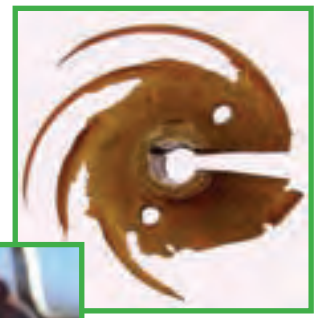
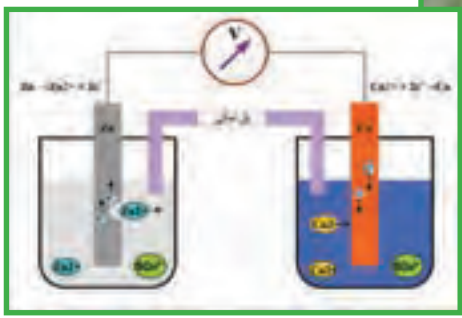
فصل هفتم

خوردگی و حفاظت از مواد





هدف‌های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ مفهوم خوردگی مواد صنعتی به خصوص فلزات را توضیح دهد.

۲ــ ضرورت مطالعه در مورد خوردگی مواد صنعتی را بیان کند.

۳ــ انواع متداول خوردگی فلزات را بیان نماید.

۴ــ مکانیزم انواع متداول خوردگی فلزات را توضیح دهد.

۵ــ راهکارهای اصلی مبارزه با خوردگی فلزات را بیان کند.

۶ــ نقش پوشش‌های محافظ را در حفاظت از مواد صنعتی توضیح دهد.

۱ــ۷ــ مقدمه

تعریف خوردگی : خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.

مواد صنعتی از طرف عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل : گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری‌های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌شوند که ماده صنعتی به تدریج تخریب شده و از بین برود.

توجه

آیا می‌دانید بر اساس برآوردها در سطح بین‌المللی هزینه‌های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها می‌باشد.

آیا می‌توانید حدس بزنید از نظر ریالی این مقدار برای کشور ما چقدر می‌شود؟

به مثال‌های زیر توجه کنید.

همان‌طور که در شکل‌های (۱ــ۷ و ۲ــ۷) مشاهده می‌شود، نردبان فلزی و منبع آب به‌دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران و نیز مواد دیگر موجود درهوا به‌شدت دچار زنگ زدگی شده‌اند.

شکل ۱ــ۷ــ منبع آب در شرایط محیط دچار خوردگی شده است.

شکل ۲ــ۷ــ نردبان فلزی در شرایط حیاط خانه دچار خوردگی شده است.

مثال دیگر لاشه کشتی رها شده در ساحل دریا می‌باشد که مطابق شکل (۳ــ۷) به‌شدت دچار پوسیدگی شده و تخریب گردیده است.

شکل ۳ــ۷ــ لاشه کشتی در ساحل دریا به‌شدت دچار خوردگی شده است.

غیرفلزات هم دچار خوردگی می‌شوند؛ مثل : خرد شدن مجسمه‌های سنگی در اثر برف و باران (شکل ۴ــ۷)، تخریب سازه بتنی (شکل۵ ــ۷) و یا پوسیدن چوب و کاغذ به‌دلیل قرار گرفتن در محیط مرطوب نمونه‌هایی از خورده شدن مواد غیرفلزی هستند.

شکل ۴ــ۷ــ مجسمه سنگی تخت جمشید در اثر برف و باران و عوامل محیطی دیگر دچار آسیب‌دیدگی شده است.

شکل ۵ــ۷ــ سازه بتنی در اثر عوامل محیطی دچار تخریب گردیده است.

مواد پلاستیکی نیز دچار خوردگی می‌شوند. به طورمثال چنانچه ماده پلاستیکی برای مدت زیادی در معرض نور خورشید قرار گیرد، در اثر اشعه خورشید ساختمان اتمی آن تخریب شده و خواص خود را از دست می‌دهد و یا اگر برای مدتی در معرض مواد شیمیایی قرار گیرند در اثر واکنش با مواد شیمیایی دچار صدمه می‌شوند (شکل۶ــ۷).

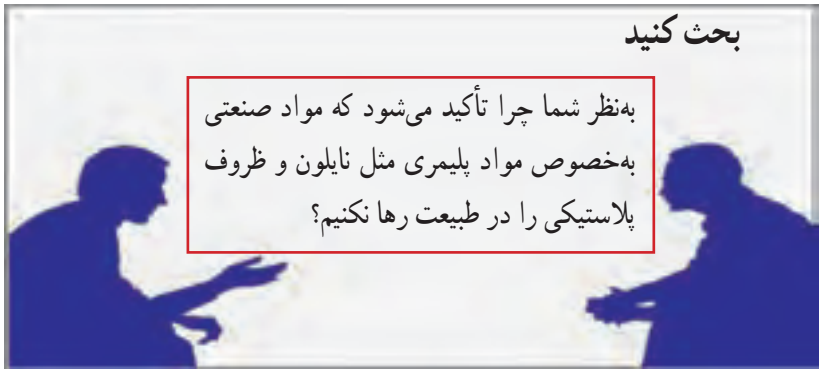
شکل۶ــ۷ــ قطعه پلاستیکی در معرض محلول شیمیایی دچار تورم و تخریب شده‌است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود همه مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می‌شوند، ولی با توجه به این‌که فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریعتر دچار پدیده خوردگی می‌شوند، لذا اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به‌کار می‌برند و در ادامه این فصل نیز خوردگی فلزات مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول (۱ــ۷) حدود زمان لازم برای خورده شدن و تجزیه سه دسته مهم مواد صنعتی به‌صورت تقریبی و نسبی جهت مقایسه آورده شده است.

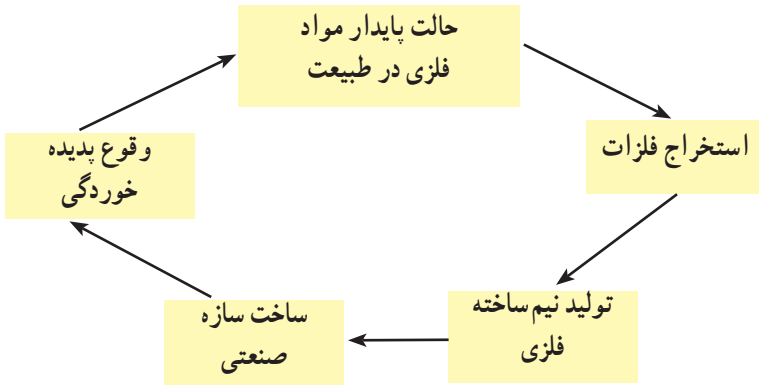
جدول ۱ــ۷ــ زمان تقریبی لازم برای خورده شدن و تجزیه مواد در طبیعت

