دراسة التآكل الجوي لسائك الفولاذ لنخفض الكربون وحمايتها

١-١ المقدمة:

التآكل: هو تفاعل كيميائي او كهرو كيميائي يحدث بين المعدن والوسط المحيط به. وينتج عن هذا التفاعل تغيير في خواص المعدن وكذلـ وكذلك ويحدث هذا التفاعل بسبب وجود المعدن يحدث تشويه في شكل هذا المعدن بحاله غير مستقرة وذلك لان طاقته الحره عاليه فهذا التفاعل يعمل على زيادة استقرارية المعدن بالتحول الى مركبات مثل الأناسيد والكاربونات والكبريتات وهذه المركبات تكون مستقرة أكثر من المعدن الاصلي لان طاقتها الحرة قليلة.

ان التأكل الذي يحدث في المعادن والسبائك له خطر كبير في الصناعة وذلك لان نواتج التآكل سوف تعمل على تغيير خواص المنتج وهذا يؤدى الى فشل المنتج في تحقيق الغاية التي انتج من اجلها.

كما ان هذا التآكل قد يسبب خطرا على الانسان فقد يؤدى حدوث التآكل في الجزء الاسفل لجهاز معين او خزان الى انهيار جسم الجهاز او الخزان.

١-٢ الية او ميكانيكية التآكل:

لقد ذكرنا في المقدمة ان التآكل اما يكون كيميائي او يكون كهرو كيميائي.

التأكل الكيميائي (المباشر) هو عملية يتم فيها اكسدة المعدن ويقابل هذه العملية عملية اختزال.

التأكل التينيائى المباشر يحدث نتيجة تفاعلات كيميائية مباشرة للمعدن ونتيجة لهذه التفاعلات يتحول المعدن الى مركبات كيميائية وهذه المركبات اما تكون على شكل طبقة دقيقة صلبة تترسب على سطح المعدن وفي بعض الاحيان تكون هذه الطبق المترسبة كواقي أو حامي للمعدن من التآكل مثل تفاعل الكلور او اليود مع الفضـ ونتيجة لهذا التفاعل تتكون طبقة دقيقة صلبة من كلوريد الفضة ويوديد الفضة وهذه الطبقة الصلبه تترسب على سطح الفضه وتحميه من استمرار التآكل.

ومثال ثاني هو تفاعل غاز الكلور الجاف مع الحديد فهذا التفاعل يكون كلوريد الحديد وهذا يتوسب على شكل طبقة رقيقة صلبة على سطح الحديد وتحميه من التأكل او تكون هذه المركبات على شكل سائل مثل تفاعل القصدير مع غاز الكلور الجاف فهذا التفاعل يكون كلوريد القصدير وهذا المركب يكون على شكل سائل تسهل ازالته ويستمر التفاعل وكذلك يستمر تحول التصدير الى كلوريد القصدير. اما التأكل الكهرو كيميائي الغير مباشر فان هذا النوع من التأكل فيحدث عند تلامس سطح المعدن مع سائل ولذلك في بعض الاحيان يطلق على هذا النوع من التأكل بالتأكل الرطب.

١- ٣ التفاعلات الكهرو كيمياوية:

الطبيفة الكهروكيماوية للتآكلي يمكن تثيلها بهجوم حامض الهيدروكلوريک على الزنک. عند وضع الزنک في حامض الهيدروكلوريک المخفف يحدث تفاعل قوى ويتحرر غاز الهيدروجين H٢ ويذوب الزنک مكونا محلول من كلوريد الخارصين حسب التفاعل الاتي:

$$Zn + ٢HCL \rightarrow ZncL٢ + H٢$$

ان أيون الكلوريد لا يدخل في هذا التفاعل ، وعلى هذا الاساس يمكن كتابة التفاعل السابق بهذه الصيغة:

$$Zn + ٢H + \rightarrow \ Zn^{+٢} + H٢$$

ومن هذا فان الخارصين يتفاعل مع ايونات الهيدروجين للحامض ليكون ايونات الخارصين وغاز الهيدروجين . ان الخارصين يتاكسد الى ايونات الخارصين، كما ان ابونات الهيدروجين تختزل الى هيدروجين ، ولذ لک يمكن كتابة المعادلة السايقة على شكل معادلتين:

تفاعل الاكسدة (تفاعل الودى)

$$Zn \rightarrow \ Zn^{+٢} + Ze$$

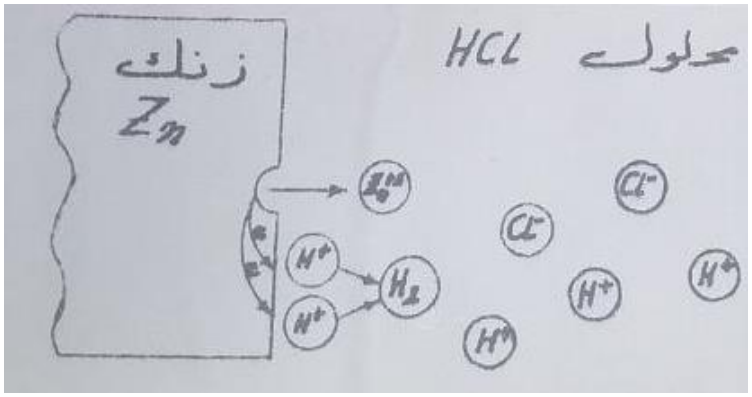
تفاعل الاختزال (تفاعل كاثودى)

$$ZH^{+} + ٢e \ \rightarrow \ H_{+}$$

تفاعل الاكسدة (الانودى) يشير الى زيادة في التكافوء أو تحرير الالكترونات اما تفاعل الاختزال (الكاثودى) فيشير الى نقصان في التكافو او استهلاک الالكترونات التفاعلات السابقة هي تفاعلات جزئية وهذه التفاعلات الجزئية يجب أن تحدث سوية (معا) على سطح المعدن وبنفس المعدل. اذا لم يحدث هذا فان المعدن يصبح مشحونا تلقائيا، وهذا مستحيل. وان هذا الشيء يعطينا واحد من اهم المبادئ الاساسية للتآكل (خلال تأكل المعادن يكون محدا التاكسد مساويا لمعدل الاختزال).

وهذا من حيث تحوير الالكترونات واستهلاكها

ان الشكل رقم (١-١) يوضح هذه الحالة، حيث تحولت ذرة الخارصين الى ايون الخارصين الموجب وحررت الكترونين، هذه الالكترونات التي تبقى في المحدن تستهلک انيا خلال اختزال ايونات الهيدروجين.



شكل رقم (١- ١)

ان تأكل الخارصين في حامض الهيدروكلوريک هو عملية كهروكيمياوية والذى هو اى تفاعل يمكن تقسيمه الى تفاعلات جزئية للاختزال والاكسدة ، وهذا التقسيم يجعل التفاعلات سهلة الفهم الحديد والالمنيوم مثل الخارصين حيث يتأكلان بسرعة في حامض الهيدروكلوريک وكما في هذه التفاعلات:

$Fe + ٢HCT \rightarrow Fe\ CL_{٢} + H٢$

$٢AL + ٦HC_{١} \rightarrow ٢AL\ CL_{٣} + ٣H_{٢}$

وعند مقارنة هذين التفاعلين مع تفاعل الخارصين فتجدها متشابهة من حيث اختزال ايون الهيدروجين ولكن الاختلاف يكون في التفاعل الانودى كما هو موضح في التفاعلات الاتية:

$Zn \rightarrow Zn^{+٢} + ٢e$

$Fe \rightarrow Fe^{+٢} + ٢e$

$AL \rightarrow AL_{+٣} + ٣e$

وبهذا تسهل مشكلة التآكل في حامض الهيدروكلوريک حيث في كل حالة الحلات السابقة فالتفاعل الكاثودى هو انبعاث الهيدروجين ، وهذا ينطبق على التآكل في حوامض اخرى مثل حامض الكبريتيک، حامض الفسفوريک، حامض الهيدروفلوريک واحماض المواد العضوية المذابة في الماء مثل الفورميک والاسيتيک في كل حالة يكون ايون الهيدروجين هو الفعال فقط اما الايونات الاخرى مثل الكبريتات، الفوسفات، الاسيتات فلا تدخل في التفاعل الالكتروكيمياوى من ناحية تفاعلات الاكسدة والاختزال يمكن تصليف جميع التأكلات الى تفاعلات عامة محدودة . التفاعل الانودى في جميع تفاعلات التآكل هو تفاعل اكسدة المعدن الى ايوناته، ويمكـ كتابة التفاعل الانودى بصورة عامة كما يلي:

$M \rightarrow M^{+n} + ne$

وبعض الامثلة على التفاعل الانودى هي:

$Ag \rightarrow Ag^{+} + e$

$Zn \rightarrow Zn^{+٢} + ٢$

$AL \rightarrow AL^{+٣} + ٣e$

في كل حالة من هذه الحالات يكون عدد الالكترونات المتحررة يساوى تكافو الابون اما التفاعلات الكاثودية فتوجد عدة تفاعلات مختلفة تحدث باستمرار فى تآكل المعادن، والتفاعلات الاكثر شيوعا هي: انبعاث الهيدروجين $ZH+ + ٢e \rightarrow H_٢$

اختزال الاوكسجين (محاليل حامضية) $O_٢ + ٤H^+ + ٤e \rightarrow ٢H_٢O$

اختزال الاوكسجين (محاليل متعادلة او قاعدية) $O_٢ + ٢HeO + ٤e \rightarrow ٤ OH^-$

اختزال ايونات المعدن $M^{+٣} + e \rightarrow M^{+٢}$

ترسب المعدن $M+ + e \rightarrow M$

تفاعل تحرير الهيدروجين هو تفاعل كاثودى شائع حيث يشيع استعمال الحوامض او الاوساط الحامضية. اما تفاعل اختزال الاوكسجين فيحدث عند استعمال محلول مائي متصل بالهواء اما تفاعلات اختزال ايونات المعدن او ترسيب المعدن فهي اقل شيوعا وتحدث في المفاعلات الكيمياوية، أن جميع

التفاعلات اعلاه متشابهه من حيث استهلاكها للالكترونات. التفاعلات اعلاه يمكن بواستطها تفسير جميع تفاعلات التأكل فاذا اخذنا كمثال ما يحدث عند غمر قطعة حديد في الماء او في ماء البحر المعرض للهواء ، يحدث في هذه الحالة تأكل والتفاعل الالودى يكون

$Fe \rightarrow Fe^{+٢} + ٢e$

بما ان الوسط معرض للجو فانه يحتوى على اوكسجين ذائب، ويكون الماء او ماء البحر متعادلا تقريبا لذلك يكون التفاعل الكاثودى

$O_٢ + ٢H_٢O + ٤e \rightarrow ٤OH^-$

بمالن ايونات الصوديوم والكلوريد لا تدخل في التفاعل فسوف يكون التفاعل الكامل كما يلي:

$٢Fe + ٢OH_٢O + O_٢ \rightarrow ٢Fe^{+٢} + ٤OH^- \quad ٢Fe(OH)_٢$

هيدروكسيد الحديدوز يترسب من المحلول ، وهذا المركب غير مستقر فى المحاليل المؤكجة ويتاكسد الى ملح الحديديك:

$٢Fe(OH)_٢ + H_٢ \cdot + \cdot ٢Fe(OH)_٣$

وهذا المركب الاخير هو الصداء

ومن الأمثلة التقليدية للتفلات الاستبدالية هو تبادل الخارصين مع محلول كبريتات النحاس:

$Zn + Cu^{+٢} \rightarrow zn^{+٢} + cu$

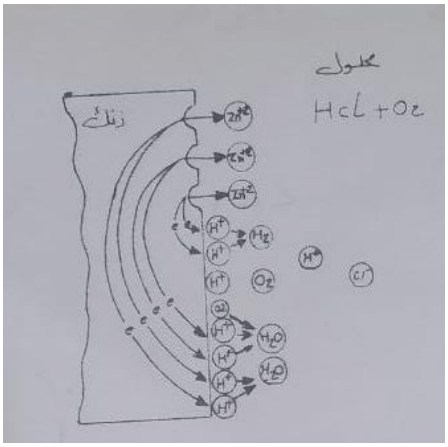
او كتفاعلات جزئية:

$Zn \rightarrow Zn^{٢} + ٢e$

$Cu^{+2} + 2e \rightarrow cu$

في البداية يصبح الخارصين مطلي بالدعاس ، ثم تكون النواتج نحاس اسفنجي ومحلول كبريتات الخارصين.

خلال التفاعل يمكن ان يحدث أكثر من تفاعل تا كسد وتفاعل اختزال واحد ، عندما تتأكل سبيكة تدخل مكوناتها الى المحلول كايونات ، والاهم من ذلك، يمكن ان يحدث اكثر من تفاعل اختزالي خلال التآكل ، مثلا تأكل الخارصين في حامض الهيدروكلوريك المهوى حيث يمكن حصول تفاعلين كاثود بين وهما تحرر الهيدروجين واختزال الاوكسجين ، وهذا موضح في الشكل رقم (١ – ٢)



شكل رقم (١ – ٢)

على سطح الخارصين هنالك تفاعلين يستهلكان الكترونات بما ان معدلات الاكسدة والاختزال يجب ان تكون متساوية ، فان زيادة معدل الاختزال يزيد معدل انحلال الخارصين ونذلك فان المحاليل الحامضية التي تحتوى على الاوكسجين الذائب تكون عامل تأكل اقسى من الاحماض الخالية من الاوكسجين. اختزال الاوكسجين يعطي طريقة اضافية لاستهلاك الالكترونات. وتلاحظ نفس التأثير عند وجود اى عامل مؤكسد في المحاليل الحامضية من الشوائب الموجودة في حامض الهيدروكلوريك التجارى هو ايون الحديديك على شكل كلوريد الحديديك والمعادن تتأكل بسرعة أكبر في مثل هذا الحامض لاله يوجد تفاعلين كاثوديين هما انبعاث الهيدروجين واختزال ايون الحديديك

$Fe^{+3} + e \rightarrow Fe^{+2}$

بما ان التفاعلين الكاثودى والانودى في التآكل يعتمدان على بعضهما فمن الممكن التقليل التأكل وذلك بتقليل معدل حدوث احد هذين التفاعلين ، ففي الحالة اعلاه (حامض الهيدروكلوريك الخير نقي) من الممكن جعله اقل قساوة بفصل ايونات الحديديك عليه والذى ينتج عنه نقصان في التفاعل الكاثودى. ويمكن ابطال اختزال الاوكسجين بطح الهواء من الاتصال بالمحاليل المائية وازالة الهواء الذائب فيها.

فان الحديد لا يتأكل في ماء خالي من الهواء لانه لا يوجد تفاعل كاثودي. اذا كان سطح المعدن مطلي بالاصباغ او دلبقة خفيفة من مادة عازلة فان معدلات كلا من التفاعلات الكاثودية وا الانودية تنخفض ويقل التآكل مانع التأكل. هو مادة عند اضافتها بكميات قليلة الى وسط التآكل فان شدته نقل، وموانع التآكل تؤثر أما على التفاعل الا بودى او الكاثودي او كلاهما. والكثير من هذه الموانع هي مركبات عضوية تكون طبقة غير منفذه على سطح المعدن او بالتأثير اما على التفاعل الانودى او الكاثودى. الامينات التي وزنها البريشي عالي توتر تفاعل انبعاث الهيدروجين وبذلك تقلل من معدل التآكل. طبعا ليس عمليا أن تزيد المقاومه الكهربائية للمعدن لان مكان حدوث تفاعلات الكاثود والانود غير معروفة، ولكن يمكن زيادة المقاومة الكهربائية للمحلول الكهربائي او وسط التآكل وبذلك نقلل التآكل. الماء الشديد النقاوة هو وسط تاكل اقل شدة من الماء الغير نقي او الطبيعي، وهذا ناتج عن مقاومته العالية للكهربائية.

