

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

---

# الفصل الثاني

# التآكل

# CORROSION

---

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

### الفصل الثاني

### التآكل

### Corrosion

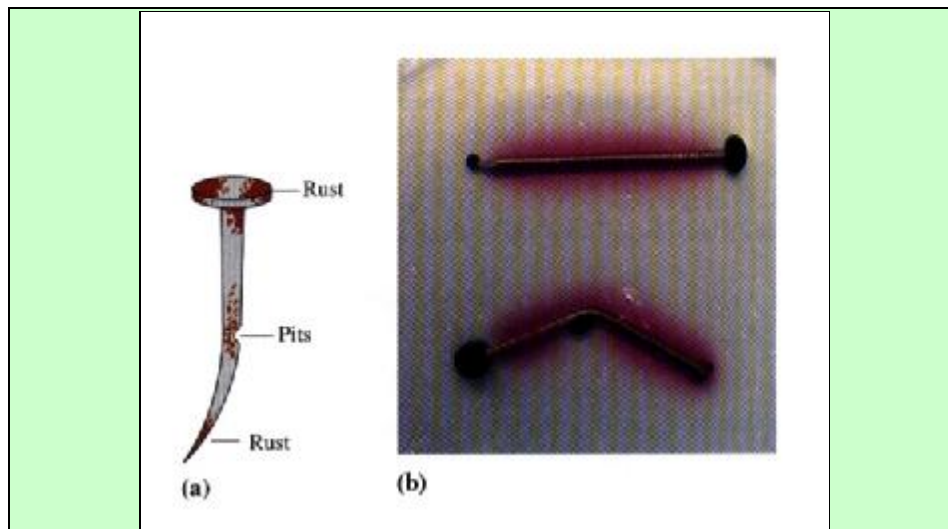
التآكل لفظ يستخدم لوصف الكثير من التغيرات التي تتعرض لها المعادن المختلفة، وفي معظم الحالات تتحول المعادن إلى مركبات (compounds) وتعجز أن تبقى في صورة العنصر النقي. ووجد أن ملايين الدولارات تنفق سنوياً بسبب تآكل المعادن لإحلال معادن حديثة مكان المعادن التي تآكلت (corroded) أو للمحافظة على المعادن من أن تتآكل.

### أمثلة توضيحية لتآكل المعادن :

- الحديد (Fe) المعرض لهواء رطب يتحول سطحه إلى أكسيد بني اللون.
- الحديد الموجود في ماء مالح مع وجود وفرة من الهواء يتحول إلى صدأ، وعامة نقول إن الحديد حدث له صدأ (rust)، ويتعلق هذا التغير بالتيارات الكهربائية السائدة خلال السائل.
- عندما يسخن الحديد في الهواء فإنه يصبح مغطى بحراشيف سوداء تتكون عادة من أكثر من أكسيد.
- إذا وضع الحديد في حمض كبريتيك مخفف فإنه يتلاشى داخل المحلول (يتأين - يتأكسد - يذوب) مع تصاعد غاز الهيدروجين، وعند تبخير هذا المحلول تترسب بلورات من كبريتات الحديدوز (FeSO<sub>4</sub>).

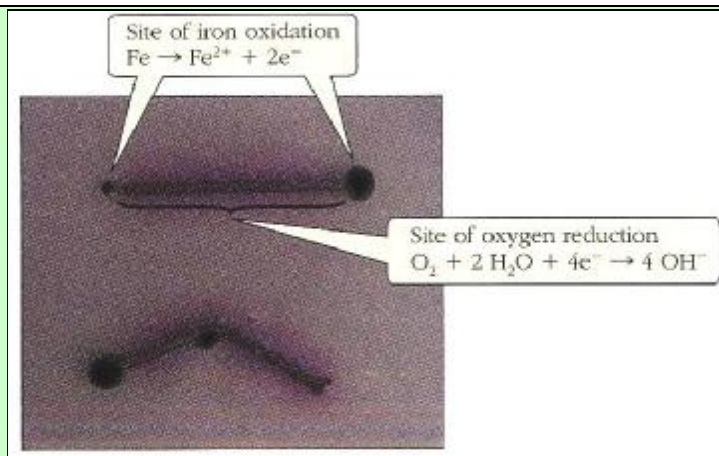
## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري



**Fig. 7 :**

- a) A bent nail corrodes at points of strain and "active" metal atoms.  
 b) Two nails were placed in an agar gel that contained phenolphthalein and potassium ferricyanide,  $K_3[Fe(CN)_6]$ . As the nails corroded they produced  $Fe^{2+}$  ions at each end and at the bend.  $Fe^{2+}$  ions react with  $[Fe(CN)_6]^{3-}$  ions to form  $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$ , an intensely blue-colored compound. The rest of each nail is the cathode, at which water is reduced to  $H_2$  and  $OH^-$  ions. The  $OH^-$  ions turn phenolphthalein pink.



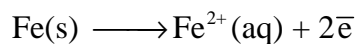
**Fig. 8 : Corroding iron nails.** Two nails were placed in an agar gel , which is also contained the indicator phenolphthalein and  $[Fe(CN)_6]^{3-}$ . The nails began to corrode and produced  $Fe^{2+}$  ions at the tip and where the nail is bent. (These points of stress corrode more quickly). These points are the anode, as indicated by the formation of the blue-colored compound called Prussian blue,  $Fe_3[Fe(CN)_6]_2$ . The remainder of the nail is the cathode, since oxygen is reduced in water to give  $OH^-$ . The presence of  $OH^-$  ions causes the phenolphthalein to turn pink.

