علم المواد

تآكل المعادن

تآكل المعادن

الجدارة: التعرف على المفاهيم والتعريفات الخاصة بتآكل المعادن.

الأهداف:

عندما يكتمل هذا الفصل يكون الطالب قادراً على:

- معرفة المفاهيم الأساسية للتآكل.
- معرفة أنواع ومعدلات التآكل.
- معرفة الطرق المتبعة لتجنب التآكل والتحكم فيه.

مستوى الأداء المطلوب: يجب أن يصل الطالب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 90%.

الوقت المتوقع للتدريب: أربع ساعات.

1- المفاهيم الأساسية للتآكل

يعرف التآكل بأنه تلف جزئي أوكلي يحدث للمعدن أو السبيكة من حيث المظهر أو الأداء بسبب التفاعل الذي يحدث بين المعدن أو السبيكة مع الأجواء المحيطة به سواء كانت غازية أو سائلة. هناك عوامل كيميائية وفيزيائية كثيرة تؤثر على معدلات التآكل مثل تركيز الأملاح والغازات المذابة والحرارة وغيرها. وظاهرة التآكل نراها في حياتنا اليومية، فمثلاً طبقات وترسبات ذات لون أصفر على الأرض النحاسية، كذلك ظهور طبقات على نوافذ وأبواب المنازل المصنوعة من فلز الحديد، كل هذه الظواهر هي في الحقيقية نتيجة تأكسد (أي تآكل) الفلز أو السبيكة بسبب تعرضه للظروف المحيطة. يعتبر التآكل إحدى المشاكل التي تتعرض لها وتعاني منها الكثير من المنشآت البترولية كخطوط نقل البترول والغاز والخزانات وأبراج التقطير كما يحدث في الكثير من القطاعات الأخرى الهامة كقطاعات الصناعة والنقل البحري. يحدث التآكل تلف شديد في المنشآت مما ينتج عنه تكاليف ضخمة تتمثل في فواقد الإنتاج وبالتالي قلة الكفاءة بالإضافة إلى تكاليف تطبيق أساليب مقاومة التآكل.

والبيئة لها دور كبير في تنشيط التآكل إذا كانت تحمل عناصر مساعدة للتآكل، فمياه البحر مثلاً فيها أكثر من سبعين عنصراً أهمها أيونات الكلوريد والصوديوم والكالسيوم وأيضاً الكبريتات، وهي تشكل أكثر من 99% بالوزن من الأملاح الذائبة. كذلك التربة المذاب فيها أملاح ومواد عضوية مختلفة تحتوي على أنواع كثيرة من البكتريا. كذلك المياه الطبيعية (مياه الأنهار ومياه الآبار ومياه تحت طبقات الأرض وغيرها) تحمل معها أملاح الكربونات والبيكربونات. كذلك الهواء قد يحمل معه ذرات مختلفة من الغبار وأملاح الصوديوم وغاز ثاني أكسيد الكربون والرطوبة وأخيراً مختلف المواد الحمضية بأنواعها هي بيئات نموذجية للتآكل. هذه بعض الأمثلة التوضيحية لتآكل المعادن:

- الحديد المعرض لهواء رطب يتحول سطحه إلى أكسيد بني اللون.
- الحديد الموجود في ماء مالح مع وجود وفرة من الهواء يتحول إلى صدأ، وبصفة عامة نقول إن الحديد حدث له صدأ (rust) ويتعلق بالتيارات الكهربية التي تتكون داخل السائل.
- عندما يسخن الحديد في الهواء، فإنه يصبح مغطى بطبقات سوداء، نتيجة تأكسد سطحه.
- إذا وضع الحديد في حمض كبريتك معين فإنه يتلاشى داخل المحلول (يتأكسد ويذوب) و يتصاعد غاز الهيدروجين وعند تبخير المحلول تترسب بلورات من كبريتات الحديدوز (F_eSO_4)

2- بعض التعريفات الهامة

- الآنود (المصعد - القطب السالب) Anode: معدن له مستوى طاقة منخفض طبقاً لترتيبه في السلسلة الكهروكيميائية وتنساب منه الإلكترونات وهو الجسم الذي يحدث به التآكل.

- الكاثود (المهبط - القطب الموجب) Cathode: معدن له مستوى طاقة عالٍ طبقاً لترتيبه في السلسلة الكهروكيميائية وتنساب إليه الإلكترونات من خلال سلك التوصيل وهو الذي يتم عليه الترسيب.

- الوسط الإلكتروليتي: هو الذي يسمح بمرور الإلكترونات خلاله من المصعد إلى المهبط (من الآنود إلى الكاثود) وهو عبارة عن ماء ملحي، محاليل أحماض، تربة، الخ....

- الوصلة العازلة: هي وصلة من مادة عازلة كهربائياً بين جزئين من الخط الموصل للكهرباء، تمكننا من منع استمرار التوصيل الكهربي بينهما.

- الموصل: هو الجزء الذي ينساب فيه التيار الكهربائي عن طريق حركة الإلكترونات من الآنود إلى الكاثود. هناك نوعان من الموصلات: الموصل الالكتروني وهو المعدني، والموصل الأيوني وهو المحلول.

- الخلية: هي دائرة كهربائية كاملة تتضمن الآنود والكاثود موضوعين في وسط موصل ومتصلين بموصل معدني.

- السلسلة الكهروكيميائية: هي ترتيب المعادن المختلفة طبقاً للجهد الكهربائي الطبيعي لها من الأكبر إلى الأصغر، أو هي ترتيب المعادن طبقاً لمدى مقاومتها للتآكل في ظروف معينة، وكل معدن في هذه السلسلة يكون مصعد (Anode) للمعادن السابقة له في السلسلة الكهروكيميائية كما هو موضح في الجدول (1.7).