١-٤ تصنيف التاكل:

لقد تم تصنيف التآكل بعدة طرق واحدى هذه الطرق تصنف التأكل الى نوعين:

١- التآكل في درجات حرارة واطئة او التآكل الرطب ويعرف التآكل الرداب باسل اى عمليمتآكل يلعب فيها الطور السائل دورا اساسيا سواء كان ذلك عن طريق التفاعل المباشر او كوسط لحدوث التفاعل.

٢- التأكل في درجات حرارة عالية ، او التآكل الجاف وهو كما واضح من تسميته فانه عبارة عن تفاعل مباشر بين الغاز او البخار والمادة المتآكلة دون ان يكون هناك وجود للطور السائل.

١ - ٥ أشكال التأكل:

ان الطريقة التي يتم على اساسها تحديد شكل التآكل تعتمد على صور او شكل الواضح للمعدن الذى حدث فيه التآكل ، في بعض الاحيان تتمكن الحين من معرفة شكل التاكل وذلك لو ضوح التغيير الحاصل في شكل المعدن المتآكل شكل المعدن المتآكل، وفي حالة عدم مقدرة العين المجردة للتعرف على شكل التآكل فنضطر الى القيام بعملية تكبير لتوضيح التغييرات الدقيقة في المعدن.

١ - ٦ التآكل العام او المتجانس:

يتميز هذا النوع من التآكل بانه يحدث نتيجة تفاعل كيميائي او كهروكيميائي بصورة متجانسة عبر سطح المحدن ككل والمعرض لفعل الوسط الاكل ومع ان هذا النوع من التآكل يعد من الانواع الخطرة في عدم المنشات الحديدية، الا انه بالامكان التحكم فيه وذلك عن طريق اختيار المادة المناسبة للفرض المناسب مح طلائها بطلاء واقي اضافة الى بعض الطرق والوسائل الاخرى التي تستخدم في حماية ووقاية الفلزات من التأكل ومن الامثلة على هذا النوع من التآكل.

ناخذ مثال قطعة حديد معرضة الى الجو العام فسوف يحدث تأكل في هذه القطعة وهذا يعني حدوث تفاعل الودى وهو

$$Fe \rightarrow Fe^{+٢} + ٢e$$

وكذلك حدوث تفاعل كاثودى و هو

$$O٣+ ٢H_٢O + ٤e \rightarrow ٤OH^-$$

١ - ٧ تأكل الدخر:

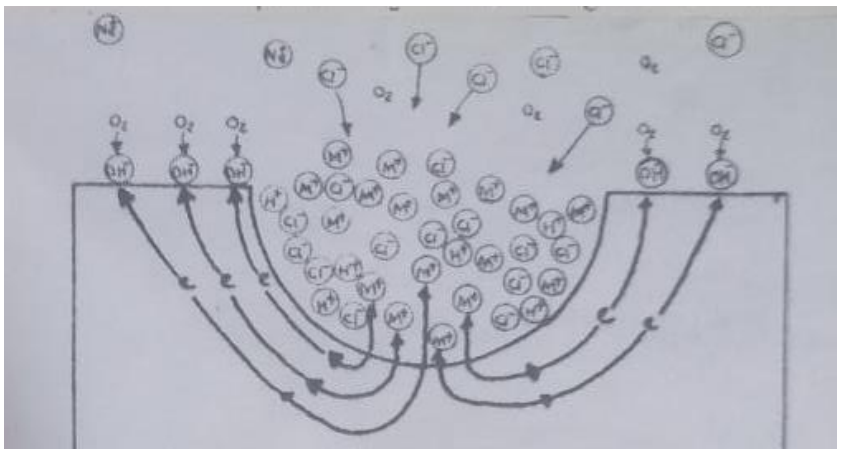
يمثل التاكل عن طريق النخر صورة قاسية للتآكل الموضع خلال الفجوات وفي هذا النوع من التآكل تتكون بعض الثقوب او الحفر التي تكون متنامية في الصغر قدر حجم فقب الدبوس او قد تكون اكبر من ذلك بكثير وعندما تكون هذه الحفر مغطاة ببعض نواتج التآكل يكون من الصعب اكتشافها قبل ان تقضي تماما على هذا الجزء الفلزى وتسبب الهياره ونظرا للتأثير الشديد لهذا النوع من التآكل فانه كثيرا ما يؤدى الى انهيار المشاء الفلزى تماما ودون سابق انذار. والتآكل النخرى قد يحتاج الى فترة طويلة لكي يبداء لكنه بمجرد أن يبداء يصبح ذاتي الحفز ويتجل التفاعل بسرعة. وياخذ تأكل النخر اتجاه الجاذبية اى يبداء باوطاء نقطة في الحفرة. وهذا النوع من التآكل يحد شعادة للمعادن الموجودة في محاليل الهالوجينات مثل الكلوريدات في بعض الاحيان توجد فـ مناطق اكثر ايجابيا على سطح المعدن مثل (مناطق الانخلاطات والخدوش لطبقة الاوكـ او مناطق حدود البلورات) تكون لها طاقة اعلى من المناطق المجاوره لها فتعمل ٤ اقطاب موجبه او يمكن القول أن تكون لها طاقة اعلى من الحبيبات المجاوره لها فتحمل على خا يا تأكل كهربائية. فزيادة ايرات المعدن في الحفرة يعني ان الشعله الموجبة اصبحت عالية ولكي يحدث تجانس سوف تنقل ايونات الكلور الى الحفرة ويتكون كلوريد المعدن

$$M^+ + CL^- \rightarrow M^+ CL^-$$

والتحلل المائي سوف يحول هذا الكلوريد MCL الى هيدروكسيد المعدن MoH الذي يترسب لعدم ذوبانه ولكن بنفس الوقت سوف يتكون وسط حامضي في الحفرة يحفز المعدن لكي يتسلل الى ايوناته

$$MCL + H_٢O \rightarrow HCL + MOH$$

ولذلك يتزايد معدل التأكل . وا الما ان الالكترونات تهاجر الى السطح المكشوف من المعدن حيث يجري هناك اختزال للأوكسجين فان هذه السطوح سوف تحمل كقطاب كاثودى و تتخلص نظر التأكل تتوضح الميكانيكية كما في الشكل رقم (١ – ٣)



شكل رقم (١ – ٣)

مخطط يوضح يوضح الية التآكل بالدخر

١ - ٨ التأكل الكلفات:

وهو احد انواع التآكلات الموضعية وسببه وجود معدلين مختلفين في السلسلة الكهربائية emr و متصلين مع بعضهما وموضوعان في وسط مسبب للتآكل.

والسلسلة الكهربائية هي ترتيب للمعادن حسب جهودها الكهربائية في وسط تاكلي فتند اتصال معدن يقع في على السلسلة مع محدن اخر يقع في اسفل السلسلة وفي محيط معين مثل ماء البحر، فان المعدن الذى يقع في اسفل اسلسلة سوف يكون انود، وهذا يعني ان التفاعل الانودى يتم على سطح هذا المعدن او بمعنى اخر ان هذا المعدن سوف يتسلل الى ايوناته (تاكل).

