

مقدمه‌ای بر خوردگی :

پدیده خوردگی طبق تعریف، واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده، معمولاً یک فلز، و محیط اطراف آن می‌باشد که به تغییر خواص ماده منجر خواهد شد. پدیده خوردگی در تمامی دسته‌های اصلی مواد، شامل فلزات، سرامیکها، پلیمرها و کامپوزیتها اتفاق می‌افتد، اما وقوع آن در فلزات آنقدر شایع و فراگیر بوده و اثرات مخربی بجای می‌گذارد که هرگاه صحبت از خوردگی به میان می‌آید، ناخودآگاه خوردگی یک فلز به ذهن متبادر می‌شود.

خوردگی معمولاً فرایندی زیان‌آور است، لیکن گاهی اوقات مفید واقع می‌شود. بطور مثال آلودگی محیط به محصولات خوردگی و آسیب دیدن عملکرد یک سیستم از جنبه‌های زیان‌آور خوردگی و تولید انرژی الکتریکی در یک باتری و حفاظت کاتدی سازه‌های مختلف از فواید آن هستند، اما تاثیرات مخرب و هزینه‌های به بار آمده بواسطه این فرایند به مراتب بیشتر است .

با نگاهی به آمار منتشر شده از خسارات مستقیم و غیر مستقیم خوردگی به اقتصاد کشورها می‌توان به هزینه‌های سرسام‌آور این پدیده پی برد. یک مطالعه دو ساله از ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۰ در آمریکا نشان داد که هزینه‌های مستقیم خوردگی ۲۷۶ میلیارد دلار در سال بوده است که این رقم تقریباً ۳٫۱٪ از تولید ناخالص داخلی آمریکا را تشکیل می‌دهد. از این رقم هزینه‌های بالغ بر ۱۳۷٫۹ میلیارد دلار به بخش صنعت که خود دارای زیرشاخه‌های مختلفی است مربوط می‌باشد .

در ایران نیز پدیده خوردگی خسارات قابل توجهی را در صنایع گوناگون بوجود آورده است. بر اساس برخی بررسی‌های غیر رسمی، زیان اقتصادی مستقیم ناشی از خوردگی در ایران در سال ۱۳۷۳ حدود ۵۰۰۰ میلیارد ریال، در سال ۱۳۷۵ حدود ۹۰۰۰ میلیارد ریال و در سال ۱۳۷۹ حدود ۲۷۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است .

جایگاه آکادمیک :

هر چند دانش مهندسی خوردگی در برخی از دانشگاههای دنیا از زیر شاخه های علم و مهندسی شیمی بوده و ارتباط تنگاتنگی نیز با آن دارد، در کشور ما سیاستگذاری در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری بگونه‌ای بوده است که مهندسی خوردگی، از زیرشاخه‌های مهندسی مواد قرار داده شده است .

علم و مهندسی مواد که به شناخت ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی مواد مختلف، روشهای ساخت آنها، روشهای استحصال فلزات و مواد نوین می‌پردازد، به لحاظ ساختار آکادمیک در کشور ما در مقطع کارشناسی دارای سه زیر شاخه مهندسی متالورژی صنعتی، مهندسی متالورژی استخراجی و مهندسی سرامیک است . در مقطع کارشناسی ارشد، مهندسی مواد به زیرشاخه‌های انتخاب مواد مهندسی، شکل دهی فلزات، خوردگی، استخراج فلزات، سرامیک، بیومواد، ریخته گری و جوشکاری طبقه بندی شده است . با این توضیح

مشخص است که برای تحصیل در رشته مهندسی خوردگی لازم است تا از مقطع کارشناسی در رشته مهندسی مواد آغاز کرد .

دانش خوردگی مواد، بویژه فلزات همه صنایع را تحت تاثیر خود قرار داده و مهندسين اين رشته همواره در تلاش هستند تا روشهای موجود برای مقابله با اثرات زیانبار این پدیده را بهبود بخشیده و یا روشهای نوینی برای این کار بیابند. از آنجا که گستره نفوذ خوردگی در صنایع بسیار وسیع است، بنظر می‌رسد آشنایی با اصول و مبانی فرایند خوردگی و همچنین روشهای عمومی برای کنترل این پدیده برای همه مهندسين ضروری است .