## الفصل الثاني : التآكل

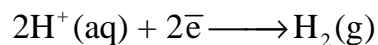
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

وتكون التفاعلات على النحو التالي :

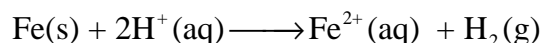
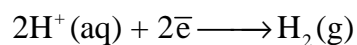
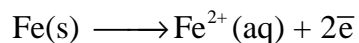
(أ) تأكسد الحديد ( تأينه - ذوبانه ) :



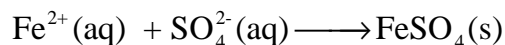
(ب) اختزال أيونات الهيدروجين :



ويكون التفاعل الكلي هو مجموع التفاعلين السابقين :



وعند التبخير تترسب بلورات كبريتات الحديدوز كما يلي :



- السفن التي تعبر المحيطات، والتي يصنع جسمها من معدن الحديد، يحدث له صدأ أو تآكل، وكذلك الجسور (bridges) المصنوعة من الصلب (steel) يحدث لها الشيء نفسه.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

وبالإضافة الى صدأ وتآكل الحديد والصلب توجد أمثلة عديدة توضح تفاعلات التآكل مثل :

- تحول معدن الفضة الى اللون الأسود في الهواء الجوي، وهذا اللون والتغير في المظهر يرجع إلى تحول الفضة إلى كبريتيد الفضة (Ag<sub>2</sub>S) من تفاعل الفضة مع الكبريت :



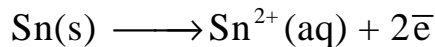
وهذا لا يعتبر فقدان خطير في المعدن ويمكن استعادة السطح الأولي للمعدن.

- تغير كل من النيكل (Ni)، وسبيكة النحاس مع الخارصين (Cu-Zn) والتي تعرف بالنحاس الأصفر (سبيكة براس (Brass))، وكذلك تحول معدن النحاس إلى اللون الأخضر (أكسيد النحاس II (CuO)).

- معلبات الفواكه التي تم طلاؤها من الداخل بالقصدير (tin plate) نجد أن مهاجمة الوسط الحمضي (acidic solution) الموجود داخل محتوى المعلبات للقصدير تكون نتيجته تصاعد غاز الهيدروجين وبالتالي يتولد ضغط الغاز وينتج في النهاية تكسير المعلبات.

وتكون التفاعلات في علبة الأغذية الفاسدة المطلية من الداخل بالقصدير على النحو التالي :

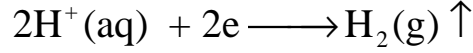
(أ) ذوبان القصدير نتيجة أكسدته :



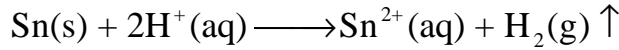
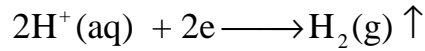
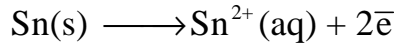
## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

(ب) تصاعد غاز الهيدروجين نتيجة اختزال أيونات الهيدروجين :



ويكون التفاعل الكلي هو مجموع التفاعلين :



إن التآكل عملية إتلاف للجسم الصلب بواسطة فعل كيميائي أو إلكتروليتي غير مقصود مبدئياً على سطحه. وينطبق هذا التعريف على المواد الفلزية وغير الفلزية، كما أن مصطلح التآكل يستعمل بدون اختلاف ليبدل على إتلاف وانهيار الفلزات.

أما المواد غير الفلزية فتنأثر فقط بفعل بعض العوامل الكيميائية المحددة وتحت ظروف معينة، وتكون عادة مقاومة لفعل أوساط التآكل الخفيفة مثل الماء والجو.

وتنفاوت جميع المواد الفلزية في درجة تأثرها بالتآكل، فبعضها يتأثر بشدة بفعل الماء والجو، والبعض الآخر يتأثر بدرجة أقل.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

وعلاوة على ذلك فإن التأثير على فلز ما يقع غالباً بفعل الكترولوكيميائي بسبب التركيب المميز للفلزات الذي يعلل ظواهر طبيعية مثل الحركة الحرة للإلكترونات في الشبكة البلورية لها.

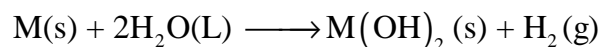
ولا تظهر المواد غير الفلزية مثل هذه الخواص، لكنها تتأثر فقط بالأوساط الأكالة القادرة على التفاعل كيميائياً معها تحت ظروف معينة.

وتوجد معظم الفلزات في الطبيعة بصورة تراكيب موحدة مثل الأكاسيد، الهيدروكسيدات، الكربونات، الكبريتيدات، السيليكات. ويتطلب استخلاص الفلزات من خاماتها كمية كبيرة من الطاقة.

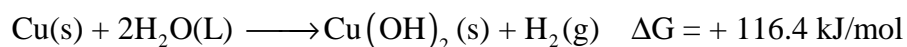
من هنا نستطيع الإستنتاج أن الفلزات المنفصلة (الموجودة على شكل عناصر) توجد في حالة طاقة أعلى من حالة الطاقة التي تتواجد عليها خاماتها المناظرة، وتظهر ميلاً طبيعياً للعودة الى حالة الطاقة الأدنى أو الحالة الموحدة (combined state). وهكذا يمكن اعتبار تآكل الفلزات عملية عكسية لعملية اختزال الفلزات من خاماتها.