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

اما المعدن الذى يقع في اعلى السلسلة فسوف يكون كاثود وهذا يعني ان التفاعل الكاثودى يتم على سطح هذا المعدن وهذا المعدن لا يتآكل

$$٢H^{+} + ٢e \rightarrow H_{٢}$$

يجب ملاحظة انه عند تغيير المحيط فان هذه السلسلة تتغير يعني ان ترتيب المعادن سوف يتغير، وربما يصبح المعدن الذى كان انود في السلسلة الاولى فيصبح كاثود في هذه السلسلة والمعدن الذي كان كاثود في السلسلة الاولى يصبح الود في السلسلة الثانية، وهذا التغيير في المواقع يكون حسب تغيير الجهد الكهربائي للمعادن مع تغيير وسط التآكل (المحيط).

١ - ٩ التآكل الفجوى:

يعتبر هذا النوع من التأكل من اخطر عوامل الهدم الموضعـ ويحدث هذا التأكل نتيجة وجود حجوم صغيرة من السوائل في فجوات أو شقوق المعدن كما يحدث في الثقوب القليلة العمق وفي الفجوات الموجودة تحت رؤوس المسامير وغيرها.

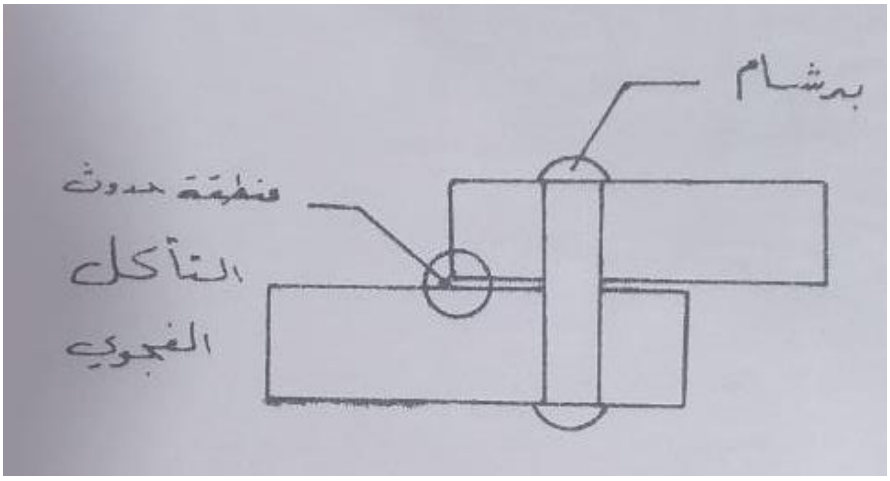
ان سبب حدوث التآكل الفجوى يعزى الى ما يسمى بالد. الاداة اختلاف تركيز الاوكسجين على سطح المعدن يؤدى الى تأكل المنطقة التي يكون فيها تركيز الاوكسجين واطي منطقة الفراغ (الفجوة) يحدث تفاعل الودى و كاثودي لوجود الاوكسجين وبعد فترة سوف ينفذ الاوكسجين من هذه المنطقة ويجعل المناطق القريبة من الفجوه غلية بالاوكسجين فى وهذا يسبب التآكل:

التفاعل الانودى على سطح المعدن في الفجوه

يحدث $M \rightarrow M^{+} + e$

والتفاعل الكاثودي على جوانب القطعتين

يحدث $٢H^{+} + ٢e \rightarrow H_{٢}$



شكل رقم (١ – ٤)

مخطط يوضح منطقة حدوث التآكل الفجوى

١ – ١٠ تأكل الحدود البلورية:

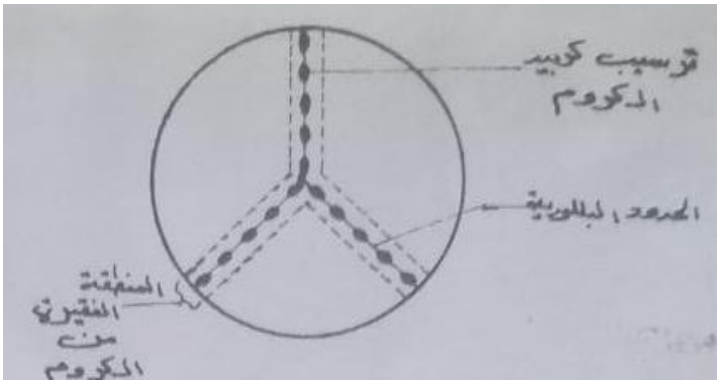
هذا النوع من التآكل عادة يحدث في حدود البلورات او المنطقة المجاورة لها وهذا التآكل موضحي ويسبب فقدان في وزن المحدن لانه يحـ على حدود البلورات وهذا يؤدى الى ازالة البلورة نفسها.