تعریف خوردگی :

خوردگی یک واکنش شیمیایی و یا الکتروشیمیایی مخرب بین سطح فلز و محیط اطراف آن می‌باشد. با توجه به اینکه از لحاظ ترمودینامیکی مواد اکسید شده نسبت به مواد در حالت معمولی در سطح پایین‌تری از انرژی قرار دارند، بنابراین تمایل رسیدن به سطح انرژی پایین‌تر سبب اکسید (خورده) شدن فلز می‌گردد. با این توضیح می‌توان گفت که هیچگاه نمی‌توان به طور کامل از خوردگی جلوگیری نمود، بلکه باید به نحوی میزان خوردگی را به حد قابل قبول رسانید .

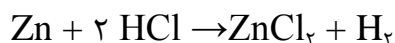
خوردگی سبب به وجود آمدن زیان‌های فراوانی در کارایی سیستم‌های مختلف می‌گردد. علاوه بر خسارت‌های جانی از نظر اقتصادی نیز خسارت‌های فراوانی ایجاد می‌نماید. به طور کلی برای بررسی یک آلیاژ از نظر مقاومت در برابر خوردگی باید پارامترهای گوناگونی را مورد بررسی قرار داد، اما شاید متداول‌ترین راه برای بررسی مسائل خوردگی و همچنین مقایسه فلزات مختلف با یکدیگر، بیان نمودن سرعت و یا نرخ انجام واکنش خوردگی باشد. برای انجام این کار راهها و مقیاس‌های متفاوتی وجود دارد .

برای بیان سرعت خوردگی می‌توان درصد کاهش وزن را بر حسب میلی‌گرم بر سانتیمتر مربع بر روز (mdd) بیان نمود. البته این معیار چندان مناسب نمی‌باشد، زیرا در اکثر موارد محصولات حاصل از واکنش خوردگی (اکسید و یا هیدروکسید فلز) بر روی سطح فلز می‌مانند و در حقیقت سبب افزایش وزن فلز بعد از انجام واکنش خوردگی می‌گردند. بنابراین معمولاً به دلیل اهمیت بیشتر ضخامت قطعه، از معیار هزارم اینچ در سال (mpy) استفاده می‌گردد، یعنی در طول یک سال چه میزان از ضخامت جسم کاسته می‌شود .

خوردگی را می‌توان از نظر الکتروشیمیایی نیز مورد بررسی قرار داد. به طور کلی هر واکنشی را که بتوان به دو واکنش جداگانه آندی و کاتدی قسمت نمود، واکنش الکتروشیمیایی می‌نامند. برای انجام واکنش خوردگی سه عامل آند (قسمتی که الکترون تولید می‌نماید و یا به عبارت دیگر اکسید می‌گردد)، کاتد (قسمتی از فلز که الکترون می‌گیرد و یا واکنش احیا در آن صورت می‌گیرد) و در نهایت الکترولیت (مکانی برای برقراری اتصال یونی بین آند و کاتد) لازم می‌باشد. در حقیقت باید بین آند و کاتد هم اتصال الکتریکی

(برای مبادله الکترون) و هم اتصال الکترولیتی (برای مبادله یون) برقرار باشد. با از بین بردن هر کدام از این اتصالات واکنش خوردگی نیز متوقف می‌گردد.

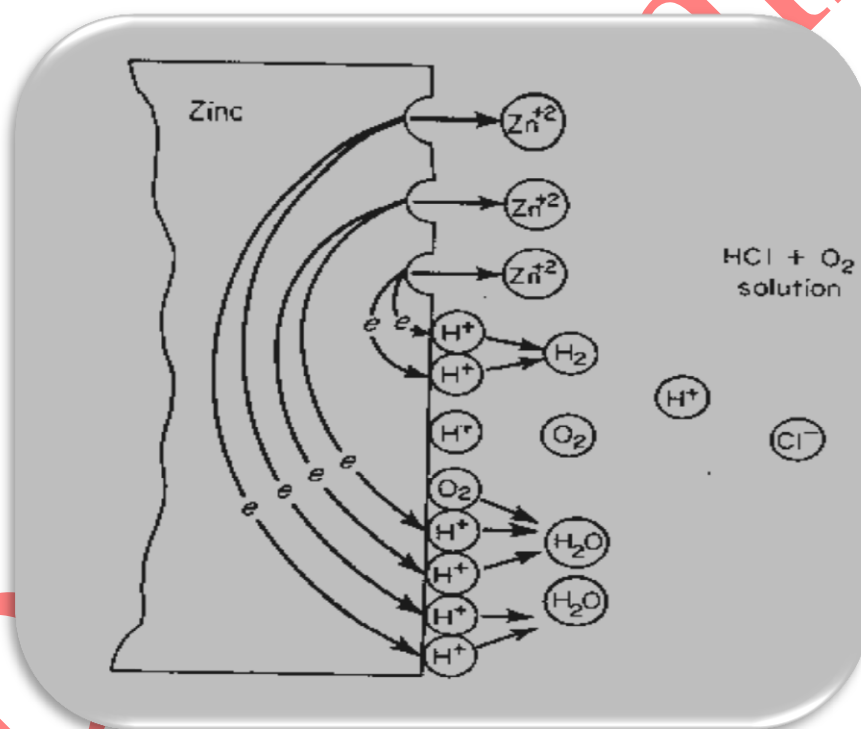
به عنوان مثال در واکنش خورده شدن روی در محیط اسید کلریدریک محصول نهایی واکنش کلرور روی و گاز هیدروژن می‌باشد که از طریق واکنش زیر انجام می‌گردد:



به طور خلاصه می‌توان واکنش‌های اکسیداسیون و احیا را برای این واکنش به صورت زیر بیان نمود:



در شکل زیر نمایی از چگونگی انجام واکنش خوردگی فلز روی در محلول اسید کلریدریک حاوی اکسیژن نشان داده شده‌است.



نمایی از چگونگی انجام واکنش خوردگی فلز روی در محیط اسید کلریدریک حاوی اکسیژن نکته مهم در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا سرعت انجام واکنش‌ها می‌باشد. طبق اصول سینتیکی باید سرعت انجام واکنش اکسیداسیون با سرعت انجام واکنش احیا برابر باشد. بنابراین با تحت کنترل قرار دادن هر یک از این دو واکنش می‌توان سرعت انجام واکنش دیگر و در نتیجه سرعت انجام واکنش خوردگی را تحت کنترل درآورد.

از طرف دیگر اگر در سیستم خوردگی به جای یک عامل احیا چندین عامل احیا وجود داشته باشد، به عنوان مثال در همان اسید کلریدریک اگر اکسیژن نیز وجود داشته باشد، آنگاه دو واکنش احیا هیدروژن و

واکنش احیا آب همزمان انجام خواهند شد. به این ترتیب به دلیل افزایش در میزان مصرف کننده‌های الکترون، باید بر میزان سرعت تولید الکترون نیز افزوده گردد و به این دلیل سرعت خوردگی فلز روی افزایش خواهد یافت.

علاوه بر فاکتورهای محیطی و محیط خوردنده، بعضی فاکتورهای فلزی و متالورژیکی نیز در آغاز و نرخ پیشرفت واکنش‌های خوردگی تاثیرگذار می‌باشند. به عنوان مثال مرزهای دانه، مرزهای دوقلویی، ناخالصی‌ها و نابجائیها می‌توانند به دلیل داشتن انرژی بالاتر نسبت به نقاط اطراف خود به صورت آند موضعی درآمده و سبب آغاز فرایند خوردگی گردند.

روش‌های کنترل خوردگی

از اصلی‌ترین روشهای کنترل خوردگی می‌توان به موارد زیر اشاره داشت:

- انتخاب صحیح آلیاژ
- بکارگیری پوششهای مقاوم
- بکارگیری بازدارنده های خوردگی (Inhibitor)
- حفاظت کاتدی و آندی (Cathodic & Anodic protection)

منبع: منبع: انجمن خوردگی ایران

روشهای کنترل خوردگی ۶ روش می‌باشد:

طراحی، انتخاب مواد، پوشش، استفاده از بازدارنده، حفاظت کاتدی و آندی. در دنیا بر روی نانوپوشش‌ها بسیار کار شده است و نانوپوشش‌های بسیاری گسترش پیدا کرده است. اما نفوذ نانو تکنولوژی در روش‌های دیگر کنترل خوردگی بسیار ضعیف بوده است.

نانوپوشش‌ها:

پوشش‌های نانو هیدروکسی آپاتید:

برای ایمپلنت‌های مورد استفاده در بدن انسان شرکت IMCO (Informat Corporation) با استفاده از تکنیک الکتروفوریتیک در دمای محیط نانو ساختار هیدروکسی آپاتید را بر روی انواع ایمپلنت‌ها پوشش می‌دهد. این ایمپلنت‌ها از جنس V_4Al_6Ti است که کاربردهای مختلف در دندانپزشکی و اورتوپدی دارد. پوشش هیدروکسی آپاتید به روشهای قدیمی پاشش حرارتی و رسوبدهی شیمیایی روی سطح اعمال می‌شد. فواید استفاده از این پوشش‌ها

افزایش استحکام باند: در روشهای قبلی اعمال هیدروکسی آپاتید، استحکام چسبندگی پوشش بسیار پایین است. در روش پاشش حرارتی 30MPa و در رسوبدهی شیمیایی 14MPa است. اما این روش باعث می‌شود که استحکام چسبندگی به حدود 60MPa برسد.