3- **التآكل الكهروكيميائي للمعادن** (Electro-chemical Corrosion of Metal)

ينشأ هذا النوع من التآكل نتيجة ظهور التيار الكهربائي بسبب التفاعل بين المعدن والالكترونات المحيطة به. مثال على ذلك تآكل خزانات النفط بأنواعها وأنابيب نقل النفط وغيرها من السبائك في الجو الرطب و ماء البحر والأحماض و المحاليل الملحية وفي الأرض. تنفصل الكاتيونات (الأيونات الموجبة) عن سطح المعدن وتنتقل إلى الوسط المجاور الذي يسمى الإلكتروليت. يسمى فرق الجهد المتكون عند سطح تلامس المعدن مع الالكتروليت بالجهد القطبي وهو الدال على مدى ميل المعدن للذوبان، وتتوقف قيمته أساساً على تركيب الالكتروليت. يحدد الجهد القطبي للمعادن تجريبياً بمقارنته بجهد الهيدروجين الذي نعتبره مساوياً للصفر. المعادن تختلف بجهدها القطبي، فهناك معادن سالبة الجهد وأخرى موجبة مقارنة بالقطب الهيدروجيني. المعادن ذات الجهد الموجب (فوق صفر الهيدروجين) قابليتها للتآكل قليلة والمعادن ذات الجهد السالب (تحت صفر الهيدروجين) تكون أكثر قابلية للتآكل كلما كان جهدها سالباً كما هو موضح في الجدول (1.7).

	المعدن	الجهد المعياري
	$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	+ 1.420
	$Pt^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pt$	~ + 1.2
	$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag$	+ 0.800
أكثر خمولاً (كاثود)	$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$	+ 0.340
	$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb$	- 0.126
	$Sn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Sn$	- 0.136
	$Ni^{2+} + 2e^- \longrightarrow Ni$	- 0.250
	$Co^{2+} + 2e^- \longrightarrow Co$	- 0.277
	$Cd^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cd$	- 0.403
أكثر فاعلية (أنود)	$Fe^{2+} + 2e^- \longrightarrow Fe$	- 0.440
	$Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr$	- 0.744
	$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$	- 0.763
	$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$	- 1.662
	$Mg^{2+} + 2e^- \longrightarrow Mg$	- 2.363
	$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$	- 2.714
	$K^+ + e^- \longrightarrow K$	- 2.924

الجدول (1.7) السلسلة الكهروكيميائية للمعادن

نستنتج الجهد القطبي القياسي (E_0) من ذوبان المعدن إلى أيون حسب التفاعل التالي:

معدن ← أيون + إلكترونات

$$Metal \rightarrow Ion + Electrons$$

مثال

$$Ag \rightarrow Ag^+ + e^- \qquad E_0 = +0.799V$$

$$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^- \qquad E_0 = -0.277V$$

إذا كان التفاعل بالاتجاه المعاكس، فإن الجهد القطبي القياسي E_0 تتحول إشارته.

مثال:

$$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe \qquad E_0 = +0.440V$$

المعادن النقية والسبائك وحيدة الطور تقاوم التآكل جيداً، أما السبائك التي تتكون بنيتها من عدة أطوار ذات جهود مختلفة فهي عبارة عن عمود كهربائي متناهي الصغر كثير الأقطاب ولذا فهي سهلة التآكل. على سبيل المثال عند تلامس الحديد مع الزنك (طلاء الحديد بالزنك وتسمى عملية الجلفنة) يتآكل الزنك أي أنه يكون هو المصعد (anode) في حين لا يتآكل الحديد لأنه يصبح المهبط (cathode).

يمكن أن يكون المعدن إيجابياً أو سلبياً بالنسبة لتأثير الوسط، وتتحدد إيجابية المعدن بتآكله في وسط التآكل في بعض من المعادن مثل الألمنيوم والكروم عند حصول الأكسدة حيث تتكون طبقة من الأكاسيد تعمل على حماية المعدن من استمرارية التآكل.

1-3 ميكانيكية التآكل

لكي يحدث تآكل، هناك شروط يجب توفرها لتكوين خلية التآكل، وهذه الشروط هي:

أ- لابد من وجود قطبي التفاعل (الآنود - الكاثود).

ب- لابد من وجود فرق جهد كهربائي بين الآنود والكاثود لا يقل عن 50 ميلي فولت (هذا الفرق يتولد نتيجة لعدة أسباب مثل اختلاف التركيزات أو اختلاف المواد أو اختلاف نسب الأكسجين، الخ...).

ج - لابد من وجود اتصال معدني أو مادي بين الآنود والكاثود الذي يساعد على مرور التيار الكهربائي من خلاله.

د- لابد من وجود وسط ينغمس فيه كلا من الآنود والكاثود، ويجب أن تتوفر في هذا الوسط الموصلية الكهربائية (الإلكتروليت).