ويمكن توضيح التآكل الكيميائي لفلز (M) يوجد في أوساط مائية بالتفاعل التالي :

- في غياب الأكسجين (محلول غير مهوى) :



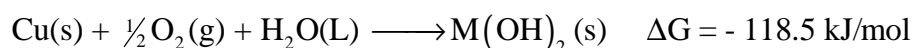
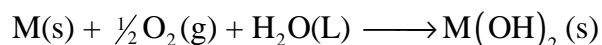
ومثاله :



## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

- في وجود الأكسجين (محلول مهوى) :



والرموز (s, L, g) ترمز للحالة الفيزيائية للمادة (solid, liquid, gas)

والشرط اللازم لحدوث التفاعل هو أن يكون التغير في الطاقة الحرة سالباً ( $\Delta G = -$ ). فإذا كان مقدار التغير في الطاقة الحرة موجباً ( $\Delta G = +$ ) عندئذ لا يقع التفاعل ولا يحدث التآكل.

ومن الديناميكا الحرارية يمكن كتابة المعادلة التالية :

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right)$$

حيث :

$\Delta G$  : التغير في الطاقة الحرة للتفاعل عند درجة الحرارة والضغط المختارين.

$\Delta G^\circ$  : التغير في الطاقة الحرة القياسية (standard) عندما تكون النواتج والمواد المتفاعلة في الحالة القياسية.

$a_{\text{reactants}}$ ,  $a_{\text{products}}$  : تدلان على فاعلتي النواتج والمواد المتفاعلة على

التوالي، وتعرف النسبة :  $\left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right)$  بثابت الإتزان.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

ويمكن كتابة المعادلة  $\left( \Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right) \right)$  عند الإتزان على

النحو التالي :

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

- وعند الإتزان فإن قيمة الطاقة الحرة ( $\Delta G$ ) :

$$\Delta G = 0$$

وبالتالي فإن العلاقة ( $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$ ) تؤول الى :

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

$$0 = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

$$\Rightarrow \Delta G^\circ = -RT \ln K$$

- وعندما تكون الفاعليتان للنواتج والمتفاعلات تساوي الوحدة :

$$\left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} = 1 \right)$$

فإن :

$$K = 1$$

وبالتالي فإن :

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln (1)$$

$$\Rightarrow \Delta G = \Delta G^\circ$$

حيث أن :

$$\ln 1 = 0$$

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

ويمكن كتابة العلاقة بين التغير في الطاقة الحرة للتفاعل الكيميائي والطاقة الكهربائية حسب المعادلة التالية :

$$\Delta G = - z E F$$

حيث :

E : القوة الدافعة الكهربائية للخلية الإلكتروكيميائية .

z : عدد الإلكترونات المشاركة في التفاعل

F : ثابت فاراداي، ويساوي (C 96487) وتقرب هذه القيمة إلى (C 96500).

ويمكن كتابة التغير في الطاقة الحرة القياسية ( $\Delta G^\circ$ ) على النحو التالي :

$$\Delta G^\circ = - n E^\circ F$$

حيث :

$E^\circ$  : تمثل القوة الدافعة الكهربائية المناظرة للطاقة الحرة القياسية ( $\Delta G^\circ$ ) التي عندها تكون فاعلية التفاعل لجميع النواتج والمواد المتفاعلة تساوي الوحدة، عند درجة حرارة (25 °C) وضغط (1 atm) والذي يساوي بالمقياس الدولي (101.325 kPa).

وعند تعويض المعادلتين ( $\Delta G = - z E F$ ) ، ( $\Delta G^\circ = - z E^\circ F$ ) في المعادلة

$$\left( \Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln \left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right) \right) \text{ أو المعادلة } (\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K) \text{ تنتج}$$

المعادلة التالية :

**الفصل الثاني : التآكل**

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln \left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right)$$
$$- z E F = - z E^{\circ} F + RT \ln \left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right)$$
$$\Rightarrow E = E^{\circ} - \frac{RT}{z F} \ln \left( \frac{a_{\text{products}}}{a_{\text{reactants}}} \right)$$

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

### مضار التآكل

من أجل الإحاطة بطريقة علمية بما يسببه التآكل من مضار وتعقيدات نأخذ على سبيل المثال قطعة فلزية تتآكل :

فنجد أنها تتآكل من على سطحها حيث أنه المجال الوحيد للتلامس مع الجو المحيط، وبالتالي فإن سمكها سوف يتناقص مما يؤدي إلى تناقص في خواصها الميكانيكية والذي يجب أن يؤخذ في الاعتبار أثناء عمليات التصميم وذلك عن طريق زيادة السمك لزيادة الزمن الفعلي الذي يمكن لهذه القطعة أن تخدم فيه بأمان قبل أن يكون من الضروري استبدالها بغيرها.

وهذا بطبيعة الحال :

§ يتطلب استخدام مواد إنشائية إضافية تجعل المنشأ أكثر كلفة

§ كما أنها تزيد من وزن المنشأ الفلزي وهذا بدوره يتطلب أساسات خاصة تؤدي إلى زيادة التكلفة الإجمالية للمنشأ.

وليس هذه هي السيئة الوحيدة للتآكل ولكن هناك العديد من المساوئ الأخرى ومنها :

§ نواتج عملية التآكل قد تتداخل مع السوائل الملامسة للفلز كما هو الحال في حالة تآكل المفاعلات الكيميائية مما يؤدي إلى اختلاط المنتج المطلوب مع نواتج عملية التآكل وهذا يؤدي بدوره إلى فقد هذه المنتجات لقيمتها نتيجة لتأثيرها على درجة نقاوتها، ويصبح هذا الأمر بالغ الأهمية في حالة تآكل السطح الفلزي من جميع أجزائه بمعدل غير ثابت فإن النتيجة الحتمية لذلك أنه تزداد درجة خشونة السطح لتلك الأنابيب إذ تتطلب زيادة خشونة السطح إلى صرف مزيد من الطاقة

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

لرفع السائل داخل هذه الأنابيب بنفس المعدل مما يقلل من كفاءة استخدام الطاقة وزيادة التكاليف المتحركة. كما أن نواتج عملية التآكل قد تتراكم في الصمامات مما يؤدي الى انسدادها.