بهبود مقاومت خوردگی: این پوشش‌های نانویی ۱۰۰٪ فشرده و ۱۰۰٪ کریستالی است، که باعث می‌شود مشکل انحلال آمورفی این پوشش حل شود و البته فشرده بودن باعث می‌شود که مایعات بدن تحت تماس با فلز قرار نگیرند. جریان پلاریزاسیون خوردگی در این حالت ۳۰۰ بار کمتر از حالتی است که به دو روش قدیمی پاشش حرارتی و رسوب‌دهی شیمیایی پوشش داده شده است.

پوشش‌های چند لایه‌ای نانویی برای مصارف نظامی و غیرنظامی:

اخیراً پوشش‌هایی گسترش پیدا کردند که دارای چندین لایه هستند که هر لایه در این پوشش هدف خاصی را دنبال می‌کنند. این پوشش‌ها با توجه به گزارش‌هایی که شده است دارای مصارف نظامی و غیرنظامی است. این پوشش‌ها هدف‌های چندی را دنبال می‌کند که عبارتند از:

(۱) کاهش هزینه چرخه - عمر .

(۲) کاهش هزینه نگهداری تجهیزات .

(۳) کاهش آلودگی‌های محیطی (پوشش‌های کرومات که آلوده‌کننده محیط زیست هستند).

این پوشش‌ها در چرخنده‌ها، موتورها، سوئیچ‌های الکترونیکی و سنسورها کاربرد فراوان دارد. یکی از خصوصیات منحصر به فرد این پوشش این است که اگر لازم باشد براحتی از روی سطح برداشته می‌شود (زمانی که پوشش‌ها آسیب دیده و باید عوض شوند). همچنین در بین لایه‌های این پوشش از لایه‌های حس‌گر استفاده می‌شود که قادر است آسیب‌دیدگی مکانیکی و خوردگی را تشخیص دهد.

شرکت NANOMAG، پوشش‌هایی از جنس نانو کامپوزیت که مقاوم در برابر خوردگی می‌باشد، تولید می‌کند که این پوشش‌ها جایگزین پوشش‌های پایه کروم خطرناک می‌شود که برای آلیاژهای منیزیم مخصوصاً برای احتیاجات صنایع خودروسازی، هوا - فضا و هوانوردی مناسب می‌باشد. کاهش وزن موتور وسایل نقلیه، یک شیوه اساسی برای کاهش مصرف سوخت آنها می‌باشد. با کم کردن ۱۰۰ کیلوگرم از وزن امکان ذخیره سوخت $0.51/100 \text{ km}$ فراهم می‌شود و بدین وسیله انتشار مواد نابودکننده محیط زیست کاهش می‌یابد. منیزیم که یک سوم از آلومینیوم و ۸۰ درصد از فولاد سبکتر است به طور فزاینده‌ای از زمان اولین حضورش در ماشین‌های مسابقه در طول سال‌های ۱۹۲۰، برای این هدف استفاده شده است. کاربردهای آلیاژهای پایه منیزیم هم‌اکنون تا پوشش‌های دنده، لوله‌های چندشاخه ورودی، و پوشش‌های سرسیلندرهای نیز امتداد پیدا کرده و حتی چرخ‌ها، بخش‌های بدنه و قسمت‌های اصلی فرمان را نیز در بر گرفته است. خواصی مانند قدرت بالا نسبت به وزن (در مقایسه با ضریب وزن) و ارتعاش‌گیری خوب (جذب ارتعاش) صدا و لرزش، با استفاده از تکنیک‌های ریخته‌گری تحت فشار، تولید آسان قطعات را به همراه دارد و استفاده متداول و رایجی در بخش‌هایی مانند هوا - فضا و دستگاه‌های الکترونیکی قابل حمل می‌باشد.

از هدفهای رشد و توسعه پروژه NaNoMAG فراهم آوردن امکانی می‌باشد که از طریق آن روکش‌های نانوکامپوزیتی (مرکب) که تمیز و سازگار با طبیعت هستند شکل گیرد که اقتصادی‌تر و مقرون به صرفه‌تر نیز خواهد بود. همچنین این پوششها مقاومت‌های بهتری هم برای خوردگی و ساییدگی خواهند داشت. برای ایجاد این پوششها از روشهای پلاسمایی رسوب شیمیایی بخار (PECVD)، پلاسمایی رسوب فیزیکی بخار (PEPVD) و همچنین تکنولوژی Sol-gel استفاده می‌شود.