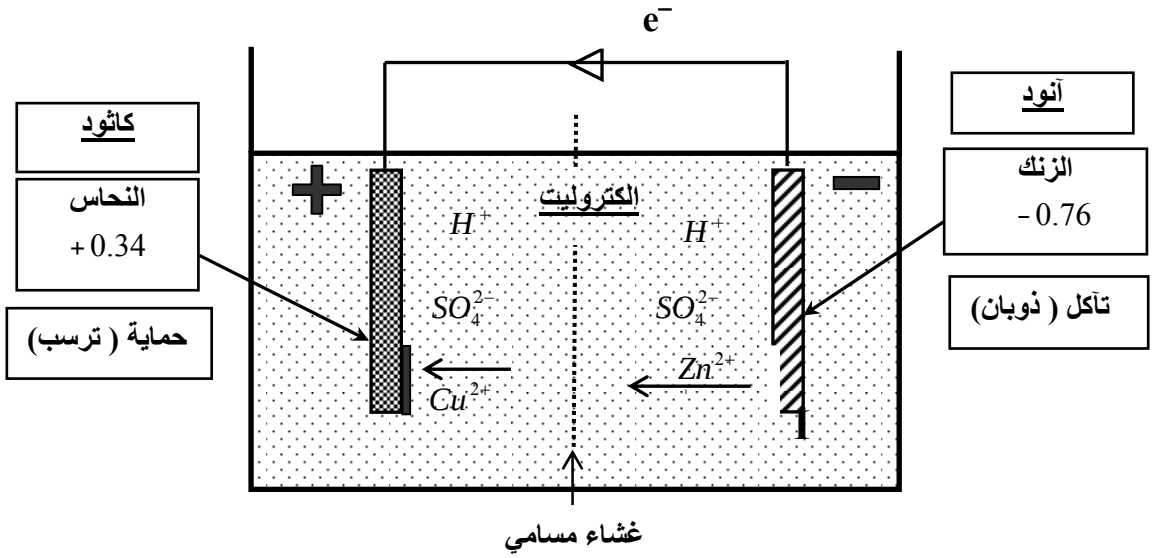
في حالة توفر هذه الشروط مجتمعة تتكون خلية التآكل ويبدأ المعدن في التآكل، وعلى هذا الأساس تبنى نظريات منع التآكل بإحداث خلل في أحد الشروط السابقة.

2-3 الخلية الجلفانية (Galvanic Cell)

تتكون الخلية الجلفانية عندما يتصل فلزان مختلفان ببعضهما البعض اتصالاً كهربائياً وذلك بعد غمرهما في محلول إلكتروليتي، حيث يمثل المصعد في هذه الخلية الفلز ذو جهد القطب المنخفض الذي يسهل مهاجمته وبمجرد ذوبانه، يترسب على المهبط كمية كهروكيميائية معادلة من الفلز أي أن المصعد يذوب بينما يتم حماية المهبط. يصاحب ذوبان المصعد في المحلول وتحوله إلى أيونات، تحرير عدد من الإلكترونات التي يمكن أن تسري بتوصيل كهربائي خارجي إلى المهبط وتعادل الأيونات الموجبة المترسبة عليه من المحلول.

مثال

عند غمس قضيبين، الأول من معدن الزنك في وسط إلكتروليتي مكون من أيونات الزنك الموجبة Zn^{2+} وأيونات سالبة SO_4^{2-} وأيونات موجبة H^+ ، والثاني من معدن النحاس في وسط إلكتروليتي مكون من أيونات Cu^{2+} و SO_4^{2-} و H^+ وعند توصيل القضيبين خارجياً بسلك موصل للكهرباء، تنساب الإلكترونات (e^-) سالبة الشحنة خلال سلك التوصيل من قضيب الزنك الذي يصبح آنود (Anode) إلى قضيب النحاس الذي يصبح كاثود (Cathode) كما هو موضح في الشكل (1.7). ذلك لأن الزنك له ميل أكبر لفقدان الإلكترونات (جهده القطبي أقل من النحاس). للاحتفاظ بحالة التوازن، ينساب أيون موجب الشحنة (Zn^{2+}) في الوسط الإلكتروليتي من قضيب الزنك وهكذا يحدث تآكل في قضيب الزنك ويحدث ترسب على قضيب النحاس كما هو مبين في الشكل (2.7). تجدر الإشارة هنا أن الأيونات Zn^{2+} و Cu^{2+} نحصل عليها من الأملاح المعدنية والأيونات SO_4^{2-} و H^+ نحصل عليها من الحامض الكبريتي.



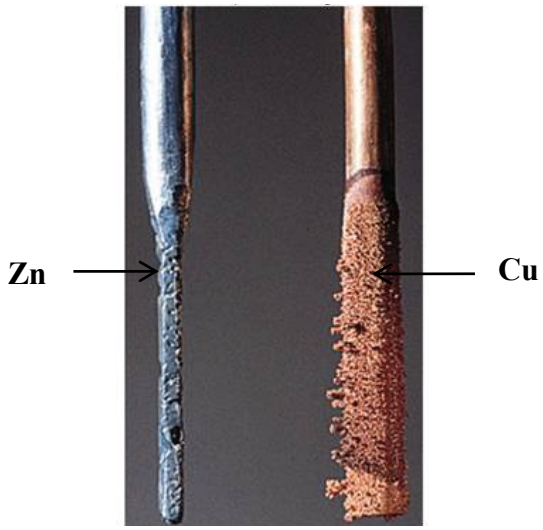
الشكل (1.7): الخلية الجلفانية للزنك والنحاس

ظاهرة فقدان الإلكترونات من القطب السالب Zn وبالتالي ذوبان الزنك في المحلول (التآكل) تسمى بعملية الأكسدة (Oxidation) وظاهرة كسب إلكترونات للأيونات Cu^{2+} وترسبها على شكل معدن Cu على القطب الموجب تسمى بعملية الاختزال (Reduction). يمكن تمثيل ذلك بالمعادلات الكيميائية التالية:

معادلة الأكسدة لمعدن الزنك $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$