ردیف	نوع ماده	زمان تقریبی جهت تجزیه شدن (سال)
۱	چوب و کاغذ	۱ تا ۲
۲	فلزات	۵ تا ۱۰
۳	پلیمرها	۳۰۰ تا ۴۰۰



۲ــ۷ــ خوردگی فلزات

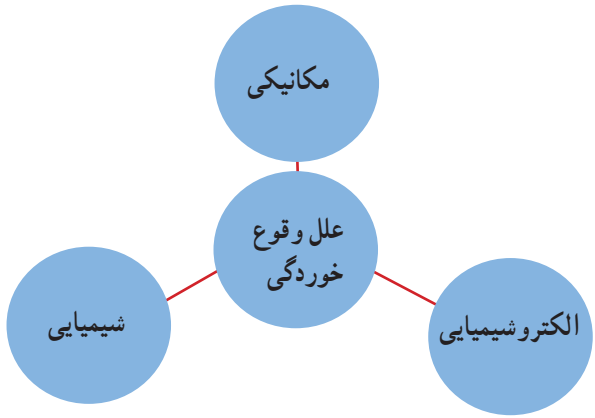
فرآیند خوردگی فلزات را می‌توان به‌عنوان بخشی از چرخه این مواد در طبیعت در نظر بگیریم که در نمودار(۱ــ۷) نشان داده شده است.



نمودار ۱ــ۷ــ چرخه گردش مواد فلزی در طبیعت

۳ــ۷ــ مکانیزم ایجاد خوردگی

عوامل اصلی ایجاد پدیده‌خوردگی را می‌توان مطابق نمودار (۲ ــ۷) به سه دسته تقسیم کرد که ممکن است هر یک به تنهایی و یا به‌صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورندهٔ موجود در محیط دارد.



نمودار ۲ــ۷ــ مکانیزم ایجاد خوردگی در فلزات

۱ــ۳ــ۷ــ خوردگی شیمیایی : در مورد خوردگی شیمیایی فلزات می‌توان به انحلال مقادیر کم مواد فلزی توسط حلال‌های آلی مثل انحلال آلومینیوم در تتراکلریدکربن (CCl_4) و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی می‌باشد که به‌دلیل این‌که این مکانیزم سهم بسیار کمی از خوردگی فلزات را به‌خود اختصاص می‌دهد بیش از این به بررسی آن نمی‌پردازیم.

۲ــ۳ــ۷ــ خوردگی الکتروشیمیایی : فلزات به‌دلیل ماهیت ساختمان اتمی که دارند عمدتاً دچار خوردگی الکتروشیمیایی می‌شوند؛ یعنی مکانیزم خوردگی، واکنش الکتروشیمیایی است که ضمن آن نقل و انتقال الکترون بین عوامل واکنش دهنده صورت می‌گیرد و در مورد فلزات آهنی به اصطلاح زنگ‌زدن نامیده می‌شود.

چنانچه یک قطعه آهنی در شرایط اتمسفر مرطوب قرار گیرد، واکنش‌های زیر روی سطح آن اتفاق می‌افتد.

نیمه واکنش اکسید شدن (آندی) $2Fe \rightarrow 2Fe^{+2} + 4e^-$

نیمه واکنش احیا شدن (کاتدی) $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$

واکنش کلی (جمع دو نیم واکنش) $\mathbf{2Fe + 2H_2O + O_2 \rightarrow 2Fe(OH)_2\downarrow}$ (رسوب)

$Fe(OH)_2$ رسوب تیره رنگی است که ابتدا روی سطح قطعه آهنی تشکیل می‌شود و در اثر مرور زمان به دلیل واکنش بیشتر با اکسیژن مطابق واکنش صفحهٔ بعد به‌صورت رسوب $Fe(OH)_2\downarrow$ در می‌آید

که رنگ آن قرمز قهوه‌ای یا آجری رنگ است و ما آن را به‌عنوان زنگ آهن روی سطح قطعه زنگ زده می‌بینیم(شکل ۷ــ۷).

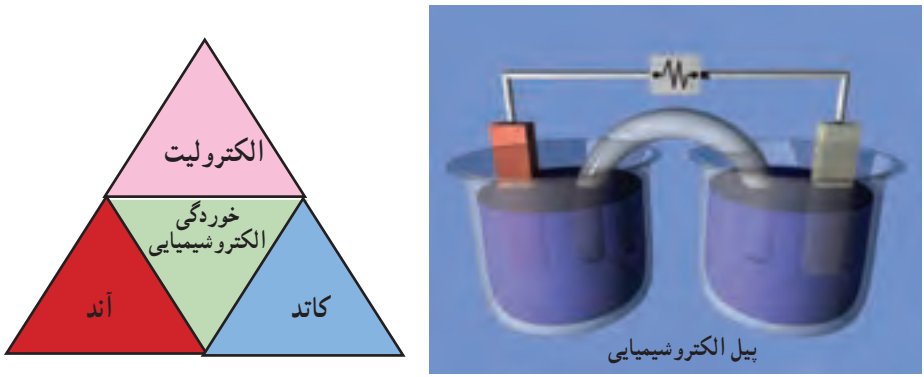
ترکیب شیمیایی زنگ آهن

$$2Fe(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow \underset{\text{(رسوب)}}{Fe(OH)_3 \downarrow}$$

شکل ۷ــ۷ــ سطح زنگ‌زده ورق‌های آهنی در اثر قرار گرفتن در شرایط اتمسفر مرطوب

بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی زمانی اتفاق می‌افتد که در اثر تماس فلز با محیط پیرامون خود یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل شود.

شکل (۸ــ۷) اجزای اصلی تشکیل‌دهنده پیل‌الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



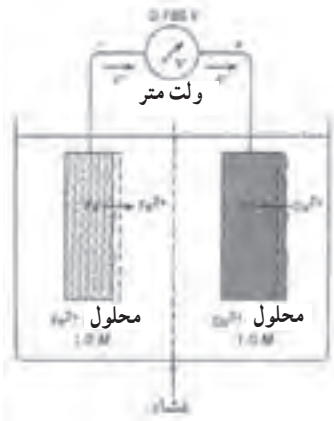
شکل ۸ــ۷ــ اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

تعریف

آند : سطحی است که روی آن واکنش آندی یا اکسیداسیون رخ می دهد. در نتیجه به‌طور معمول دچار انحلال یا خوردگی می‌گردد.

کاتد : سطحی است که روی آن واکنش کاتدی رخ می‌دهد و دچار خوردگی یا انحلال نمی‌شود.

الکترولیت : محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون‌های مثبت و منفی در داخل آن می‌باشد.