§ تزداد مساوى التآكل عندما يصبح هذا الجزء أو ذاك من المنشأ الفلزي غير قادر على تأدية وظيفته مما يستوجب وقف المنشأ كلية عن العمل لاستبدال الجزء التالف بأخر جديد، وهذا يعني فقد العديد من ساعات الإنتاج وزيادة كلفة الإنتاج، كما يؤدي التآكل للخزانات إلى انسياب المنتجات وفقدائها ونشوء مشكلة تلوث.

§ أسوأ ما يمكن أن يتوقع من التآكل هو انهيار المنشأ ككل ودون سابق إنذار مما يترتب عليه أخطار جسيمة في المعدات والأرواح واندلاع للحرائق مما يؤثر على الحياة الإجتماعية والثروة الوطنية والأمن العام، كما أن منظر ومظهر الوحدات المتآكلة لا يسر العين.

مما سبق فإن التآكل شبح رهيب يهدد الإنجازات التي حققتها الحضارة الإنسانية الحديثة لذلك نجد أن البحوث المتقدمة قد نشطت للحد من التآكل طالما أنه من المستحيل وفقاً للقانون الثاني للديناميكا الحرارية إيقافه، وذلك للحفاظ على ما يملكه العالم من منشآت هندسية ووسائل للإنتاج. هذا بالإضافة الى أن إطالة عمر هذه المنشآت سوف يؤدي الى عدم ارتفاع تكلفة الإنتاج نتيجة لتحميلها أقساط استهلاك المنشآت الهندسية والتي تتآكل بسرعة في غياب تلك الحماية.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري

### مقاومة التآكل

لتلافي أضرار التآكل جد الباحثون (وما زالوا) في البحث عن السبل والوسائل التي يمكن بها إطالة عمر المنشآت الفلزية أو بعبارة أخرى الحد من خطر التآكل عليها.

**وتتخذ هذه المحاولات اتجاهات عدة أهمها :**

(١) استخدام فلزات أو سبائك فلزية ليس لها ميل كبير للتآكل غير أن هذا الإتجاه مرتبط بحدود معينة منها :

أ) قد يكون الفلز أو السبيكة الفلزية مناسبة من حيث الخواص التآكلية لكنها غير مناسبة من حيث الخواص الهندسية أي لا تملك القوة أو المتانة المطلوبة في حسابات التصميم.

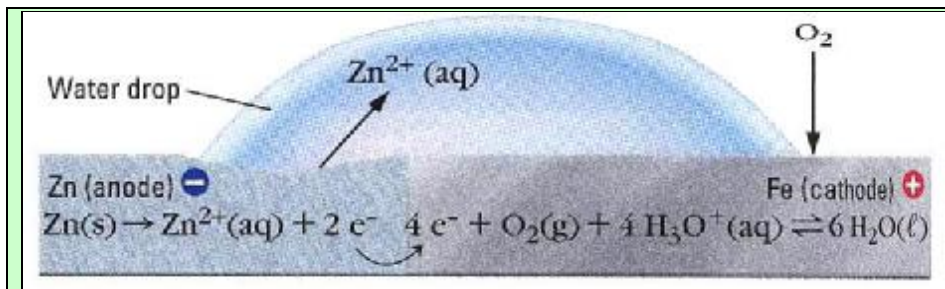
ب) هذه الفلزات أو السبائك قد تكون غالية الثمن مما يجعل استخدامها غير اقتصادي.

(٢) استخدام فلزات وسبائك فلزية رخيصة الثمن ذات قوى ميكانيكية ملائمة مع اتباع الوسائل لمنع تأكلها، ومن هذه الوسائل تغطية السطح الفلزي من حين الى آخر بطبقة فلزية أو عضوية أو غير عضوية لمنع ووقاية الفلزات من التآكل، ومن هنا فلا بد من رصد مبالغ ثابتة وباستمرار لمنع ووقاية الفلزات من التآكل.

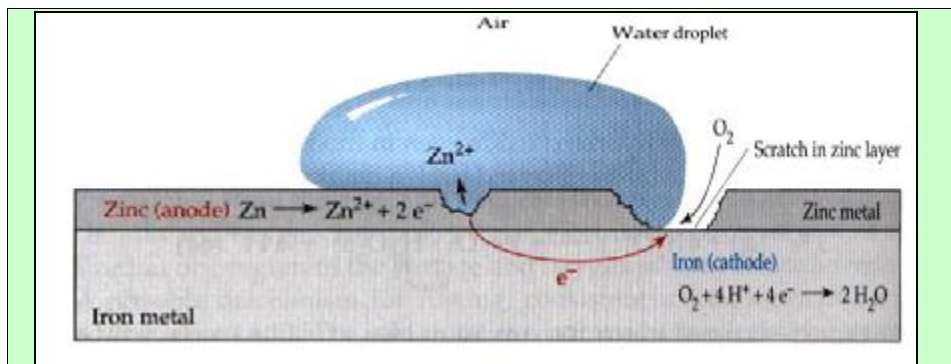
وسنتطرق لطرق الحماية من التآكل في الفصلين (٢٠، ٢١).