معادلة اختزال النحاس $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$

المعادلة الكلية $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$



الشكل (2.7): قطب النحاس Cu عليه ترسب وقطب الزنك Zn متآكل

لحساب القوة الكهربية الدافعة (Electromotive force) التي تعبر عن الجهد الكهربي المولد من هذه الخلية الجلفانية من المعادلة الكلية، فإننا نجمع جهد القطب القياسي للآنود مع جهد القطب القياسي للكاثود. في المثال السابق:

$$E^0_{Zn} = -0.76V$$

$$E^0_{Cu} = +0.34V$$

و بما أن إلكترون النحاس في حالة اختزال، إذن نغير إشارته، وبذلك نحصل على القوة الكهربية الدافعة (e.f.m.) كما يلي:

$$e.f.m. = -0.76 - 0.34 = -1.10V$$

3-3 العوامل المؤثرة في اختلاف جهد المعدن

هناك عوامل تخص المعدن وعوامل تخص المحلول الإلكتروليتي

أ-عوامل تخص المعدن و هي:

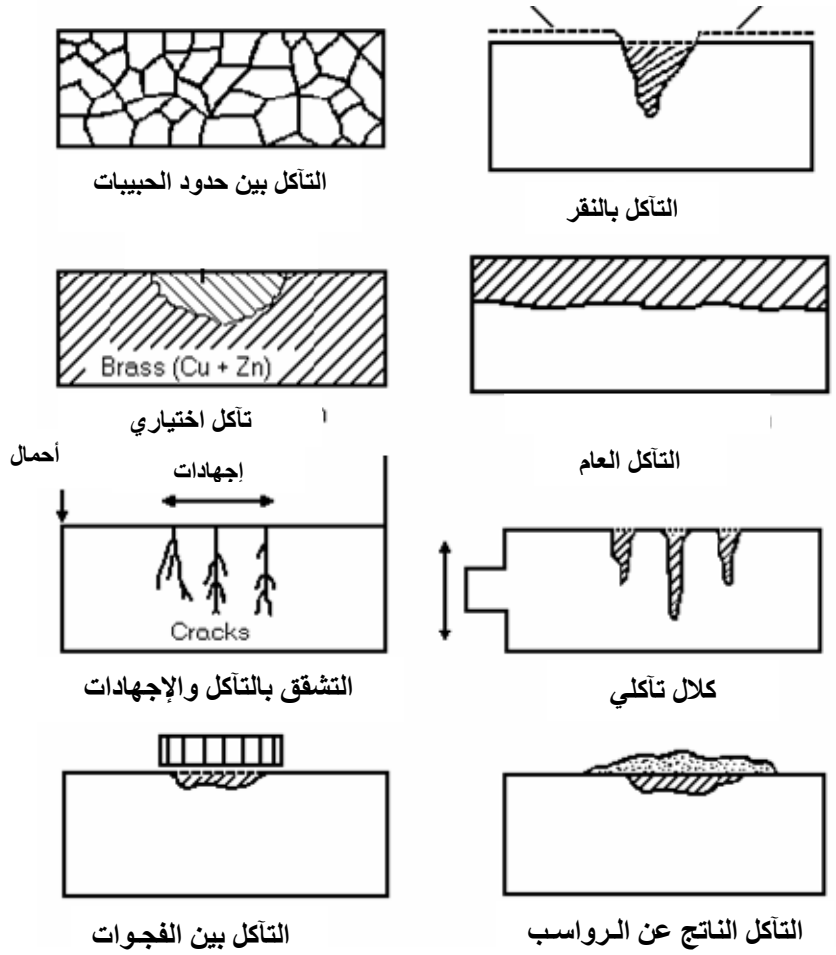
- طبيعة المعدن (موقعه في السلسلة الكهروكيميائية).
- تشطيب السطح.
- درجة حرارة المعدن.

ب-عوامل ترجع إلى المحلول (الإلكتروليت):

- درجة تركيز المحلول.
- درجة حرارة المحلول.
- اختلاف التهوية.

4- أنواع التآكل

أنواع التآكل كثيرة، موضحة في الشكل (3.7) وهي كما يلي:



الشكل (3.7): نماذج لأهم أنواع التآكل

1- التآكل العام GENERAL CORROSION

يطلق عليه التآكل المنتظم. هنا، معدل التآكل يعتبر ثابت على الأسطح الداخلية والخارجية للمعدات بأنواعها سواء كانت خطوط أو أوعية ضغط أو مواسير أو غيرها. يقاس معدل التآكل بنقصان سمك المعدن عن سمكه الأصلي.

2- التآكل الجلفاني GALVANIC CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل عند اتصال كهربائي لمعدنين مختلفين في الجهد الكهربي بواسطة محلول إلكتروليتي. يشكل أحد المعدنين منطقة آنود والآخر منطقة كاثود، ويمكن معرفة ذلك بدراسة السلسلة الكهروكيميائية (GALVANIC SERIES) حيث يبين الجدول (1.7) أن القطب الذي يكون موجب هو الكاثود ويحدث عليه الترسب والآخر أي السالب هو الآنود و يظهر عليه التآكل.

3- التآكل بين الفجوات CREVICE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل في الفجوات الصغيرة الموجودة بين معدنين مثل فجوات المسامير المقلوظة حيث يكون تركيز الأكسجين في تلك الفجوات محدود (آنود) بينما السطح الخارجي يكون (كاثود) به تركيز عالٍ من الأكسجين مما يؤدي إلى حدوث تآكل لتلك الفجوات (الآنود).