شکل ۹ــ۷ــ تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین تیغه‌های مسی و آهنی در محلول اسیدی

در شکل(۹ــ۷) نمایش تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین تیغه‌های مس و آهن به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.

واکنش‌های پیل الکتروشیمیایی نشان داده شده در شکل(۹ــ۷) عبارت است از :

نیم واکنش آندی $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

نیم واکنش کاتدی $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu\downarrow$ (رسوب)

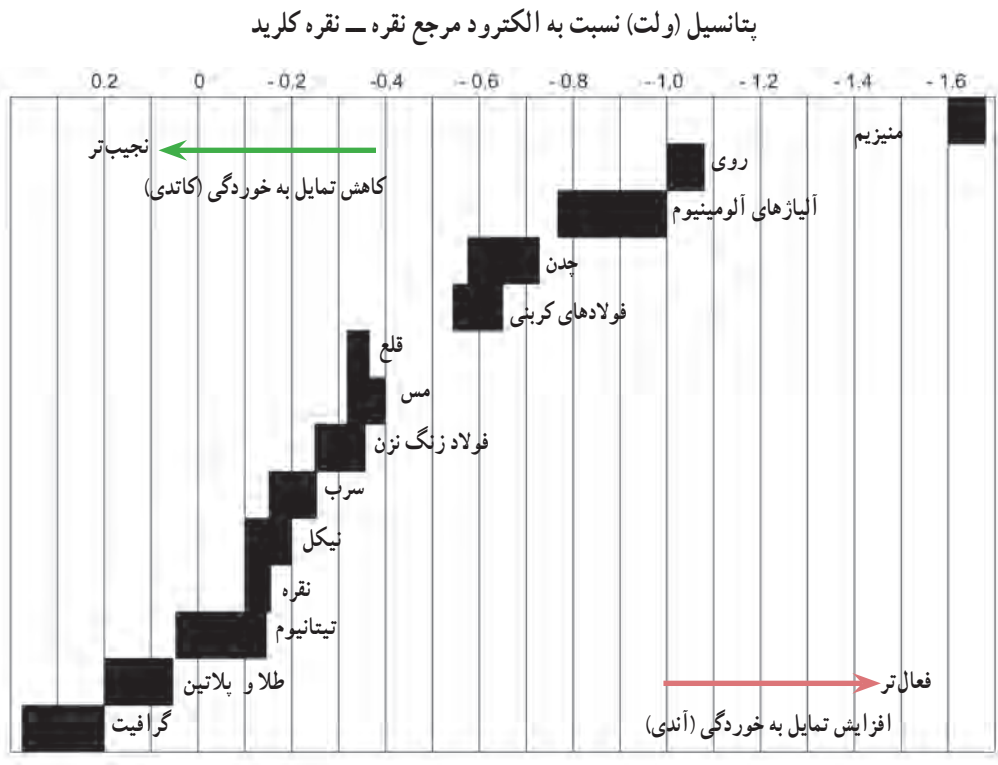
$$Cu^{2+} + Fe \rightarrow Cu + Fe^{2+}$$

واکنش کلی : در اینجا تیغه آهنی ضمن از دست دادن الکترون حل می شود و در مقابل یون‌های مثبت مس با جذب الکترون‌های آزاد به‌صورت خنثی در آمده و روی سطح تیغه مسی رسوب می‌کنند. همان‌طورکه مشاهده می‌شود جهت جریان الکترون‌ها از طرف تیغه آهنی به‌طرف تیغه مسی می‌باشد.

لازم به یادآوری است در شرایط مشابه شکل (۷ــ ۷)که تنها یک نوع ورقه فلزی در معرض

محیط خورنده قرار می‌گیرد، ابتدا پیل‌های الکتروشیمیایی کوچکی روی سطح تشکیل می‌شوند و باگذشت زمان سطوح آندی و کاتدی جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه پس از مدتی تمام سطح دچار زنگ‌زدگی می‌شود.

تمایل فلزات مختلف نسبت به از دست دادن الکترون و اکسید شدن متفاوت است. شاخص این تمایل متفاوت، پتانسیل الکتروشیمیایی است که در خصوص تعدادی از عناصر فلزی و آلیاژهای آنها در نمودار (۳ــ۷) نشان داده شده است.



نمودار ۳ــ۷ــ پتانسیل الکتروشیمیایی چند فلز متداول جهت مقایسه میزان تمایل به اکسیداسیون

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فلزات و آلیاژهای با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت‌تر تمایل کمتری نسبت به اکسید شدن و خوردگی دارند (نجیب ترند). برعکس فلزات و آلیاژهایی‌که در بالا و سمت راست شکل قرار دارند، دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر می‌باشند؛ یعنی تمایل بیشتری به خوردگی دارند (فعال‌ترند).

بنابراین چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، فلز فعال‌تر که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر می‌باشد با سرعت بیشتری دچار خوردگی می‌گردد. به این نوع از خوردگی در اصطلاح خوردگی گالوانیک می‌گویند که در ادامه برای درک بهتر موضوع چند مثال آورده شده است.

در شکل(۱۰ــ۷) پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی نسب شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۱۰ــ۷) نشان داده شد، چون فلز مس نسبت به فولاد کربنی در موقعیت مثبت‌تری قرار دارد، لذا تمایل کمتری به اکسید شدن یا خوردگی دارد (به‌عنوان سطح کاتدی عمل می‌کند). در عوض سطح ستون فولادی با شدت بیشتری دچار خوردگی می‌شود (به‌عنوان سطح آندی عمل می‌کند).

شکل ۱۰ــ۷ــ تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی

اتفاق مذکور مطابق شکل (۱۱ــ۷) در مورد اتصال شیر برنجی با لوله فولادی افتاده و منجر به خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی گردیده است.

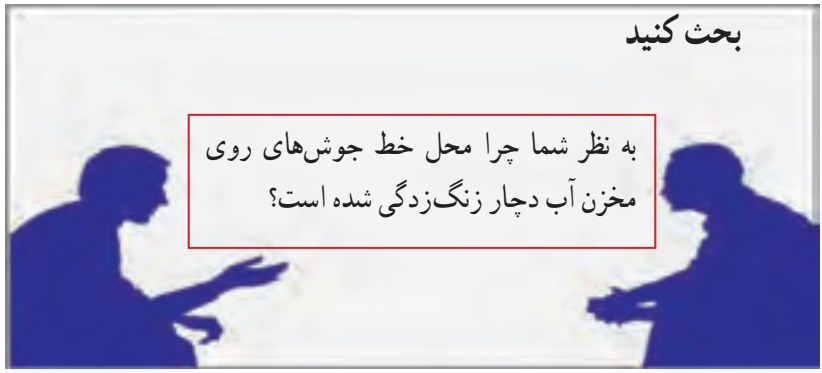
شکل ۱۱ــ۷ــ خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی

مثال دیگری از خوردگی گالوانیک در شکل (۱۲ــ۷) نشان داده شده است؛ در اینجا دو قطعه لوله مسی توسط زانوی فولادی دارای پوشش روی (گالوانیزه) به‌هم متصل شده اند و براساس آنچه که در مثال قبلی توضیح داده شد، زانوی فولادی به‌شدت دچار خوردگی شده و رسوبات سفید رنگ ناشی از خوردگی فلز روی (zn) روی سطح آن تجمع یافته است.