پوشش‌های نانو با یونهای بازدارنده خوردگی

شرکت نامادیکس (Namadics) بر روی پوشش‌های کامپوزیتی فعالیت می‌کند که اثر حفاظت بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد. این پوشش‌ها با استفاده از تکنیک Layer-by-Layer assembly یا electrostatic self assembly ساخته می‌شود. در این پوشش‌های نانوکامپوزیتی لایه لایه، یونهای بازدارنده خوردگی قرار داده می‌شود تا بتواند با نفوذ به سطح فلز پایه آنها را در برابر خوردگی محافظت کند و لایه انتهایی یک لایه سدکننده سیلیکاتی است. این پوشش‌ها نیز حفاظت خوردگی خوبی در مقایسه با پوشش‌های کروم نشان می‌دهد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای آنها باشد (با توجه به اینکه پوشش‌های کروم به علت آلودگیهای زیست محیطی در حال انقراض هست).

پوششهای استثنایی آلیاژی با ساختار نانو مقاوم در برابر خوردگی

تحقیقات انستیتوی شیمی در کنار همکارانشان از انستیتوی Semiconductors (نیمه رساناها) باعث خلق و ابداع تعداد زیادی پوششهای جدید از آلیاژهای فلزی با ساختار نانو شده‌اند که برای مقاومت در برابر خوردگی فوق‌العاده بالایشان، مورد توجه قرار گرفته‌اند. این پوششها از طریق پاشش مغناطیسی فلز شکل گرفته‌اند. ساختار نانوکریستالهای این پوششها لایه‌های اثرناپذیر پایدار را به وجود می‌آورند که ویژگیهای ناقص و معیوب پوششهای قدیمی را ندارند. مشاهده شده است که پوششها با ساختار نانوکریستال، نسبت به پوشش‌ها دارای ساختار بی‌شکل مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارند. پاشش مغناطیسی فلز، این امکان را فراهم می‌آورد که آلیاژهایی از فلزات را که با استفاده از روش‌های قدیمی قابل تولید نبودند، به وجود آورد، مانند وقتی که نقطه ذوب یک فلز بالاتر از درجه جوش دیگری می‌باشد. اخیراً خواصی از آلیاژهای زیر مطالعه شده‌اند:

Al-Mg-Cu, Cr-Cr-Mo, Au-Pd-In, Fe-Cr-Ni-Ta, Ni-Cr-Mo

انتخاب مواد :

فولاد ضدزنگ با مقاومت خوردگی فوق‌العاده بالا :

فولادهای ضدزنگ کاربردهای مختلفی می‌تواند داشته باشد، مشکل اصلی این آلیاژ استحکام پایین آن است که مصرف آن را در کاربردهای مقابله با خوردگی کاهش می‌دهد. شرکت Sandvik با استفاده از تکنولوژی نانو و با اضافه کردن نانو ذرات در مرحله ذوب توانسته آلیاژهای فولاد ضدزنگ با مقاومت خوردگی بالا،

انعطاف پذیری مناسب قبل از عملیات حرارتی و استحکام بالا بعد از عملیات حرارتی تولید کند. با استفاده از این تکنولوژی می توان فولاد ضدزنگ را جایگزین آلومینیوم کرد. با این آلیاژ قادریم با هزینه کمتر همان استحکام و وزن را بدست آوریم. کاربردهای قابل تصور برای این آلیاژ در شاسی (بدنه ماشین) سبک وزن، ابزار ورزشی و تجهیزات پزشکی است.

دیگر حوزه ها :

در دنیا بر روی حوزه های حفاظت کاتدی، آندی و ممانعت کننده کار قابل ملاحظه ای انجام نشده است. بر روی آندهای فدا برای پیشرفت در این حوزه ها نیازمند ایده پردازی و تشکیل جلساتی با حضور متخصصین خوردگی و نانوتکنولوژی می باشد. به عنوان مثال می توان بر روی آندهای فداشونده تکنولوژی نانو را اعمال کرد (در دانشگاه تهران در پروژه ای در این راستا تعریف شده است) تا بتوان بازده جریان این آندها را افزایش داد.

منبع :

شبکه تحلیلگران تکنولوژی ایران (حسین توکلی)

h-Daneshmand