4- التآكل بالنقر PITTING

التآكل بالنقر هو عبارة عن هجوم موضعي سريع ينشأ عند تكون تجويف داخل المعدن الغير معرض للتآكل مما يؤدي إلى وصول الثخانة في بعض المناطق إلى الصفر، يؤدى إلى حدوث ثقوب عديدة نتيجة تعرض المعدن لأوساط شديدة التآكل. يحدث هذا النوع من التآكل في أنواع عديدة من الحديد الذي لا يصدأ ، كما يحدث التآكل بالنقر عادة في المعادن التي تظهر فيها ظاهرة الخمول أو التي تغطى بطبقة من الأكسيد حيث يحدث بها خدش ينتج عنه مساحة آنودية صغيرة وتكون المساحة الكاثودية كبيرة ويكون تيار التآكل عالٍ مما يؤدي لتآكل السطح.

5- التآكل الاختياري SELECTIVE CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل فقط بالنسبة للسبائك التي تتكون من معدنين أو أكثر. يبدأ التآكل بسبب اختلاف موضعي في التركيب، ونتيجة لذلك يبقى المعدن الأكثر كاثودية بينما يتآكل المعدن الأكثر آنودية. مقاومة السبيكة للتآكل تعتمد على تركيبها وتزداد هذه المقاومة بزيادة تركيز المعدن الأكثر كاثودية في السبيكة.

6- التآكل المصاحب بعامل ميكانيكي EROSION-CORROSION

يحدث نتيجة قوى القص والاحتكاك بين السائل والمعدن، ويرجع هذا النوع من التآكل إلى تأثير الفعل الميكانيكي للسائل على المعدن.

7- التآكل تحت سطح الماء UNDER WATER CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل تحت مستوى سطح الماء مباشرة للمعادن المغمورة في الماء أوالتربة، وهذا ناتج عن اختلاف تركيز الأكسجين على السطح منه عن داخل الماء (حيث المناطق المغمورة في الماء تعتبر آنود بالنسبة للمناطق ذات التركيز العالي من الأكسجين).

8- التآكل الناتج عن الرواسب DEPOSIT CORROSION

يحدث هذا النوع من التآكل نتيجة وجود رواسب على أجزاء المعدن التي تحجب جزء منه عن الأكسجين مما يؤدى إلى تكوين خلية التركيز بالأكسجين. يحدث هذا النوع من التآكل في الأماكن التي يوجد عليها الرواسب (ذات التركيز الأكسجين المنخفض).

9- التآكل بين حدود الحبيبات INTERGRANULAR CORROSION

يحدث نتيجة عيوب في التركيب الدقيق للفلز في مناطق معينة، خاصة عند حدود الحبيبات (Grain Boundaries) حيث تكون هذه المناطق نشطة مقارنة ببقية المناطق. يحدث هذا النوع من التآكل غالباً عند مناطق وجود الشوائب في الفلز أو عند إضافة كمية ضئيلة من فلز آخر لتكوين سبيكة.

5- حساب معدل التآكل

5-1 حالة التآكل العام

بمعرفة ساعات التشغيل يمكن قياس معدل التآكل كل فترة زمنية معينة، وبمقارنتها بمعدل التآكل السنوي يمكن معرفة الحالة العامة للمعدن أو السبيكة. يحسب معدل التآكل في هذه الحالة بالعلاقة التالية:

$$\text{معدل التآكل} = (\text{السمك الأصلي} - \text{السمك الحالي}) \times \frac{7900}{\text{فرق عدد ساعات التشغيل بين القياسين}} \quad \text{مم/السنة}$$

مثال:

احسب معدل التآكل لماسورة معدنية بياناتها كالتالي:

أ- السمك الأصلي = 9 مم بعد عدد ساعات تشغيل تساوي 72600 ساعة.

ب- السمك الحالي = 5 مم بعد عدد ساعات تشغيل تساوي 96600 ساعة.

الحل:

$$\text{معدل التآكل} = (9 - 5) \times \frac{7900}{9660072600 -} = \frac{7\,900 \times 4}{24000} = \frac{316}{240} = 1.317 \quad \text{مم/السنة}$$

للمقارنة، هذه بعض معدلات التآكل القياسي للمواسير:

أ- إذا كان معدل التآكل أقل من 0.05 مم/السنة، تعتبر مقاومة التآكل ممتازة.

ب- إذا كان معدل التآكل يتراوح بين 0.05 مم/السنة و 0.5 مم/السنة، تعتبر مقاومة التآكل جيدة.

ج- إذا كان معدل التآكل يتراوح بين 0.5 مم/السنة و 1.5 مم/السنة، تعتبر مقاومة التآكل ضعيفة.

كذلك يمكن حساب العمر المتبقي للمواسير وهو عدد ساعات التشغيل اللازمة قبل وصول السمك إلى أقل سمك مسموح به، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{العمر المتبقي للماسورة} = \frac{\text{السمك الحالي للماسورة - أقل سمك مسموح}}{\text{معدل التآكل}} \quad \text{(بالسنة)}$$

مثال:

ماسورة سمكها الحالي 5 مم وأقل سمك مسموح به يساوي 4 مم ومعدل تآكلها السنوي يساوي 1.31 مم/السنة. المطلوب حساب العمر المتبقي لها.

