل الهواء عن الغبار بواسطة قطع قماش حيث يمر الهواء النقي خلالها ، فيما تعلق ذرات الغبار بها . وتمت الإستعانة بمروحة لتعمل على سحب الغبار ورفعه إلى ذلك المستوي ، ولكنها تعرضت إلى التآكل بصورة مخيفة مما جعلها موضعاً للدراسة .

4.2 دراسة حالة (Case Study) :

وسنقوم هنا بوصف للمشكلة مع تقديم للحلول المقترحة والحلول الموصي بها .

1/ وصف المشكلة :

توضع المروحة التي تعمل على رفع الغبار داخل وعاء إسطواني مصنوع من (IS 2062 Gr. A) وهو يتعرض أيضاً إلى قدر من التآكل ولكن بمعدل أقل وذلك لأن إتجاه ذرات الغبار لا يكون عمودياً على الوعاء كما في المروحة .

وتكمن خطورة التآكل في الوعاء عندما تؤدي إلى حدوث ثقوب تؤدي بدورها إلى تسرب الغبار خارج المنظومة وكثيراً ما يحدث ذلك نتيجة لمعدل التآكل العالي .

وللقيام بصيانة هذا الوعاء فإن ذلك يتطلب إيقاف الطاحونة التي تعمل على طحن الحجر وكذلك الفرن مما يعني توقف الإنتاج للقيام بالصيانة .

أما المروحة وكما ذكرنا فإنها تتعرض للتآكل بشكل أكبر . ويدخل الهواء إلى المروحة التي تعمل على رفع الغبار بمعدل $160000\ m^3/hr$ وهذا المعدل الكبير يدل على أن سرعة إنسياب الغبار عالية

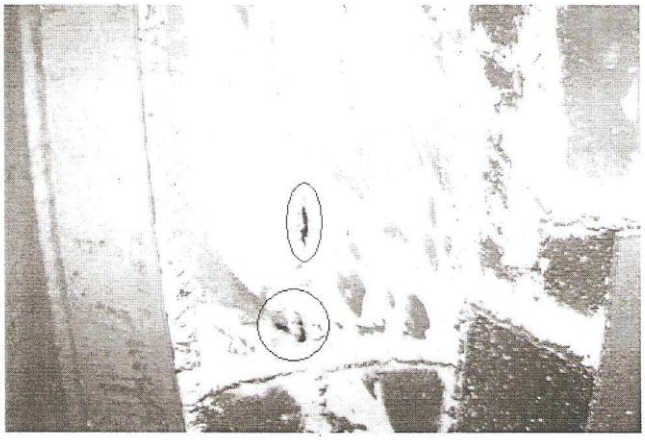
وذلك يتسبب فى إصطدام قوي بين ذرات الغبار وجسم المروحة مما يؤدي إلى حدوث تآكل على سطح معدن المروحة .

ومن خلال دراستنا فى الفصل الثانى يتضح أن هذا النوع من التآكل هو تآكل تنقرى وبالتالى فهو غير متجانس أي يحدث بطريقة عشوائية على سطح المعدن .

وأيضاً فإن الغبار يدخل بدرجة حرارة مرتفعة تصل إلى $95^{\circ}C$ ، كما أن كثافة الغبار عالية كذلك وتقدر بـ $0.866\ kg/m^3$ وكل هذه الظروف تساعد على زيادة معدل التآكل في معدن المروحة .

فالمروحة ضخمة ويصل وزنها إلى 4100 kg وتدور داخل الوعاء بسرعة عالية مقارنة بحجمها وتصل سرعتها إلى 990 rpm .

هذه المروحة مصلدة سطحياً بكربيد الكروم (Chromium Carbide) والمعروف بالصلادة العالية إلا أنها تعرضت للتنقر بصورة ملفتة للنظر وحدثت ثقوب عليها برغم سماكتها الكبيرة . الشكل (1-4) أدناه يوضح الثقوب التي حدثت في المروحة .

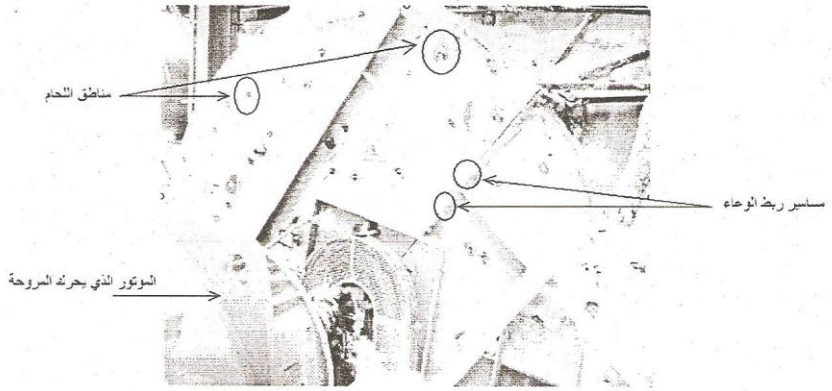


الشكل (1-4) يوضح الثقوب التي حدثت في المروحة .

أحدثت هذه الثقوب في جسم المروحة عدم موازنة كتلية لأنها تحدث بصورة عشوائية " غير متجانسة " مما أدي بدوره إلى زيادة سعة الإهتزاز في المرتكزات التي يرتكز عليها عمود المروحة .