شکل ۱۲ــ۷ــ خوردگی زانوی فولادی گالوانیزه در اتصال با لوله مسی

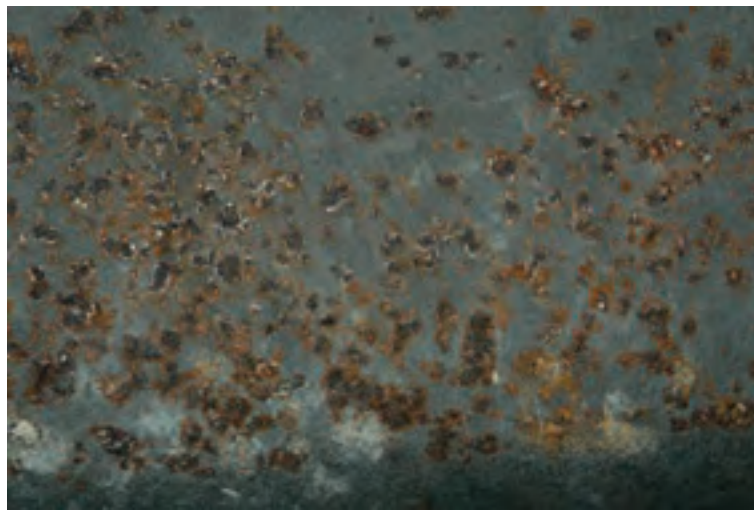
حال به شکل(۱۳ــ۷) نگاه کنید.

شکل ۱۳ــ۷ــ منبع آب از جنس فولاد کربنی در محل خط جوش‌ها دچار زنگ زدگی شده است.



یکی از دلایل وقوع چنین اتفاقی می‌تواند ناشی از جوشکاری مخزن با الکترودی از جنس متفاوت با جنس صفحات فلزی مخزن آب باشد، به‌طوری‌که باعث شده است فلز جوش با جنس متفاوت (فعال‌تر)، تمایل بیشتری نسبت به خوردگی و زنگ زدن پیدا نماید؛ این مثال به ما می‌آموزد در موقع جوشکاری سازه‌های فلزی تا جای ممکن از الکترودی استفاده کنیم که جنس فلز جوش حاصل مشابه و یا نزدیک به جنس فلز اصلی باشد.

گاهی اوقات به دلایل مختلف خوردگی روی سطح قطعات و سازه‌های فلزی به صورت یکنواخت صورت نمی‌گیرد. بلکه مطابق شکل (۱۴ــ۷) در بعضی نقاط متمرکز می‌شود، نتیجه آن ایجاد یکسری حفره روی سطح می‌باشد که به آن در اصطلاح خوردگی حفره‌دارشدن می‌گویند.



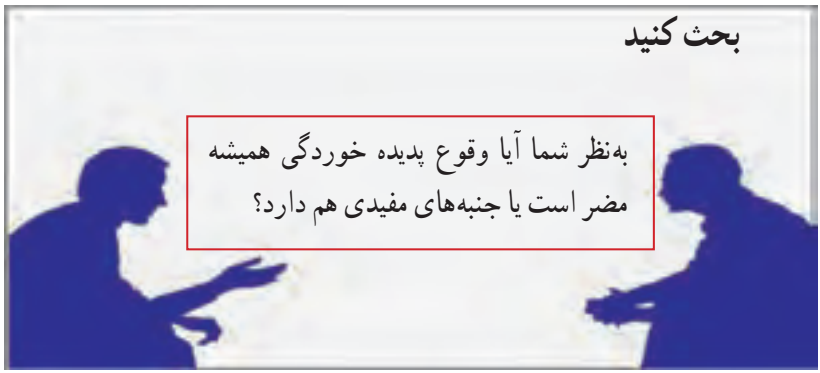
شکل۱۴ــ۷ــ سطح فولاد دچار خوردگی موضعی(حفره‌دارشدن) شده است.

خوردگی موضعی به طور معمول در مناطقی از سازه که سیال حالت ساکن پیدا کند، یا در زیر موادی که به عنوان عایق به‌کار می‌روند (شکل ۱۵ــ۷) و یا روی سطح فولادهای زنگ نزن در محیط‌های دارای یون کلرید(Cl^-) شایع است.

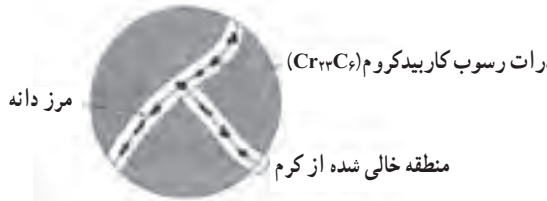
لازم به یادآوری است در این نوع خوردگی مقدار کل انحلال فلز نسبت به خوردگی یکنواخت کمتر است ولی به‌دلیل تمرکز خوردگی در سطح کوچک به‌سرعت سبب تخریب سازه صنعتی می‌گردد و چون از قبل نمی‌توان سرعت خوردگی را پیش‌بینی کرد خطرناک است.

شکل ۱۵ــ۷ــ خوردگی موضعی لوله فولادی در زیر عایق حرارتی (پشم شیشه)

همان‌طور که ملاحظه شد بیشتر تخریب‌هایی که ما به‌صورت روزمره در خصوص اضمحلال سازه‌های فلزی پیرامون خود شاهد هستیم ماهیت الکترو شیمیایی دارند و سرعت خوردگی متناسب با مقدار و نوع عوامل واکنش‌کننده مثل : رطوبت، دما، اکسیژن، CO_2، SO_2 و... افزایش می‌یابد.