الحل:

$$\text{العمر المتبقي للماسورة} = \frac{4 - 5}{1.31} = \frac{1}{1.31} \quad \text{سنة} = 0.76$$

2-5 حالة التآكل الكهروكيميائي

لحساب معدل التآكل في حالة التآكل الكهروكيميائي، نستعمل قانون معدل اختراق التآكل (Corrosion Penetration Rate) الشائع الاستعمال، ويرمز إليه اختصاراً بـ CPR، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$CPR = \frac{K \times W}{\rho \times A \times t}$$

حيث:

W : الوزن المفقود من عملية التآكل (مقدراً بالمليجرام : mg)

t : الزمن اللازم لفقدان الوزن (مقدراً بالساعات : h)

ρ : كثافة المعدن (مقدرة بالجرام/سم3 : gm/cm^3)

A : المساحة السطحية للمادة المتعرضة للتآكل (مقدرة بالسم2 : cm^2)

K : مقدار ثابت، وباعتماد الوحدات المشار إليها، فإن الثابت K يساوي 87.6، وتكون وحدة معدل اختراق التآكل هي: مم/السنة $\left(mm/year\right)$

مثال

فلز من معدن الحديد على شكل مكعب، طول ضلعه 1 سم، وضع على إحدى قواعده في محلول إلكتروليتي لمدة من الزمن تساوي 200 ساعة. إذا كان الوزن المفقود يساوي 0.2 جرام خلال هذه الفترة، احسب معدل اختراق التآكل علماً أن كثافة الحديد تساوي 7.87 جرام/سم3

الحل:

نطبق قانون معدل اختراق التآكل

$$CPR = \frac{K \times W}{\rho \times A \times t}$$

حيث W = 20 مليجرام، ρ = 7.87 جرام/سم3، t = 200 ساعة، K = 87.6

أما المساحة الكلية المعرضة للتآكل A فهي تساوي مساحة خمسة أوجه المكعب، ذلك لأن الوجه السادس هو القاعدة التي يرتكز عليها المكعب داخل المحلول ولا تعد من الأوجه المعرضة للتآكل وبالتالي فإن المساحة السطحية المعرضة للتآكل A تساوي 5 **X** 1 = 5 سم^2. معدل اختراق التآكل يساوي إذن:

$$CPR = \frac{87.6 \times 200}{7.87 \times 5 \times 200} = 2.23 \quad mm/year$$

أي 2.23 مم/السنة

6- طرق تجنب التآكل

لا يمكن من الناحية العملية منع التآكل منعاً تاماً إلا باحتياطات وتحت ظروف قاسية لا يسهل إيجادها، إلا أنه يمكن تحسين مقاومة الفلزات والسبائك للتآكل بوسائل عديدة، وبالتالي يمكن حماية المنشآت الصناعية وإطالة عمرها، وهذه بعض الطرق الهامة المتبعة:

6-1 اختيار التصميم المناسب

يتم ذلك عن طريق:

أ- البساطة في التصميم.

ب- تجنب تكوين الخلايا الجلفانية.

ج- تجنب الرطوبة.

الشكل (4.7) يعطينا مثال عن كيفية اختيار التصميم المناسب لماسورة نقل السوائل وذلك بهدف تفادي التآكل مع مرور الزمن.

الشكل (4.7): أ- تصميم صحيح ب- تصميم خاطئ

2-6 تعديل نوعية المعدن

يتم ذلك عن طريق:

أ- إزالة العناصر المضادة المسببة للتآكل.

ب- إضافة العناصر المحسنة لمقاومة التآكل.

ج- إتمام عمليات المعالجة لإزالة الإجهادات التي تنتج عن أعمال اللحام مثلاً.

3-6 تعديل وتغيير وسط التآكل

و يتم ذلك عن طريق:

أ- إزالة الأملاح عن طريق أعمال التأين.

ب- إزالة الأحماض بإضافة الجير والمواد القلوية.

ج- تقليل نسبة تواجد الأكسجين بإضافة موانع التآكل (مثل كلوريد الصوديوم والأمونيا والمواد الكيماوية المقاومة لعملية التآكل).

4-6 التغطية

الغرض من التغطية هو تكوين غشاء مكون من مادة عازلة للكهرباء على سطح المعدن المراد حمايته عن الوسط الإلكتروليتي الملامس له والمحيط به وكذلك اعتراض الدائرة (الآنودية - الكاثودية) عن طريق ذلك الغشاء ذو المقاومة الكهربائية العالية، وبالتالي يضمحل بل ويكاد يتلاشى تيار التآكل. يجب التأكد هنا من الخصائص التالية لمواد التغطية بأن تكون:

- جيدة التلاصق.
- تقاوم إجهادات التربة.
- لها مقاومة ضد الماء.
- لها مقاومة كهربائية عالية.

كما أن طرق التغطية بالتغليف أنواع منها:

أ- التغطية بشرائط البلاستيك: تستعمل لتغطية المواسير المدفونة تحت الأرض ونستعمل عادة شرائط بلاستيك مصنوعة من البولى إيثلين عالٍ ومنخفض الكثافة، وكذلك شرائط قطران الفحم.

ب- التغطية بالدهانات: يوجد بها نوعان: الأغطية العضوية (البويات المانعة للتآكل) وزجاج السيراميك (الأغطية الغير معدنية الغير عضوية).

5-6 التغليف المعدني

هي طريقة أثبتت جدارتها للتغطية والوقاية الخارجية للسطوح في حالات الرطوبة العالية وفي الوقاية من العوامل الجوية وفي المنشآت البحرية. من أشهرها عملية الجلفنة. تتم بغمر المعدن المراد حمايته في مصهور فلز الزنك حيث أن الجلفنة تعتمد في المقام الأول على أن الزنك يحتل مكاناً متقدماً في ترتيب الفلزات بالنسبة لجهد القطب القياسي.