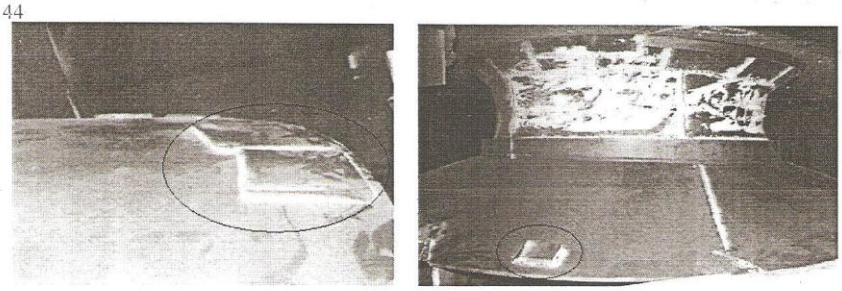
2/ الحلول المقترحة :

أقترح قسم الصيانة بالمصنع أن يتم لحام قطع معدنية في أماكن الثقوب ، فكانت صيانة الوعاء بلحام قطع من الحديد ذو الصلادة الجيدة لمقاومة التآكل لأطول فترة ممكنة . ومن الشكل (2-4) أدناه يتضح أن الوعاء يتكون من أجزاء مربوطة مع بعضها البعض وعند الصيانة يتم فك هذه الأجزاء ولحام تلك القطع في أماكن الثقوب وربط الوعاء مجدداً . كما يوضح مناطق اللحام وجزء من الموتور الذي يدير المروحة .



الشكل (2-4) يوضح مناطق اللحام ومسامير الربط وجزء من الموتور .

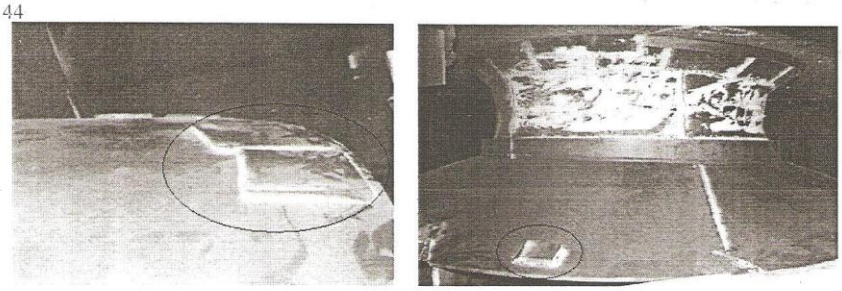
تتم معالجة المروحة أيضاً عن طريق لحام قطع حديدية في أماكن الثقوب ولكن هذه المرة بدقة أعلى مما كانت عليه في الوعاء ، فاللحام هنا يجب أن تراعى فيه الكتلة " أي لحام قطع بحيث تعطي إتزان ديناميكياً عند دوران المروحة " كما يجب الوضع في الحسبان كتلة المعدن المفقودة نتيجة التآكل . وذلك لجعل الإهتزاز عند المرتكزات في الحدود المسموح بها . الشكل (3-4) التالي يوضح القطع الملحومة في أماكن الثقوب في جسم المروحة .



الشكل (3-4) يوضح القطع الملحومة في أماكن الثقوب .

3/ الحلول الموصي بها :

يجب تغيير ظروف التشغيل بحيث تعطي معدلاً أقل للتأكل كتخفيض معدل سريان الهواء أو درجة الحرارة وغيرها من العوامل التي ساعدت على ذلك . أو إستبدال المروحة بإخرى مصنعة من مواد أكثر مقاومة لهذا النوع من التأكل .



الشكل (3-4) يوضح القطع الملحومة في أماكن الثقوب .

3/ الحلول الموصي بها :

يجب تغيير ظروف التشغيل بحيث تعطي معدلاً أقل للتأكل كتخفيض معدل سريان الهواء أو درجة الحرارة وغيرها من العوامل التي ساعدت على ذلك . أو إستبدال المروحة بإخرى مصنعة من مواد أكثر مقاومة لهذا النوع من التأكل .

الخلاصة

جاءت دراسة التآكل في هذا البحث لأهداف عدة أهمها مكافحة التآكل في المنشآت الصناعية . ومن خلال البحث النظري تم التعرف على أنواع التآكل ومسبباتها والعوامل المساعدة عليها وكيفية الحد منها ، وكذلك التعرف على الخواص التآكلية لبعض العناصر والسبائك الشائعة الإستخدام في المنشآت .

عملياً تم جمع المعلومات عن الأجزاء المعرضة للتآكل في بعض المنشآت وتحليلها لمعرفة أسبابها ومن ثم علاجها . وكان مهماً تحديد طريقة التصنيع ونسب العناصر في تلك الأجزاء ، وذلك لضمان مقاومة جيدة للتآكل ، ونسبة لعدم وجود معامل تقوم بذلك تم الإكتفاء بالمعلومات الواردة في دليل الجهات المصنعة .

ولتجنب أخطار التآكل نوصي بأن تُراعَى الأجزاء المعرضة للتآكل لدى الشركات المصممة والمصنعة ، كما يجب القيام بالفحص الدوري على المنشآت لاكتشاف التآكل في مراحله الأولى ومعرفة أسبابه وعلاجها .

المراجع

1/ م. ف آشبي و د . ر. هـ جونس–المواد الهندسية مدخل لخواصها وتطبيقاتها– قسم هندسة الانتاج والمعادن– الجامعة التكنولوجية– بغداد 1990م –رقم الكتاب 11994 .

2/ ابراهيم سالم منصور– هندسة التآكل– الناشر دار الراتب الجامعية– بيروت –رقم الكتاب 6028 .

3/ ك. كحي – خواص المواد الهندسية– الناشر دار الكتب 1964م– رقم الكتاب 5990 .