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي



**Fig. 9 :** Cathodic protection of an iron-containing object. The iron is coated with a film of zinc, a metal more easily oxidized than iron. The zinc acts as the anode and forces iron to become the cathode, thereby preventing the corrosion of the iron.



**Fig. 10 :** A layer of zinc protects iron from oxidation, even when the zinc layer becomes scratched. The zinc (anode), iron (cathode), and water droplet (electrolyte) constitute a tiny galvanic cell. Oxygen is reduced at the cathode, and zinc is oxidized at the anode, thus protecting the iron from oxidation.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

### مزيد من القراءة

Prevention of Corrosion **منع التآكل**

Corrosion Protection **الحماية من التآكل**

من الطرق العامة (general approaches) التي يمكن من خلالها منع التآكل :

(١) استخدام مثبطات التآكل (corrosion inhibitors)

تعريف المثبطات : هي مواد تعترض تدفق الشحنات (الكثرون أو أيون) المسببة للتآكل، وعملها يكون من خلال الإمتزاز (adsorption) على السطح المتآكل.

**(س) ما أنواع المثبطات؟**

(أ) مثبطات مصعدية (anodic inhibitors) : وهي التي تقلل من تأكسد المعدن (تنشيط العملية المصعدية anodic process).

أمثلتها : الكرومات، الفوسفات، الكربونات، بعض المركبات العضوية المحتوية على النيتروجين والكبريت.

(ب) مثبطات مهبطية (cathodic inhibitors) : وهي تعترض تفاعلات الإختزال الحادثة عند المهبط (تنشيط العملية المهبطية cathodic process).

(ج) مثبطات ذات الطبيعة المزدوجة : تنشيط العمليتين معاً (المهبطية والمصعدية). والطريقة الشائعة هي التنشيط المصعدي (anodic inhibition) والذي يقلل (يحد) (limit) بشكل مباشر أو يمنع (prevent) نصف تفاعل الأكسدة.

(٢) طلاء سطح المعدن (by painting the metal surface) الطلاء بالبويات أو بالمعادن :

طلاء المعدن بمادة مناسبة تكون مهمتها منع وصول الأكسجين والماء الى المعدن.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

٣) تغطية سطح المعدن بشحم أو زيت  
(coating it with grease or oil)

٤) السماح (allowing) بتكون فلم film (غشاء) رقيق من أكسيد المعدن  
(metal oxide).

### ٥) الحماية المصعدية Anodic protection

طورت حديثاً طرق حماية مصعدية (developed methods of anodic protection) ستشرح بالتفاعل التالي، والتي تحدث عندما يعالج السطح (surface is treated) بمحلول من كرومات الصوديوم (sodium chromate Na<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>).



فسطح الحديد يؤكسد (surface iron is oxidized) بملح الكرومات ليعطي أكسيد الحديد (III) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> وأكسيد الكروم (III) Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. وهذه الأكاسيد تشكل تغطية تكون منيعة (impervious) ضد وصول الأكسجين والماء، وبالتالي يثبط أي مزيد من الأكسدة الجوية (further atmospheric oxidation is inhibited).

### ٦) الحماية المهبطية Cathodic protection :

تم الحماية المهبطية بواسطة اجبار (by forcing) المعدن ليصبح مهبطاً بدلاً من كونه مصعد. وعادة، يتوصل (achieved) الى هذا الهدف (this goal) بواسطة وصل (attaching) معدن آخر أكثر سهولة في الأكسدة بالمعدن المراد حمايته (metal being protected).

إن تآكل الحديد يمكن أن يمنع، أو على الأقل أن يقلل (minimized) بحجب سطح المعدن عن الأكسجين والرطوبة (moisture). وطبقة من الطلاء على سطح الحديد تكون فعالة لبعض الوقت (for a while)، لكن الصدأ يتشكل حالما يخدش الطلاء أو

## الفصل الثاني : التآكل

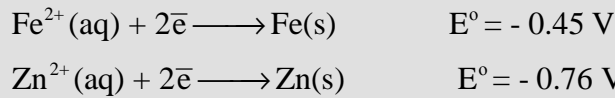
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

يقطع (يكسر) (scratched or chipped). إن المعادن مثل الكروم Cr، القصدير Sn أو الزنك Zn تمنح تغطية سطحية متينة (durable surface coating) للحديد.

وأفضل مثال يتضمن الحديد المجلفن – الحديد (galvanized iron – iron) الذي يغطي بطبقة رقيقة من الخارصين.

وجهد الإختزال القياسي  $E^\circ$  للخارصين أكثر سالبية من  $E^\circ$  للحديد. ولذلك فإن الخارصين أكثر سهولة في الأكسدة. لذلك فإن طلاء الخارصين يتأكسد قبل الحديد، وغشاء الخارصين (zinc coating) يشكل المصعد الضحية (sacrificial anode). وبالرغم من أن الخارصين يتآكل أسرع من الحديد وبالتالي فإن طلاء الخارصين (على الحديد) سيزول بسرعة مما يعرض الحديد للمحيط، إلا أنه عندما يتآكل الخارصين يتشكل  $Zn(OH)_2$  وهو غشاء غير قابل للذوبان (insoluble film) على السطح ( $K_{sp}Zn(OH)_2 = 4.5 \times 10^{-17}$ ).

