بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

طراحی و انتخاب مواد مهندسی

جلسه ششم
(فرآیند انتخاب مواد- ٤)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

عوامل اصلی موثر بر رفتار خوردگی مواد را می توان به صورت زیر طبقه بندی نمود:

- ✓ متغیرهای محیط خورنده
- ✓ متغیرهای طراحی
- ✓ متغیرهای ماده سازنده

به عبارت دیگر، رفتار مواد در محیط های خورنده با تغییرات جزئی در محیط، ماده سازنده و طراحی قطعه تغییر می کند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

متغیرهای موثر بر رفتار خوردگی مواد عبارتند از:

۱- شرایط محیطی (رطوبت، آلودگی و ...)
۲- حالت فیزیکی محیط یعنی جامد، مایع و گاز یا تلفیقی از آنها
۳- یونی شدن، هوادهی و مقدار اکسیژن محیط خورنده
٤- مقدار باکتری محیط

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

- در مواد فلزی، مهمترین عامل کنترل کننده خوردگی اتمسفری، میزان رطوبت موجود در هوا و در نهایت ایجاد محلول آبی در سطح فلز است.
- شرایط گرم و خشک یا سرد و یخی از محیط مرطوب خوردگی کمتری ایجاد می کنند.
- خطر خوردگی محیط تمیز نیز نسبت به محیط های صنعتی (دارای دی اکسید گوگرد) و محیط های دریایی (دارای نمک)، کمتر است.
- جهت استقرار فلز نسبت به نور، باد و یا منبع آلوده کننده نیز عامل موثر دیگری در آهنگ خوردگی اتمسفر بشمار می روند.

انتخاب مواد بر اساس مقاومت به خوردگی

- ✓ در سازه های مدفون در زیر خاک، ازدیاد تخلخل خاک و حضور آب سبب سرعت بیشتر خوردگی می شود.
- ✓ تخلخل علاوه بر اجازه دسترسی پیوسته سطح به اکسیژن، موجب فعالیت بیشتر میکروب های هوازی می شود که تغییرات هوادهی موضعی، مصرف پوشش آلی محافظ و تولید سولفید هیدروژن خورنده را به دنبال دارد.
- ✓ عموماً خورندگی خاک های گچی یا خشک ماسه ای به دلیل مقاومت الکتریکی زیاد، اندک بوده ولی خاک های رسی و نمکی بیشترین خورندگی را دارند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

- ✓ مقدار اکسیژن، نمک های محلول و مواد معلق در آب، آهنگ خوردگی سازه های مستغرق را کنترل می کنند.
- ✓ از آن جا که حل شدن هوا عامل ورود اکسیژن محلول در آب است، مقدار اکسیژن با تغییر عمق و سرعت جریان آب، عوض می شود.
- ✓ آب نرم و تازه خورندگی بیشتری از آب سخت دارد، زیرا رسوب کربنات باعث حفاظت سطح قطعه می شود.
- ✓ حضور یون های کلر در آب دریا افزایش رسانایی الکتریکی و سرعت خوردگی را سبب می شوند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

- ✓ حضور مواد آلی نظیر باکتری ها و جلبک ها در آب باعث کاهش آهنگ خوردگی در ناحیه تحت پوشش می شود، اما به علت هوازدایی موضعی در مجموع سبب تسریع هجوم خواهد شد.
- ✓ ازدیاد دمای آب سرعت بیشتر خوردگی را به دنبال دارد. در تاسیسات شیمیایی عواملی نظیر دما، غلظت مواد شیمیایی، سرعت سیال، درجه هوادهی، خلوص فلز و تنش اعمالی، سرعت خوردگی را تعیین می کنند.
- ✓ عموماً در صورتی که لایه اکسید یا محافظت کننده سطح بطور موضعی ناپایدار شده یا تخریب شود، سرعت خوردگی بشدت افزایش می یابد.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

متغیرهای طراحی موثر بر سرعت تهاجم خوردگی عبارتند از:

- ✓ تنش اعمالی به ماده در حال کاربرد
- ✓ دمای کارکرد قطعه
- ✓ سرعت نسبی حرکت محیط خورنده نسبت به ماده
- ✓ تماس سطحی بین ماده مورد نظر با سایر مواد
- ✓ احتمال وجود جریان های سرگردان
- ✓ هندسه و شکل ظاهری قطعه

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

مهم ترین عوامل موثر در مقاومت به خوردگی ماده عبارتند از:

- ✓ ترکیب شیمیایی و حضور و میزان آخال ها
- ✓ ماهیت و توزیع اجزای ریزساختاری
- ✓ کیفیت سطحی و پوشش
- ✓ فرآیند ساخت

عموماً مواد خالص مقاومت به خوردگی بالاتری دارند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