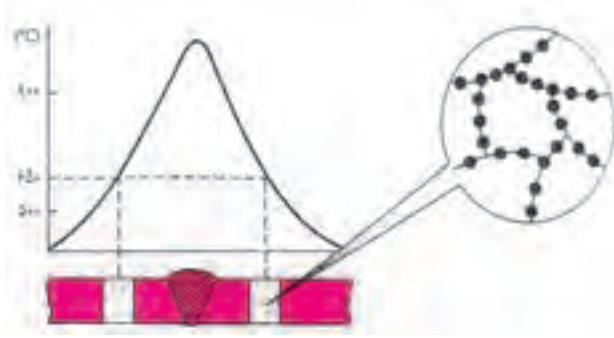
فولادهای زنگ نزن ممکن است به دلیل آن‌چه در زیر توضیح داده می‌شود، دچار نوعی دیگری از خوردگی موضعی با مکانیزم الکتروشیمیایی شوند. همان‌طور که می‌دانید دلیل زنگ نزدن این نوع از فولادها وجود درصد بالای کروم در ترکیب آلیاژی است که با ایجاد اکسید کروم روی سطح فولاد آن‌را حفاظت می‌نماید ولی چنان‌چه ناحیه‌ای از فولاد زنگ نزن برای مدتی در محدوده دمایی حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد، اتم‌های کروم و کربن موجود در فولاد زنگ نزن با هم ترکیب شده و به‌صورت ذرّات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد رسوب می‌نمایند (شکل ۱۶ــ۷). این موضوع سبب کاهش مقدار اتم‌های کروم در ناحیه اطراف رسوبات کاربیدی می‌شود. لذا این نواحی به‌دلیل کاهش مقدار درصد کروم دچار خوردگی و زنگ زدگی می‌شوند.



شکل ۱۶ــ۷ــ رسوب ذرات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد زنگ‌نزن

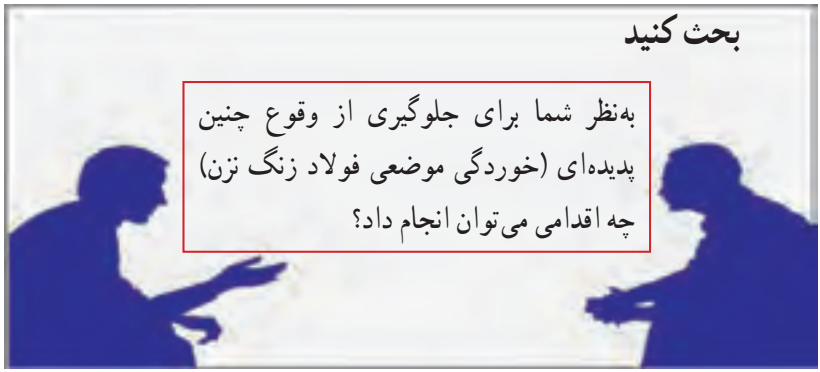
این اتفاق همان‌طور که در شکل (۱۷ــ۷) مشاهده می‌شود می‌تواند درحین جوشکاری فولادهای زنگ نزن رخ دهد و سازه های جوشکاری شده از جنس فولاد زنگ نزن پس از مدتی در نواحی مجاور خط جوش‌ها دچار خوردگی شوند(شکل ۱۸ــ۷).

بنابراین در موقع جوشکاری فولادهای زنگ نزن باید به این موضوع توجه کنیم و با اتخاذ تدابیر مختلف، تا حد ممکن از وقوع چنین پدیده‌ای جلوگیری نماییم .



شکل ۱۷ــ۷ــ رسوب ذرّات کاربید کروم در منطقه کنار خط جوش که زمان بیشتری در محدوده دمای ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه قرار می‌گیرد.

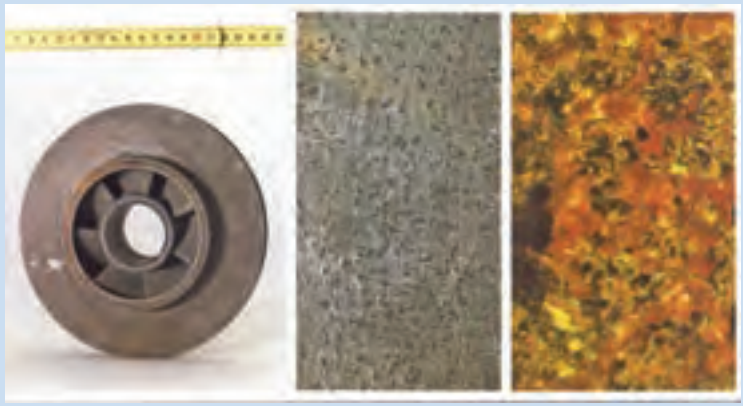
شکل ۱۸ــ۷ــ فولاد زنگ نزن در نواحی مجاور خط جوش دچار خوردگی موضعی شده است.



بیشتر بدانیم

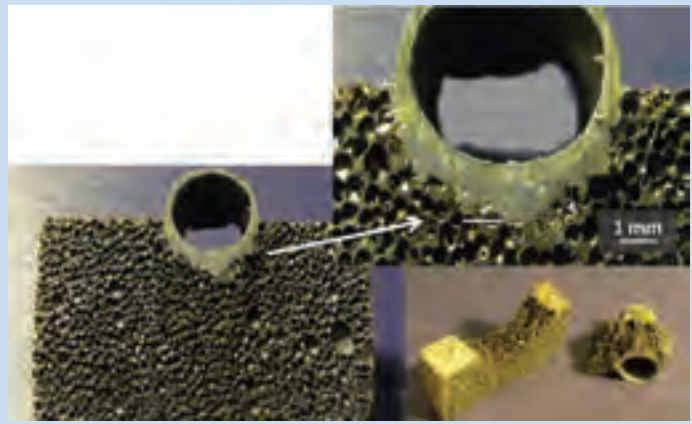
خوردگی یا جدایش انتخابی

حالت دیگری از خوردگی با مکانیزم الکتروشیمیایی می‌تواند همان‌طور که در شکل‌های (۱۹ــ۷) و (۲۰ــ۷) نشان داده شده است در بعضی از آلیاژهای فلزی مثل چدن‌ها و آلیاژ برنج (مس و روی) رخ دهد که به آن در اصطلاح خوردگی انتخابی یا جدایش انتخابی می‌گویند.



شکل ۱۹ــ۷ــ گرافیتی شدن پره پمپ از جنس چدن که دچار خوردگی انتخابی شده است.

در این نوع خوردگی همان‌طور که از نام آن مشخص است یکی از عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ به‌صورت انتخابی در محیط خورنده حل می‌شود. مثلاً چنانچه یک قطعه چدنی یا برنجی برای مدت نسبتاً طولانی در محیط خورنده مثل محلول اسیدی قرار گیرد؛ در مورد آلیاژ برنج عنصر روی و در خصوص آلیاژ چدن عنصر آهن به‌دلیل این‌که بر اساس نمودار (۳ــ۷) تمایل بیشتری به اکسید شدن دارند حل می‌شوند و پس از مدتی سطح قطعات مذکور به‌صورت متخلخل در می‌آیند که رنگ ظاهری سطح نیز به‌رنگ عنصر باقی‌مانده بر روی سطح متمایل می‌شود.