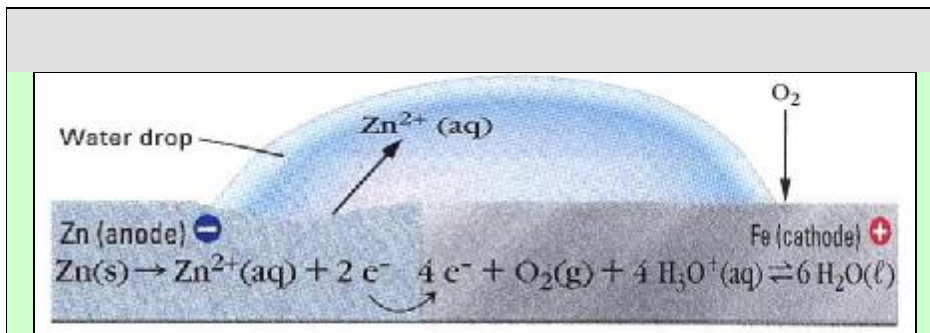
إن الصلب (steel) المستخدم في صنع السيارات (automobiles) على سبيل المثال، يغطي بغمسه في حمام خارصين مصهور (molten zinc)، في عملية تسمى جلفنة (galvanizing). وكما توضح الجهود فإن الخارصين يتأكسد بسهولة أكثر من الحديد



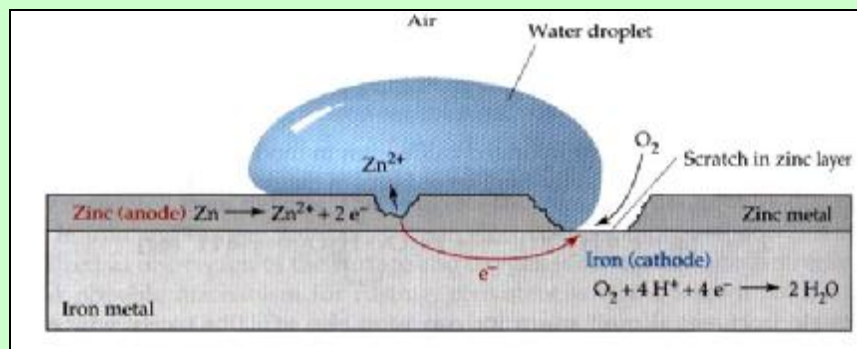
وبناءً عليه عندما يتأكسد المعدن فإن الخارصين يتأكسد بدلاً من الحديد كما في الشكل (١١ و ١٢). وأي أكسدة للحديد سوف تعكس مباشرة بسبب أن الخارصين يمكنه اختزال  $Fe^{2+}$  إلى Fe. ومادام الخارصين والحديد في اتصال مع بعضهما، فإن الخارصين يحمي الحديد من الأكسدة حتى لو خدشت طبقة الخارصين.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي



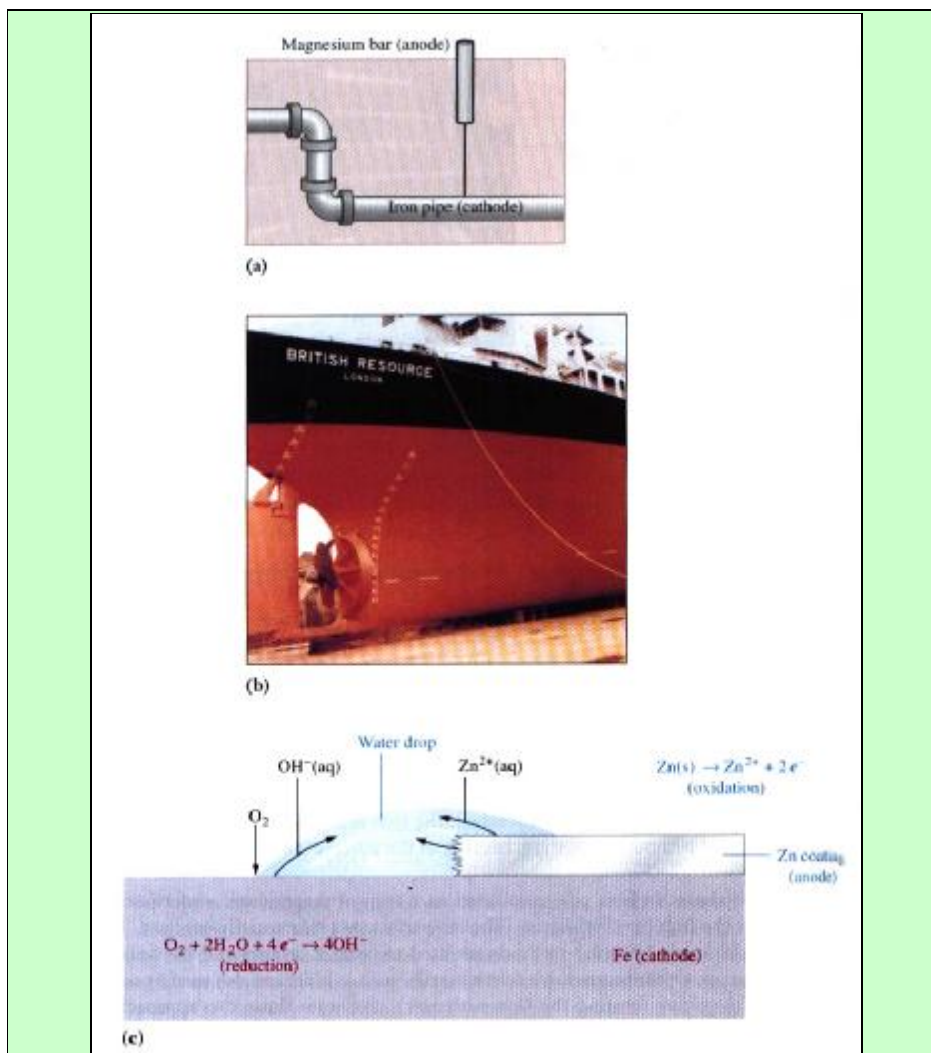
**Fig. 11** : Cathodic protection of an iron-containing object. The iron is coated with a film of zinc, a metal more easily oxidized than iron. The zinc acts as the anode and forces iron to be come the cathode, thereby preventing the corrosion of the iron.