فولادهای کربنی و چدن ها

- ✓ مقاومت به خوردگی فولادهای کربنی و چدن ها با خواص مکانیکی مناسب و قیمت کم، بجز در برابر اسید سولفوریک غلیظ و قلیاها، متوسط است.
- ✓ کروم عامل افزایش مقاومت به خوردگی اتمسفری در فولادهاست و نیکل نیز مقاومت در برابر NaOH را تقویت می کند.
- ✓ حضور ۳٪ کروم، مقاومت به ایجاد پوسته های اکسیدی و سولفیدی را بهبود می دهد. فولادهای نرم تا دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتیگراد مقاوم به پوسته دار شدن هستند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

فولادهای زنگ نزن

- ✓ فولادهای زنگ نزن، دسته ای از فولادهای بسیار مقاوم به خوردگی با کاربردهای مهندسی گسترده هستند.
- ✓ این فولادها در محیط های حاوی کلر در حالت تحت تنش حتی از فولادهای ساختمانی نیز مقاومت به خوردگی کمتری دارند.
- ✓ در صورت فرآیند ساخت و عملیات حرارتی نامناسب در این فولادها، خوردگی بین دانه ای، بروز ترک در محیط خورنده و تحت تنش و شیاردار شدن و حفره دار شدن تشدید می شود.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

فولادهای زنگ نزن

- ✓ مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ نزن با افزایش مقدار کروم زیاد می شود، چون عامل مقاومت به خوردگی، حضور لایه نازک هیدروکسید کروم بر روی سطح آنهاست که یک لایه غیرفعال محسوب می شود.
- ✓ نیکل، عنصر پایدارکننده آستنیت است و حضور آن در فولادهای پرکروم سبب بهبود مقاومت در برخی از محیط های فاقد اکسیژن می شود.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

فولادهای زنگ نزن

- ✓ منگنز به پایداری آستنیت کمک کرده و می تواند جایگزین بخشی از نیکل شود، ولی سبب تغییر چندانی در مقاومت به خوردگی فولادهای پرکروم نمی شود.
- ✓ مولیبدن استحکام لایه غیرفعال را افزوده و مقاومت به ایجاد حفره را در مجاورت آب دریا زیاد می کند.
- ✓ عناصری چون مس، آلومینیم و سیلیسیم نیز اثر مثبت بر مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ نزن دارند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

نیکل

- ✓ نیکل مقاومت به خوردگی نسبتاً بالایی دارد و بخصوص برای نگهداری قلیاهای سوزآور بکار می رود. این ماده به ایجاد ترک در محیط خورنده کلردار و تحت تنش مقاوم است، ولی در محیط های سوزآور دارای آخال های محلول تحت تنش زیاد، مستعد به ترک خوردن است.
- ✓ اینکونل (78/16/6-Ni/Cr/Fe) دربرابر بسیاری از اسیدها مقاوم بوده و مقاومت بسیار زیادی در برابر نیترید شدن در دمای بالا دارد.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

نیکل

- ✓ آلیاژهای نیمونیک (80/20-Ni/Cr) در دماهای بالا از استحکام ویژه و مقاومت به سایش مناسبی برخوردارند.
- ✓ آلیاژهای مونل (70/30-Ni/Cu) خواص خوردگی مشابه Ni داشته و ارزان تر هستند و برای نگهداری آب دریا و آب شور جاری با سرعت زیاد بکار می روند. برای نگهداری اسید سولفوریک و دیگر اسیدهای غیراکسیدی نیز مفید هستند، اما مقاومت آنها در مقابل اسیدهای اکسید کننده نظیر اسید نیتریک، کلرید آهن، دی اکسید گوگرد و آمونیاک بسیار اندک است. .

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

مس

- ✓ مس از فلزات نجیب بوده و به خوردگی بسیار مقاوم است.
- ✓ مس با محیط های دریایی، شهری و صنعتی به خوبی سازگاری دارد و آب دریا و آب معمولی را به سادگی تحمل می کند.
- ✓ برنزهای قلع به بسیاری از محیط ها از جمله آب و خاک مقاوم هستند.
- ✓ افزودن فسفر، مقاومت به اکسایش آلیاژهای مس را بهبود می بخشد.
- ✓ برنزهای آلومینیم مقاومت خوبی در محلول های کلرید پتاسیم، اسیدهای معدنی غیراکسیدان و بسیاری از اسیدهای آلی دارند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

قلع

- ✓ بیش از نیمی از قلع تولیدی برای پوشش های محافظ فولاد و دیگر فلزات بکار می رود.
- ✓ علاوه بر مقاومت به خوردگی، قلع عنصری غیرسمی است و پوشش مناسبی در برابر مواد آلی می باشد.
- ✓ قلع به عنوان پوشش قوطی های فولادی جهت نگهداری فرآورده های غذایی و نوشیدنی بکار می رود. در قوطی های دربسته حاوی محصولات غذایی، قلع جزء فداشونده بوده و بدنه آهن را محافظت می کند. قلع در برابر آب نسبتا خالص و اسیدهای رقیق معدنی در صورت نبودن اکسیژن مقاوم است.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