شکل ۲۰ــ۷ــ قطعات چدنی و برنجی دچار خوردگی انتخابی شده‌اند و سطح آنها متخلخل گردیده است.

۳ــ۳ــ۷ــ خوردگی مکانیکی : در اینجا پدیده‌خوردگی تحت تأثیر نیروهای مکانیکی اتفاق می‌افتد. البته ممکن است عامل مکانیکی به تنهایی سبب تخریب و شکست ماده صنعتی گردد. مثل : سایش و یا عوامل دیگر نظیر واکنش الکتروشیمیایی نیز به‌صورت توأم دخیل باشند. مثل : خوردگی فرسایشی.

سایش یکی از عوامل رایج تخریب‌کننده قطعات صنعتی است و زمانی اتفاق می‌افتد که دو سطح در تماس با یکدیگر تحت تأثیر نیروی مکانیکی نسبت به هم حرکت لغزشی داشته باشند.

یک مورد متداول پدیده سایش روی سطح غلتک‌های نورد اتفاق می‌افتد. آن‌طورکه در شکل (۲۱ــ۷) ملاحظه می‌کنید سطح غلتک‌های دستگاه نورد به‌دلیل نیروی مکانیکی زیادی که به آنها وارد می‌شود به مرور زمان دچار سایش می‌شوند و باید تعمیرگردند. به‌طور معمول هر چه نیروی اعمالی افزایش یابد و یا اختلاف سختی دو سطح در حال تماس با یکدیگر بیشتر باشد مقدار سایش افزایش می‌یابد. هم‌چنین افزایش دمای کاری و افزایش حرکت نسبی دو سطح نسبت به یکدیگر میزان سایش را به‌طور معمول زیاد می‌کند.

شکل ۲۱ــ۷ــ سطح غلتک‌های دستگاه نورد به‌دلیل نیروی مکانیکی دچار سایش می‌شود.

نوع دیگری از خوردگی که تحت تأثیر هم‌زمان نیروی مکانیکی(برخورد ذرات ساینده) و خوردگی الکتروشیمیایی رخ می‌دهد، خوردگی فرسایشی[۱]نام دارد. شکل‌های (۲۲ــ۷ و ۲۳ــ۷)

۱ــ Errotion

تصاویر دو قطعه صنعتی را نشان می‌دهند که دچار خوردگی فرسایشی شده‌اند. این نوع خوردگی زمانی اتفاق می‌افتد که در داخل محلول خورنده ذرات ساینده(مثل شن و ماسه) وجود داشته باشد.

شکل ۲۲ــ۷ــ پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است.

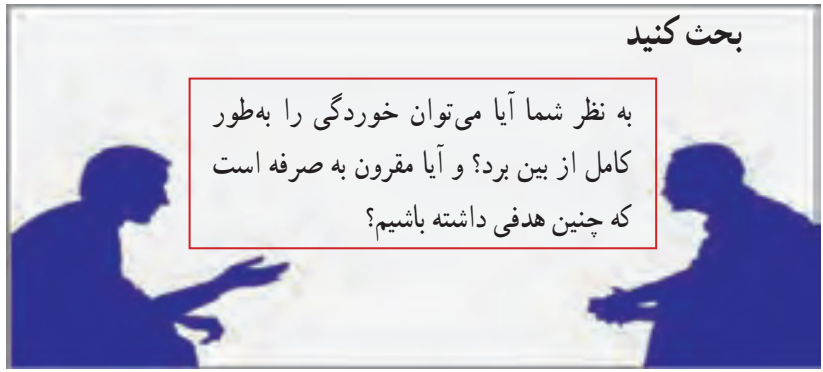
به شکل (۲۳ــ۷) نگاه کنید.

پره پمپ آب به‌دلیل وجود ذرات شن در محلول خورنده تخریب شده است. در این مثال ضمن اینکه پره فولادی در محلول خورنده قرار داشته، حضور ذرات ماسه در محلول و برخورد آنها به سطح پره پمپ باعث تشدید پدیده خوردگی گردیده است.

شکل ۲۳ــ۷ــ پره پمپ به‌دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است.

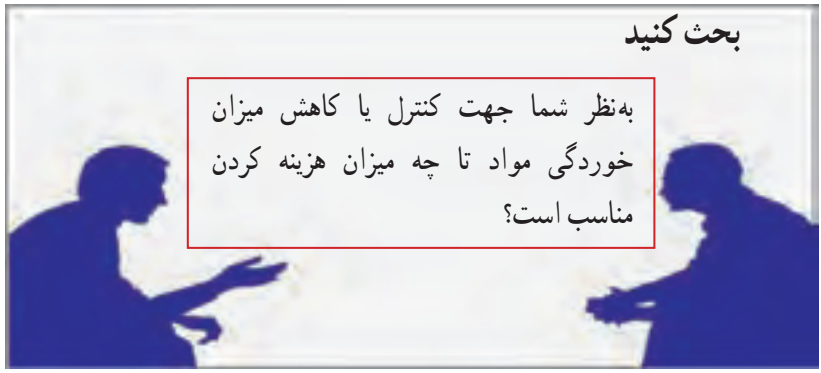
۴ــ۷ــ روش‌های کنترل خوردگی و حفاظت مواد

به منظور کاهش اثرات ناشی از خوردگی و حفاظت از مواد اقدامات مختلفی را می‌توان انجام داد، که راهکارهای اصلی در نمودار (۴ــ۷) آمده است. لازم به یادآوری است که انتخاب نوع روش اجرایی علاوه بر مسائل فنی، مشروط به اقتصادی بودن راهکار مورد نظر است.



در حالت کلی جهت کاهش میزان خوردگی و حفاظت مواد در برابر این پدیده مخرب چهار راهکار اساسی وجود دارد. به طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه به‌صورت مختصر به معرفی این روش‌ها می‌پردازیم.

نمودار ۴ــ۷ــ روش‌های اصلی کنترل خوردگی و حفاظت مواد



۱ــ۴ــ۷ــ طراحی و انتخاب مواد

مناسب: در موقع طراحی سازه‌های صنعتی طراحان باید پیش بینی مسائل مربوط به خوردگی را در نظر بگیرند و تا حد ممکن سعی کنند عوامل مؤثر در خوردگی را کاهش داده و یا شرایط ایجاد آن را از بین ببرند.

به‌عنوان مثال: مطابق شکل (۲۴ــ۷) یک راکتور شیمیایی و یا مخزن تحت فشار را در نظر بگیرید.