**Fig. 12** : A layer of zinc protects iron from oxidation, even when the zinc layer becomes scratched. The zinc (anode), iron (cathode), and water droplet (electrolyte) constitute a tiny galvanic cell. Oxygen is reduced at the cathode, and zinc is oxidized at the anode, thus protecting the iron from oxidation.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزاري



**Fig. 13 :**

**a) Cathodic protection of buried iron pipe.** A magnesium or zinc bar is oxidized instead of the iron. The "sacrificial" anode eventually must be replaced.

**b) Cathodic protection of a ship's hull.** The small yellow horizontal strips are blocks of titanium (coated with platinum) that are attached to the ship's hull. The hull is steel (mostly iron). When the ship is in salt water, the titanium blocks become the anode, and the hull the cathode in a voltaic cell. Because oxidation always occurs at the anode, the ship's hull (the cathode) is protected from oxidation (corrosion).

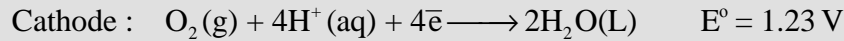
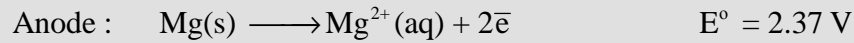
**c) Galvanizing is another method of corrosion protection.** Even if the zinc coating is broken, it is still oxidized in preference to the less reactive iron as long as the two metals remain in contact.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

### الحماية المهبطية (Cathodic Protection) بواسطة وصل معدن بمعدن آخر

تقنية حماية معدن من التآكل بواسطة وصله بمعدن آخر أكثر سهولة في الأكسدة تسمى الحماية المهبطية (cathodic protection). وليس من الضروري أن تغطي السطح الكلي (entire surface) للمعدن بالمعدن الآخر، كما في جلفنة الحديد. وكل ذلك يتطلب توصيل كهربائي (electrical contact) بالمعدن الآخر. والمعدن الحديدي أسفل الأرض (underground steel pipeline) على سبيل المثال، يمكن أن يحمى بتوصيله من خلال معدن عازل (insulated wire) لقضيب (stake) من المغنسيوم والذي يعمل كمصعد ضحية (sacrificial anode) ويتآكل بدلاً من الحديد. وهذا الترتيب عبارة عن خلية جلفانية (galvanic cell) والتي فيها المغنسيوم المتأكسد يعمل كمصعد، وخط الأنابيب يتصرف كمهبط، والتربة الرطبة (moist soil) عبارة عن الإلكتروليت. وأنصاف التفاعلات تكون كالتالي :



بالنسبة للتراكيب العملاقة من الحديد كتل خطوط الأنابيب الأرضية، خزانات التخزين (storage tanks)، الجسور (bridges) والسفن ships فإن الحماية الكاثودية أفضل حماية ضد الصدأ.

### س) كيف تتم الحماية المهبطية؟ مثل لذلك.

تعمل الحماية المهبطية على تغيير جهد المعدن المتآكل بحيث يقل معدل تأكله، وتتم عن طريق توصيل المعدن المتآكل بمعدن آخر أكثر نشاطاً (أي أعلى منه في السلسلة الكهروكيميائية حيث يتآكل بدلاً من المعدن المراد حمايته) (شكل ١٤ وشكل ١٥).