سرب

- ✓ سرب عمدتاً برای کاربردهای مقاوم به خوردگی بخصوص در برابر اسید سولفوریک مصرف می شود.
- ✓ در مجاورت محیط خورنده، لایه ای سولفاتی، قلیایی و فسفاتی در سطح سرب شکل می گیرد که سبب محافظت آن می شود.
- ✓ از سرب برای نگهداری محلول های خنثی، آب دریا، خاک و از آلیاژ آن با ۶٪ مس برای نگهداری اسید سولفوریک، اسید کرومیک، اسید فلوئوریدریک و فسفر استفاده می کنند. HNO_3، HCl و اسیدهای آلی سبب خوردگی سرب می شوند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

آلومینیم

- ✓ با آن که آلومینیم فلزی فعال است، اما لایه اکسید آلومینیمی شکل گرفته در سطح سبب محافظت از خوردگی در اکثر محیط ها می شود.
- ✓ این لایه در مقابل اکثر محلول های اسیدی و خنثی کاملاً پایدار بوده، اما در برابر قلیاها بسیار ضعیف است.
- ✓ لایه اکسیدی مذکور ترکیبات آلی مختلف از جمله اسیدهای چرب را به سادگی تحمل کرده و در بیشتر محیط ها سریع تشکیل می شود و می توان آن را به صورت مصنوعی با آندایزینگ ایجاد کرد.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

آلومینیم

- آلیاژهای آلومینیوم غیرقابل عملیات حرارتی و آلومینیم خالص، مقاومت بالایی به خوردگی عمومی داشته، اما به علت وابستگی مقاومت آنها به لایه اکسید سطحی، مستعد به خوردگی موضعی در شیارها و زیر پوشش ها هستند.
- در آلیاژهای قابل عملیات حرارتی (سری های 2XXX و 7XXX)، به علت داشتن مس، اولویت اول استحکام است و خوردگی در مقام دوم قرار دارد، چون مقاومت کمتری به خوردگی عمومی دارند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

تیتانیم

- ✓ تیتانیم لایه اکسیدی بسیار پایدار، چسبنده و محافظ در سطح دارد، لذا مقاومت عالی به خوردگی داشته و در دمای محیط به انواع خوردگی ها در آب دریا و محلول های کلردار مصونیت دارد.
- ✓ تیتانیم در برابر محلول های داغ اکسیدان قوی نیز مقاوم هستند.
- ✓ تیتانیم مقاومت به خوردگی سایشی مناسبی نیز در آب دریا دارد. در برابر گاز کلر مرطوب مقاوم است، اما اگر رطوبت به زیر ۰/۵ درصد برسد، خوردگی سریعاً روی می دهد. اسید فلوئوریدریک از موادی است که سبب تخریب لایه اکسید تیتانیم محافظ می شود.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

تانتالیم و زیرکنیم

- تانتالیم در دمای کمتر از ۱۵۰ درجه سانتی گراد نسبت به تمامی ترکیبات آلی بی اثر هستند، اما به اسید فلوئوریدریک و اسید سولفوریک مقاوم نیست. زیرکنیم نیز دربرابر اسیدهای معدنی، محلول ها و مذاب های قلیایی و اکثر محلول های آلی و نمک ها مقاوم است.
- زیرکنیم تا دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد در هوا، بخار، CO_2، SO_2 و O_2 مقاومت عالی به اکسایش دارد. این فلز در برابر اسید فلوئوریدریک، کلر مرطوب، محلول کلرید آهن، تیزاب سلطانی (مخلوط اسید نیتریک غلیظ و اسید کلریدریک غلیظ به نسبت حجمی ۱ به ۳) و کلرید مس خورده می شود.
- با آن که کاربرد این دو فلز عمدتاً اقتصادی نیست، اما در برخی از مصارف، تنها مواد مقاوم هستند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

فلزات شیشه ای

- ✓ فلزات شیشه ای یا آلیاژهای بی شکل حاصل از سریع سرد کردن مذاب که فاقد ساختار بلوری هستند، مقاومت به خوردگی نزدیک به تانتالیم و فلزات نجیب دارند. نمونه ترکیب آنها به شرح زیر است:
- ✓ ۲۰-۸ ٪ کروم، ۱۳ ٪ فسفر، ۷ ٪ کربن و بقیه آهن
- ✓ ۱۰ ٪ کروم، ۲۰-۵ ٪ نیکل، ۱۳ ٪ فسفر، ۷ ٪ کربن و بقیه آهن
- ✓ این مواد به سادگی غیرفعال شده و با داشتن ۸ ٪ کروم، مقاومت به خوردگی بهتری از فولادهای زنگ نزن معمولی دارند. مقاومت به حفره دار شدن این فلزات شیشه ای مساوی یا حتی بهتر از آلیاژهای پرنیکل و تیتانیم است.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