المعادن التي تتعرض لهذا النوع من التأكل هي المعادن او السبائك التي تحتوى على طبقة اوكسيد فوق سطحها مثل الفولاذ المقاوم للصداء وخصوصا النوع AISI ٣٠٤ والذى يتكون من

١٨% Cr + ٨ % Ni + ٠,٠٨٪ C

عناصر السبك الموجودة فى هذا النوع اذا زادت عن نسبها المذكورة اعلاه وخاصة الكروم فانه ينفصل على شكل كربيد الكروم ويترسب على الحدود البلورية وهذا يجعل المنطق القريبة منه خالية تقريبا من الكروم ، فهذه المنطقة سوف لا يتكون عليها اوكسيد الكروم المقاوم للتاكل.

وجود اكربيد يؤدى الى ترابط كلفانى حيث يكون الكربيد منطقة الكاثود والبلورة المجاوره له منطقة الانود، وبهذا يحدث تأكل حبيبي لهذا المعدن.



شكل وتم (١ – ٥)

مخطط يوضح تاكل الحدود البلورية

١ - ١١ التآكل الاجهادى:

وهو واحد من التآكلات الموضعية وسببه يكون بفعل مشترك لجهد ميكانيكي ومحيط تأكلي وهذا التأكل يؤدى الى حدوث تشققات في سطح المعدن وهي تدعى (تشققات التآكل الاجهادى).

الجهد المسبب لهذا التأكل اما يكون خارجي مثل الشد والضغط او يكون هذا الجهد داخلي يتكون نتيجة لعمليات التلدين وغيرها.

ومن اهم الامثلة على التآكل الاجهادى هو التشقق الموسمي الذى يحدث في نحاس الاطلاقات الاصفر ويطلق مصطلح التشقق الموسمي على التشققات البينية (عبر حدود الحبيبات) للنحاس الأصفر المشكل على البارد عند تعرضه الى محيط يساعد ولو بصوره قليلة على التأكل مثل اجواء المصانع. يمكن تجنب هذه الظاهره في النحاس الاصفر وذلك باجراء عملية التخمير في درجة حرارة ٢٥٠م° حيث ان التخمير في حيث ان التخمير في هذه الدرجة الحرارية يؤدى الى تحرير الاجهادات الداخلية بدون فقدان المعدن لمقاومتة

١ - ١٢ تاكل التعرية:

يحدث هذا النوع من التأكل اعتياديا للمواد التي تتحرك بسرعة في محيطات سائلة مثل الرفاصات البحرية والدفات والانابيب الحاملة للمياه الجارية فمثلا عند حصول حالة الانسياب التباعدى في السائل يؤدى الى تكوين الملايين من الفجوات في النطقة ذات الضغط الواطيء وعند تقوض او تداعي هذه الفجوات تتكون موجة صدمية تؤدى الى تلف المعدن وخلال الفترة التي يتعرض فيها المعدن للموجات الساكنة فان التآكل يستمر في الجزء الذي سبق وان عانى من الموجات الصد الصدمية موديا الى زيادة حدة التآكل فى ذلك الجزء.

المصادر:

١- مبادئ هندسية المعادن والمواد: تأليف: ف. بيلي، ترجمة: د. حسين باقر رحمه الله.

٢- خواص المواد الهندسية: د. صالح امين كركجي، د. طالب حسين الشريفي.

٣- دورة التآكل في الاجهزة الصناعية: المحاضر د. مهدي العبيدي – معهد البحوث النووية لجنة الطاقة الذرية وقسم الفيزياء النووية.