## الفصل الثاني : التآكل

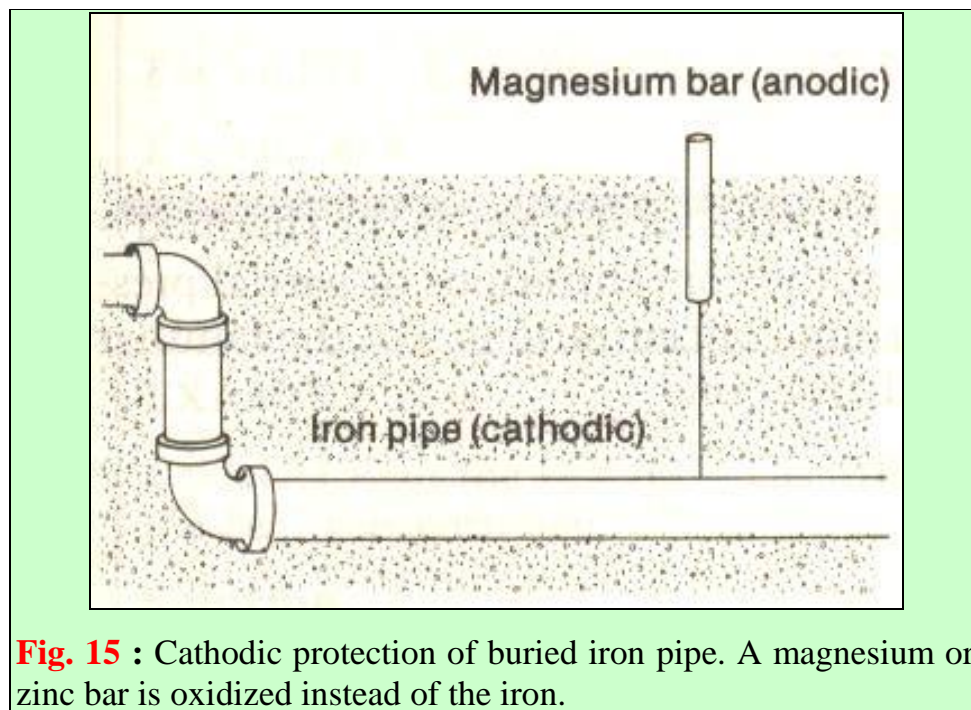
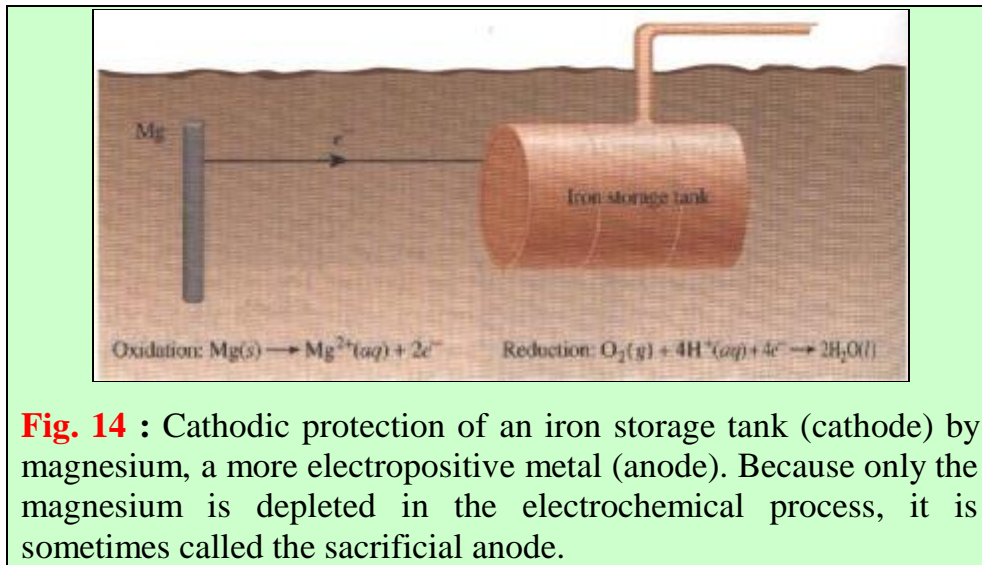
إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

### مثاله :

- يمكن حماية أنبوب من الحديد بتوصيله بقضيب من المغنسيوم (Mg) (أو الخارصين (Zn)) ويسمى المغنسيوم هنا بالمصعد الضحية (Sacrificial anode) وذلك لأنه عندما يتآكل فإنه يمد الحديد بالإلكترونات التي تتفاعل مع أيونات الحديد مختزلة إياها إلى الحديد.  
كما يمكن عمل الحماية المهبطية بتوصيل الحديد بمصدر لتيار خارجي باستخدام قطب خامل ليقوم بعملية التوصيل.

## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي



## الفصل الثاني : التآكل

إعداد /د. عمر بن عبد الله الهزازي

### مزید من القراءة

إن انهيار المنشآت الفلزية نتيجة تفاعلها مع الجو المحيط يعرف بالتآكل. وكلمة تآكل وإن كان يقصد بها عادة انهيار المنشآت الفلزية إلا أنها تستخدم ولو الى حد بسيط للتعبير عن انهيار المنشآت الخرسانية والخشبية (أي الغير فلزية). وتستخدم الفلزات لتصنيع العديد من الأشياء المتباينة تبايناً شديداً من حيث أحجامها، فقد تكون صغيرة جداً مثل شفرة الحلاقة وقد تكون كبيرة جداً كالهياكل والمنشآت المفصلية مثلاً.

وفي جميع الحالات فإن الخواص التآكلية للفلزات لها أهمية قصوى جنباً الى جنب مع صفاتها الميكانيكية في تحديد مجالات استخداماتها الهندسية.

وأياً كان مجال خدمة المنشأ الفلزي سواء في الجو أو في باطن الأرض أو حتى تحت مياه البحر، فإن هذا المنشأ الفلزي يستطيع القيام بعمله بأمان طالما أن عملية انهياره كنتيجة لتفاعله الكيميائي مع الجو المحيط لم تسر الى حد بعيد.

وللتآكل شواهد لا تغيب على بصر أحد منا، فلا يطالعنا يوم دون أن نراه يستشري في المنشآت الفلزية بجد ونشاط.

ويجب أن يكون معلوماً أن عملية التآكل هي عملية تلقائية طبيعية يتم فيها إعادة الفلز من صورته الإنتقالية (الحررة) إلى صورته الثابتة (الإتحادية) والتي كان متواجداً عليها أصلاً في الطبيعة قبل استخلاصه، ذلك أن معظم الفلزات تستخلص من خاماتها عن طريق إمدادها بمقدار معين من الطاقة. ويتبع ذلك أنها تكون وهي في الحالة المنفردة في مستوى طاقة أعلى مما تكون عليه في صورتها الإتحادية.

ووفقاً للقانون الثاني للديناميكا الحرارية فإن المآل الأخير هو العودة للفلز المستخلص إلى الصورة التي تملك أدنى مستوى طاقة ممكن، أي العودة من جديد إلى الصورة الإتحادية وهذه العملية هي ما يسمى بالتآكل.

ومما تقدم يتضح أن الطبيعة بقدر الله تقوم عن طريق عملية التآكل باسترداد ما تم اغتصابه منها من فلزات.

قضى الله بالفناء على كل شيء في هذه الحياة الدنيا  
(كل من عليها فان ويبقى وجه ربك ذو الجلال والإكرام)