6-6 الحماية الكاثودية

تستعمل هذه الطريقة لحماية المنشآت المدفونة تحت الأرض أو المغمورة تحت الماء. عند عمل حماية كاثودية باستخدام الخلية الجلفانية يعرف هذا بنظام الآنودات التفضيلية، كما تسمى كذلك الآنودات الجلفانية وتصنع من معادن أو سبائك سالبة الشحنة بالنسبة للمنشأ المعدني المطلوب حمايته، بمعنى آخر فإنها أقرب إلى النهاية الآنودية في السلسة الجلفانية. عند دفن المنشأة المعدنية التي نريد حمايتها يتم توصيلها بسلك موصل للكهرباء إلى قطب الآنود الذي يصبح الآنود للخلية الجلفانية ويتآكل حيث يتولد تيار كهربائي والمنشأة المعدنية تصبح كاثوداً ويتم حمايتها من التآكل. فكما هو معلوم عندما يحصل تآكل أي أكسدة للحديد، يحصل تفاعل كهروكيميائي حسب الصيغة التالية:

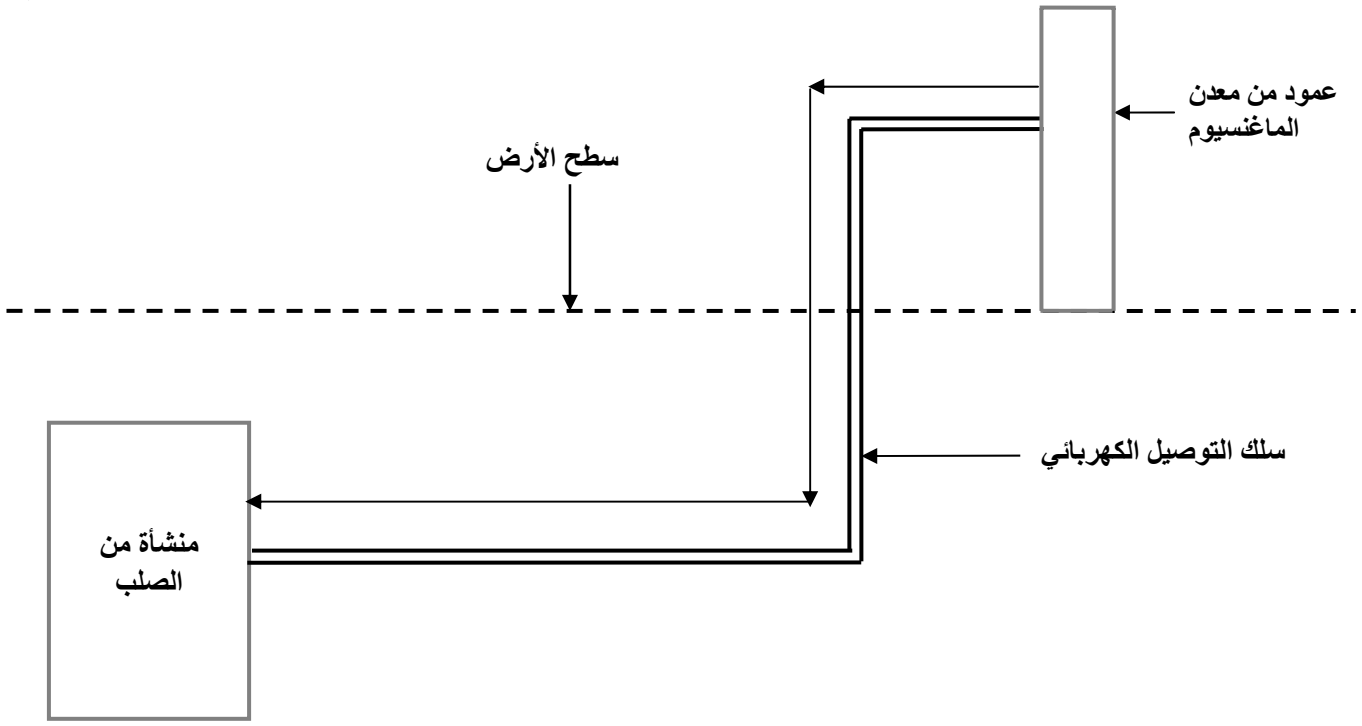
$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

و إذا زودنا هذا الحديد بإلكترونات إضافية فإنه لا يتآكل وبالتالي تتم حمايته. عملية ضخ الإلكترونات للحديد تتم بإحدى الطريقتين:

أ- استخدام مصدر مولد للطاقة الكهربائية ليعطي تياراً كهربائياً.

ب- استخدام معدن أكثر آنوديا من الحديد مثل الماغنسيوم.

الشكل (5.7) يوضح كيفية استعمال طريقة الحماية الكاثودية لحماية منشأة الصلب المدفونة تحت الأرض. هنا عمود الماغنسيوم هو الذي يصبح آنود ويضخ الإلكترونات ويتآكل بدل منشأة الصلب وبالتالي يتم حمايتها من التآكل.