شکل ۲۴ــ۷ــ مخزن تحت فشار که ممکن است برای انجام فعل و انفعال شیمیایی در دمای بالا به‌کارگرفته شود.

موارد مهمی که طراح باید در موقع طراحی سازه فلزی در نظر بگیرد عبارت است از:

۱ــ نوع، میزان و چگونگی اعمال نیروهای مکانیکی را در نظر بگیرد(محاسبه نماید) و متناسب با آن مواد قابل استفاده را مشخص نماید.

۲ــ با در نظر گرفتن مواد شیمیایی داخل آن و شرایط‌کاری نظیر: دما و فشار از میان مواد مشخص شده گزینه‌های مناسب را از نظر خوردگی معین کند.

۳ــ با توجه به الزامات دیگر طراحی نظیر: شرایط ورودی و خروجی مواد شیمیایی، فرآیند ساخت و تولید سازه، و هزینه‌ها، ماده بهینه را انتخاب نماید.

۴ــ پس از انتخاب ماده مناسب موارد دیگری نیز وجود دارد که طراح باید در طراحی سازه

اصلی و متعلقات جانبی آن از نظر شکل و محل اتصالات در نظر بگیرد :

- تا حد ممکن میزان تنش‌ها و نقاط تمرکز تنش کاهش یابد.
- از تشکیل محل‌های ساکن برای محلول جلوگیری شود.
- از شرایط ایجاد تغییر ناگهانی در سرعت سیال و تشکیل تلاطم شدید پرهیز نماید.

۵ــ از به‌کار بردن دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم در محیط خورنده پرهیز کند و در صورتی‌که لازم است دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم، داخل الکترولیت مشترک قرار گیرند سعی کنند :

- دو فلز، با توجه به نمودار پتانسیل الکتروشیمیایی نزدیک به هم انتخاب شوند.
- فلز فعال‌تر دارای سطح بزرگتر باشد؛ تا از تمرکز خوردگی جلوگیری شود.
- در صورت امکان با استفاده از واشر یا صفحات پلاستیکی بین مواد متفاوت عایق الکتریکی ایجاد کند. شکل(۲۵ــ۷) نمونه از خوردگی به‌دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ــ۷ــ اتصالات خط لوله محتوی سیال خورنده به‌دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت دچار خوردگی شدید شده است.

۲ــ۴ــ۷ــ تغییر شرایط محیط خورنده :

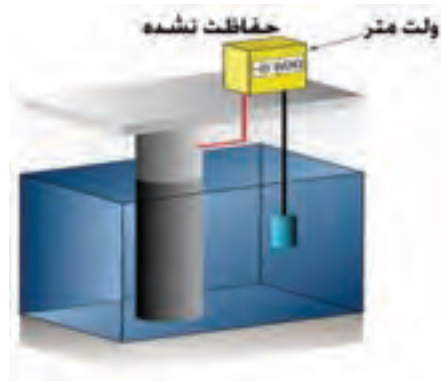
یکی دیگر از راهکارهای کاهش میزان خوردگی و حفاظت از مواد، تغییر در شرایط محیط خورنده است. برای این منظور می‌توان اقدامات زیر را انجام داد :

۱ــ حذف یا کاهش عوامل خورنده از طریق فیلترکردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل : فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی(شکل ۲۶ــ۷).

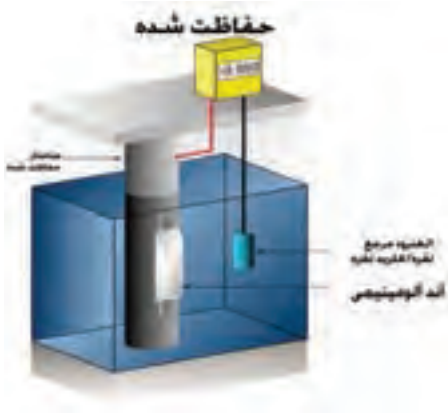
شکل ۲۶ــ۷ــ گازهای خروجی از دودکش در خوردگی تجهیزات اطراف واحد صنعتی مؤثر است.

۲ــ راهکار دیگر اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خورنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیه آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل : نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد که به‌منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خورنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.

۳ــ۴ــ۷ــ تغییر پتانسیل سازه فلزی : این کار به دو صورت امکان‌پذیر است؛ یکی از طریق اتصال سازه اصلی به فلز فعال‌تر که در شکل (۲۷ــ۷) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. روش دیگر اعمال جریان برق مستقیم به منظور کاهش تمایل به از دست دادن الکترون توسط سازه مورد نظرمی‌باشد که در شکل (۲۷ــ۷ قسمت C) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC) برای حفاظت سازه مدفون در خاک و در قسمت (b) نمایش شماتیک فرآیند این روش حفاظتی نشان داده شده است. لازم به ذکر است این تکنیک‌ها به‌عنوان روش‌های حفاظت کاتدی معروف می‌باشند.



a) سازه حفاظت نشده



b) سازه حفاظت شده با آند آلومینیومی

c) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC)

شکل ۲۷ــ۷ــ حفاظت کاتدی سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده آلومینیومی

همان‌طور که در شکل (۲۷ــ۷) ملاحظه می‌شود با اتصال قطعه آلومینیومی دارای پتانسیل منفی‌تر نسبت به فولاد، سبب کاهش پتانسیل الکتروشیمیایی سازه فولادی و در نتیجه کاهش تمایل آن به اکسید شدن(خوردگی) می‌شود. در این روش قطعه آلومینیومی با فدا کردن خود باعث کاهش میزان خوردگی سازه فولادی می‌گردد. در شکل (۲۸ــ۷) بخشی از یک سکوی دریایی که بر اساس این روش تحت حفاظت قرار گرفته نشان داده شده است.

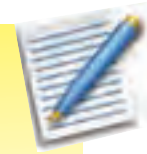
شکل ۲۸ــ۷ــ سکوی دریایی که آندهای آلومینیومی جهت حفاظت کاتدی به آن متصل شده است.

لازم به یادآوری است استفاده از سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های فلزی مدفون در خاک مثل : مخازن و خطوط لوله به‌عنوان سیستم مکمل پوشش کاربرد گسترده‌ای دارد که در شکل (۲۹ــ۷) هر دو روش حفاظت کاتدی به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.