پلاستیک ها و کامپوزیت ها

- ✓ پلاستیک ها و کامپوزیت ها به علت مقاومت عالی به خوردگی، در بسیاری از مصارف جایگزین فلزات شده اند (نظیر سپر خودرو، گل گیر و دیگر اجزای بدنه خودروها).
- ✓ جذب رطوبت در برخی پلاستیک ها سبب افت استحکام و مقاومت الکتریکی و همچنین ایجاد تورم می شود.
- ✓ اپوکسی ها در بین پلاستیک های گرماسخت، بهترین تلفیق مقاومت به خوردگی و خواص مکانیکی را دارا هستند.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

پلاستیک ها و کامپوزیت ها

- ✓ پلیمرها در حلال های آلی خورده می شوند. عموماً پلاستیک های گرمانرم بلورین نظیر تفلون و نایلون ها نسبت به انواع بی شکل (نظیر پلی کربنات ها) از پایداری بالاتری برخوردار هستند. فلوئوروکربنات ها نظیر پلی تترا فلوئورواتیلن (PTFE)، از خنثی ترین مواد مهندسی از لحاظ شیمیایی هستند که نسبت به کلیه مواد شیمیایی صنعتی خنثی بوده و در برابر اسید نیتریک داغ، اسید فلوئوریدریک و اکثر حلال های آلی مقاومند.
- ✓ پلاستیک های گرما نرم دیگر نظیر پلی استن ها و پلی فنیلین سولفیدها نیز از مقاومت عالی به مواد شیمیایی حتی در دماهای نسبتا بالا برخوردارند.

Company Logo

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

مواد سرامیکی

- ✓ اکثر مواد سرامیکی از مقاومت شیمیایی مناسبی در برابر اکثر مواد بجز اسید فلوئوریدریک برخوردارند.
- ✓ شیشه ها از جمله مواد بسیار پایدار شیمیایی بوده و در برابر آب، محلول های آبی، اکثر اسیدها، قلیاها و نمک ها مقاوم هستند. البته انواع مختلفِ سرامیک ها عملکرد نسبی بسیار متفاوتی در محیط های مختلف دارند. مثلاً سیلیکات های بور و شیشه های سیلیسی دارای مقاومت بسیار بهتری در آب جوش و محلول های رقیق اسیدی داغ نسبت به شیشه های قلیایی سرب دار و آهک سوددار هستند.
- ✓ لعاب های حاوی شیشه های سیلیکات بور و سیلیکات ها به همراه گدازآورها
- ✓ برای تسهیل اتصال ذرات، مقاومت بسیار عالی به خوردگی داشته و برای محافظت سطح فولادها و چدن ها بکار می روند.

Company Logo

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

روش های دیگر حفاظت

- در مواردی، هیچ ماده ای از لحاظ اقتصادی مجموعه مقاومت به خوردگی و خواص مورد نیاز دیگر را بطور هم زمان تامین نمی کند. در این موارد می توان ماده ای ارزان با خواص فیزیکی و مکانیکی مورد نظر را استفاده کرد و سطح آن را با یک لایه محافظ مناسب پوشاند.
- این محافظت می تواند براساس پوشش فداشونده، غیرفعال کننده، ممانعت کننده خوردگی، ایجاد مانع یا حفاظت کاتدی باشد.

انتخاب مواد براساس مقاومت به خوردگی

روش های دیگر حفاظت

- ✓ پوشش های محافظت کننده در برابر خوردگی می توانند انواع فلزی (نجیب تر از فلز پایه) نظیر پوشاندن سطح فولاد با قلع باشند. البته اگر ترک یا حفره در پوشش ایجاد شود، شدت خوردگی فلز پایه از حالت بدون پوشش شدیدتر است. اگر فلز پوشش نسبت به فلز پایه، آند باشد، با تشکیل یک پیل گالوانیک، پوشش به صورت آندی حل شده و فلز پایه از خوردگی مصون می ماند. پوشش های آلومینیم، روی و کادمیم بر روی فولاد بر این اساس هستند.
- ✓ پوشش های آلی (نظیر اکثر پلیمرها همچون اپوکسی، پلی آمید، وینیل و ...) و لعاب های شیشه ای یا چینی (پوشش های معدنی) نظیر لایه های اکسیدهای کبالت و نیکل برای فولاد و اکسیدهای سرب برای چدن، انواع دیگر پوشش های محافظ در برابر خوردگی هستند.