الشكل (5.7): طريقة الحماية الكاثودية

أسئلة تحريرية

السؤال الأول

ضع علامة (نعم) أمام الإجابة الصحيحة و علامة (لا) أمام الإجابة الخاطئة:

1- يعرف التآكل بأنه التلف الجزئي الذي يحدث للمعدن ( )
2- لا يؤثر تركيز الأملاح على معدل تآكل المنشآت ( )
3- لا تتعرض أنابيب الغاز تحت الأرض إلى التآكل ( )
4- يكلف التآكل أموالاً باهظة لمقاومته ( )
5- الوسط الإلكتروليتي يوصل التيار الكهربائي من الآنود إلى الكاثود ( )
6- السلسة الكهربائية هي ترتيب المعادن طبقاً لجهدها الكهربائي الطبيعي ( )
7- الجهد القطبي للكاثود أعلى من الجهد القطبي للآنود ( )
8- تتكون الخلية الجلفانية عندما يتصل معدنان مختلفان ببعضهما عبر وسيط إلكتروليتي ( )
9- الحماية الكاثودية هي إحدى الطرق لتجنب التآكل ( )
10- التآكل المصاحب بعامل ميكانيكي سببه قوى الاحتكاك بين المعدن والسائل ( )
11- التغطية بشرائط البلاستيك هي إحدى الطرق لتجنب التآكل ( )

السؤال الثاني

اختر الإجابة الصحيحة لكل ما يلي:

1- المحلول الإلكتروليتي هو:
أ- المحلول الذي يوصل الكهرباء عن طريق حركة الأيونات
ب- محلول وتوجد فيه إلكترونات
ج- ماء مقطر

2- كلما زاد الجهد القطبي:

أ- قلت الأيونات في المحلول

ب- فقدت ذرات أكثر من الفلز

ج- زادت الإلكترونات في الفلز

3- المعادن الخاملة هي:

أ- معادن معرضة للتآكل أكثر

ب- عدد الإلكترونات في مدارها الأخير أكثر من أربعة

ج- معادن أكثر عرضة للتآكل

4- الألمنيوم لا يتآكل بسهولة لأنه:

أ- معدن خامل

ب- معدن نشيط

ج- لديه أربعة إلكترونات في المدار الأخير

5- الحماية ضد التآكل بالطلاء هي:

أ- وسيلة لعزل المعدن عن وسط التآكل

ب- وسيلة لتزويد المعدن بالإلكترونات

ج- تغطية المعدن لمقاومة للتآكل

6- الكاثود هو:

أ- الجسم الذي يحدث به تآكل

ب- الجسم الذي لا يحدث به تآكل

ج- الإلكتروليت

7- السلسلة الكهربائية هي ترتيب المعادن حسب:

أ- الجهد الكهربائي الطبيعي من الأكبر إلى الأصغر

ب- الكتلة الذرية

ج- درجة حرارة الانصهار

السؤال الثالث

املأ الفراغ بالكلمات المناسبة في العبارات التالية:

1- البيئة لها دور كبير في تنشيط..... إذا كانت تحمل عناصر ..... للتآكل. فمياه البحر مثلا فيها أكثر من سبعين عنصراً أهمها أيونات الكلورايد والصوديوم والكالسيوم والكبريتات، و هي تشكل أكثر من 99% بالوزن من الأملاح الذائبة وتعتبر مياه البحر بيئة .....

2- تتكون..... عنما يتصل فلزان مختلفان يبعضهما البعض اتصالاً كهربائياً بعد غمرهما في محلول.....، حيث يمثل المصعد في هذه الخلايا الفلز ذو جهد القطب المنخفض حيث يسهل مهاجمته و بمجرد ذوبانه يترسب على .....كمية كهر وكيمائية معادلة من الفلز.

3- عند غمس قضيبين، الأول من معدن النحاس و الثاني من الحديد في وسط موصل للكهرباء، وعند توصيل القضيبين خارجياً بسلك موصل للكهرباء، تنساب الإلكترونات (e^-) سالبة الشحنة خلال سلك التوصيل من قضيب .....، الذي يصبح آنود (Anode) إلى قضيب ..... الذي يصبح كاثود (Cathode).

4- التآكل..... هو عبارة عن هجوم ..... سريع ينشأ عند تكوين تجويف داخل المعدن الغير معرض للتآكل مما يؤدي إلى وصول الثخانة في بعض المناطق إلى الصفر و يؤدى إلى حدوث ..... العديدة نتيجة تعرض المعدن لأوساط تآكل شديدة و يحدث هذا النوع دائماً في أنواع عديدة من .....

5- ..... هي طريقة الغرض منها تكوين غشاء متصل من مادة عازلة ..... على سطح ..... المراد حمايته عن الوسط الإلكتروليتي الملامس له و المحيط به و كذلك اعتراض الدائرة (الآنودية – الكاثودية) عن طريق ذلك الغشاء ذو المقاومة الكهربائية العالية و بالتالي يضمحل بل ويكاد يتلاشى ..... .

6- تتم ..... بغمر المعدن المراد حمايته في مصهور فلز الزنك و الجلفنة تعتمد في المقام الأول على أن الزنك يحتل مكاناً متقدماً في ترتيب الفلزات بالنسبة لجهد .....

السؤال الرابع

تتكون خلية جلفانية من إلكترود من الزنك Zn مغمور في محلول إلكتروليتي به أملاح الزنك $ZnSO_4$ و إلكترود من النيكل Ni مغمور في محلول إلكتروليتي به أملاح النيكل $NiSO_4$. الإلكترودين مع محاليلهما منفصلين بغشاء مسامي لمنع المحاليل من الامتزاج ببعضهما البعض ويوجد سلك معدني خارجي يوصل الإلكترودين ببعضهما البعض. المطلوب:

1- أعطي رسم لهذه الخلية الجلفانية.
2- على أي إلكترود تحدث عملية الأكسدة؟
3- على أي إلكترود تحدث عملية الاختزال؟
4- ماهي الإلكترود التي تتآكل؟
5- أي من الإلكترودين يحصل عليها الترسب؟
6- ما هو القطب الموجب وما هو القطب السالب للخلية الجلفانية؟
7- احسب القوة الكهربية الدافعة لهذه الخلية الجلفانية؟