شکل ۲۹ــ۷ــ سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های مدفون در خاک(bــ حفاظت مخزن از طریق اعمال جریان مستقیم (DC)
aــ حفاظت خطوط لوله از طریق کار گذاشتن آند جداشونده منیزیمی در مجاورت آن

۴ــ۴ــ۷ــ استفاده از پوشش‌های محافظ : یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در سازه‌های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می‌باشد. به‌طورکلی صرف نظر از این‌که پوشش‌ها ماهیت پلیمری، سرامیکی، فلزی و یا کامپوزیتی داشته باشند، به‌عنوان سدی در برابر حمله عوامل خورنده به سطح سازه صنعتی عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند. در جدول(۲ــ۷) ضمن معرفی انواع متداول و پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال آنها بر روی سطح و نمونه‌هایی از کاربرد آنها در صنعت آورده شده است.

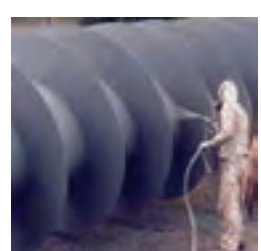
لازم به یادآوری است عملکرد پوشش نسبت به شرایط سطح سازه و تمیز بودن آن قبل از اعمال پوشش بسیار حساس می‌باشد، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هر گونه آلودگی مثل : پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز گردند. هم‌چنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به‌طور کامل روی سطح سازه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.



توجه

تجربه نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد موفقیت یا اثربخش بودن پوشش بستگی به تمیز بودن و شرایط سطح سازه قبل از اعمال پوشش دارد.

جدول ۲ــ۷ــ انواع پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال و نمونه کاربرد آنها در صنعت

ردیف	نوع پوشش	ماهیت پوشش	روش‌های متداول اعمال پوشش	تصویر سازه‌های صنعتی
۱	پلیمری	این پوشش‌ها ازمواد پلیمری می‌باشند و عمدتاً به‌منظور محافظت سازه‌های فلزی در محیط اتمسفری استفاده می‌شوند : نظیر اپوکسی، پلی اورتان، پلی استر و غیره	۱ــ پاشش ۲ــ غوطه وری ۳ــ ابزار دستی	
۲	فلزی	این پوشش‌ها ماهیت فلزی دارند و دو دسته‌اند ۱ــ پوشش تک عنصری که از یک عنصر فلزی تشکیل شده‌اند مثل پوشش گالوانیزه، قلع، طلا، نقره، کرم و غیره. ۲ــ پوشش‌های آلیاژی که پوشش از ترکیب دو یا چند عنصر فلزی تشکیل شده است	۱ــ پاشش ۲ــ غوطه وری ۳ــ آبکاری	
۳	سرامیکی	این پوشش‌ها ماهیت معدنی (غیرفلزی و غیر پلیمری) دارند مثل انواع لعاب‌ها که روی ظروف سفالی یا فلزی اعمال می‌شوند.	۱ــ پاشش ۲ــ غوطه وری	

آزمون پایانی

۱ــ کدام‌یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی است؟

الف) زنگ زدن بدنه کولر آبی

ب) تخریب یک مجسمه سنگی به‌دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران

ج) سوراخ شدن لوله‌های آب شهری

د) همه موارد

۲ــ کدام‌یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی الکتروشیمیایی است؟

الف) ترک خوردن لوله پلاستیکی به‌دلیل قرارگرفتن در معرض نور خورشید

ب) متورم شدن ظرف پلاستیکی محتوی محلول اسید

ج) سوراخ شدن بدنه یک تانک فلزی محتوی اسید سولفوریک

د) پاره شدن سیم بکسل به‌دلیل وارد کردن نیروی زیاد

۳ــ زمان لازم برای تجزیه کدام‌یک از مواد زیر در طبیعت بیشتر است؟

الف) فولاد کربنی ب) لاستیک ج) چوب د) مس

۴ــ مکانیزم‌های اصلی ایجاد خوردگی را نام ببرید؟ (سه عامل)

۵ــ فلزات بیشتر دچار چه نوع خوردگی می شوند؟

الف) الکتروشیمیایی ب)شیمیایی

ج) مکانیکی د) شیمیایی و مکانیکی به‌صورت همزمان

۶ــ اجزاء اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی را نام ببرید؟

۷ــ برای اتصال دو صفحه فولاد کربنی استفاده از میخ پرچ‌های از جنس کدام فلز مناسب‌تر است؟چرا؟

الف) مس ب) روی ج) قلع د) آلومینیومی

۸ــ راه‌های کنترل خوردگی و حفاظت از مواد را نام ببرید؟ (چهار مورد)

۹ــ سه دسته اصلی پوشش‌های محافظ رانام ببرید؟

۱۰ــ سه روش اصلی اعمال پوشش‌های محافظ را نام ببرید؟

۱۱ــ پتانسیل الکتروشیمیایی یک سازه فلزی تحت حفاظت کاتدی نسبت به شرایط بدون حفاظت چگونه است؟

الف) مثبت‌تر است ب)منفی‌تر است

ج) فرق نمی‌کند　　د) بستگی به جنس سازه دارد

۱۲ــ برای حفاظت یک سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده، کدامیک از مواد زیر مناسب نمی باشد؟

الف) روی　　ب) آلومینیوم　　ج) منیزیم　　د) فولاد زنگ نزن

۱۳ــ به‌نظر شما با افزایش آلودگی هوا سرعت خوردگی .....

الف) افزایش می‌یابد　　ب) کاهش می‌یابد

ج) تغییر نمی‌کند　　د)بستگی به دمای محیط دارد

۱۴ــ به‌نظر شما سرعت خورده شدن یک سازه فولادی در کدام‌یک از شرایط آب و هوایی زیر بیشتر است؟

الف) گرم و مرطوب　　ب)سرد و خشک

ج) سرد و مرطوب　　د)معتدل و نیمه خشک

۱۵ــ طراح یک سازه فلزی از نظر خوردگی به چه نکاتی بایستی توجه کند؟ (چهار مورد)

۱۶ــ برای جوشکاری یک سازه فلزی از نظر خوردگی جنس الکترود بهتر است چگونه باشد؟

الف) هم جنس با جنس فلز اصلی باشد.

ب) از جنس فعال‌تر نسبت به فلز اصلی باشد.

ج) از جنس نجیب‌تر نسبت به فلز اصلی باشد.

د) فرق نمی‌کند.

۱۷ــ دلیل زنگ نزدن فولاد زنگ نزن ناشی از وجود عنصر ..... در فولاد است.

الف) کروم　　ب) کربن　　ج) مس　　د) آلومینیوم

۱۸ــ پوشش‌های محافظ چگونه باعث حفاظت از مواد می‌شوند؟

۱۹ــ مکانیزم خوردگی را در حالت‌های زیر بنویسید؟

الف) لوله پلاستیکی که دچار ترک خوردگی شده است.

ب) سطح ستون فولادی که در شرایط اتمسفری زنگ زده است.

ج) پروانه پمپ آب که در معرض محلول حاوی ذرات ساینده (ماسه) تخریب شده است.