

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

خوردگی برای همه

نویسنده:

الک گرویسمن

ترجمه:

دکتر ایرج مرادی قراتلو

کارشناس پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

۱۳۹۷

سرشناسه	گرویسمن، الک (Alec) Groysman, A.
عنوان و نام پدیدآور	خوردگی برای همه / نویسنده الک گرویسمن؛ مترجم ایرج مرادی قراتلو.
مشخصات نشر	اصفهان: هرمان، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۴۳۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۵۰۰۰۰۰ ریال: 978-622-6134-25-5
وضعیت فهرست نویسی: فیپا	
یادداشت	عنوان اصلی: Corrosion for everybody, c2010.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	خوردگی
موضوع	Corrosion and anti-corrosives:
شناسه افزوده	مرادی قراتلو، ایرج، ۱۳۶۰ - ، مترجم
رده بندی کنگره	TA۴۶۲/گ۴خ ۹ ۱۳۹۷
رده بندی دیویی	۶۲۰/۱۱۲۲۳:
شماره کتابشناسی ملی	۵۳۲۳۹۶۵:



اصفهان - خیابان چهارباغ بالا - نرسیده به زمزم - پلاک ۲؛ شماره تماس: ۰۹۱۳۱۱۷۲۶۴۲

نام کتاب: خوردگی برای همه	نویسنده: الک گرویسمن
مترجم: ایرج مرادی قراتلو	نوبت چاپ:
مدیر تولید: سید محمد رضا سمسارزاده	اول
صفحه آرا: اکرم ملک نژاد	سال چاپ: ۱۳۹۷
طراح جلد: سحر راد هوش	تیراژ: ۱۰۰۰ جلد
پایگاه اینترنتی:	قیمت: ۵۰۰۰۰ تومان
www.iranpub.com	شماره استاندارد بین المللی کتاب:
	۹۷۸-۶۲۲-۶۱۳۴-۲۵-۵

فهرست مطالب

پیش گفتار	۹
فصل اول مکانیسم خوردگی و عوامل خوردگی	۱۱
تعریف خوردگی	۱۱
فلزات و نافلزات	۱۴
پیش‌بینی خوردگی فلزات	۱۷
سینتیک خوردگی	۲۱
اندازه‌گیری نرخ خوردگی	۲۳
مدت زمان آزمایش خوردگی	۲۴
مکانیسم‌های خوردگی	۲۶
الکترولیت‌ها و غیرالکترولیت‌ها	۲۷
خوردگی فلزات به وسیله غیرالکترولیت‌ها	۲۷
خوردگی فلزات در حضور الکترولیت‌ها	۲۸
الکترودهای مرجع	۳۰
فهرست نیروی محرکه الکتریکی	۳۳
مکانیسم خوردگی الکتروشیمیایی (خوردگی به وسیله الکترولیت‌ها)	۳۵
مکانیسم الکتروشیمیایی روی یک آلیاژ یا فلز سالم مجزا	۳۸
خوردگی آهن در آب و محلول‌های نمک آبی	۴۷
خوردگی آهن و فولادهای کربنی در اسیدها	۵۲
عوامل خوردگی	۵۵
تأثیر pH	۵۶
تأثیر نمک‌های محلول در آب روی خوردگی	۶۰
تأثیر مواد تشکیل‌دهنده کمپلکس‌های شیمیایی با فلزات بر خوردگی	۶۳
تأثیر کاتیون‌های شرکت‌کننده در واکنش‌های کاتدی	۶۴
تأثیر رسانایی الکتریکی محیط	۶۴
تأثیر اکسیژن محلول	۶۷
تأثیر دما	۶۸

۷۰ پیل اختلاف هوادهی

۲۳ فصل دوم پدیده‌های خوردگی

۷۴ خوردگی یکنواخت یا عمومی

۷۶ خوردگی غیر یکنواخت یا موضعی

۷۷ خوردگی حفره‌ای

۸۱ خوردگی حفره‌ای ناشی از عواملی غیر از کلریدها

۸۴ خوردگی گالوانیکی

۸۶ عوامل مؤثر بر خوردگی گالوانیکی

۸۷ فهرست نیروی محرکه الکتریکی گالوانیکی

۹۰ پیش‌بینی نرخ خوردگی گالوانیکی با استفاده از منحنی‌های قطبش الکتروشیمیایی

۹۱ تبادل پتانسیل‌های الکتروود بین فلزات غیرهمجنس

۹۲ نسبت بین سطوح آند و کاتد

۹۴ فاصله بین آند و کاتد

۹۴ خوردگی گالوانیکی در حضور محصولات خوردگی روی فلزات

۹۵ خوردگی گالوانیکی ناشی از حضور کاتیون‌های فلزی در آب

۹۶ خوردگی گالوانیکی در جو

۹۶ روش‌های جلوگیری از خوردگی گالوانیکی

۹۷ خوردگی‌ای که با مشارکت موجودات ذره‌بینی رخ می‌دهد

۹۹ موجودیت موجودات ذره‌بینی

۱۱۶ پیشگیری از MIC

۱۲۴ خوردگی فرسایشی و کاویتاسیون

۱۲۵ مکانیسم خوردگی فرسایشی

۱۳۰ دیگر پدیده‌های خوردگی

۱۳۰ خوردگی سایشی

۱۳۱ خوردگی بین‌دانه‌ای

۱۳۳ آلیاژدایی

۱۳۶ ترک ناشی از خوردگی تنش

آسیب هیدروژنی	۱۴۱
خوردگی خستگی	۱۴۴
فصل سوم خوردگی در محیط‌های طبیعی و صنعتی	۱۴۷
خوردگی در آب	۱۴۷
پیش‌بینی خوردگی آب بر اساس ترکیب شیمیایی	۱۵۴
روش پیشگیری از خوردگی فلز در آب	۱۵۴
خوردگی در جو	۱۵۵
عوامل مؤثر بر خوردگی جو	۱۵۷
مکانیسم خوردگی جوی	۱۶۱
روش‌های پیشگیری و کنترل خوردگی جوی فلزات	۱۶۲
خوردگی نقطه شبنم	۱۶۸
خوردگی در زیر عایق کاری حرارتی	۱۷۳
انواع عایق کاری	۱۷۴
مکانیسم خوردگی	۱۷۴
پیشگیری از خوردگی در زیر عایق حرارتی	۱۷۶
خوردگی در سوخت‌ها	۱۷۸
مواد شیمیایی مصنوعی در بنزین، پلیمرها و اکولوژی	۱۸۲
تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی سوخت به دلیل خوردگی فلزی	۱۸۳
خوردگی مخازن ذخیره سوخت‌ها و کنترل خوردگی آنها	۱۸۴
AST های بنزین	۱۸۷
AST های نفت گاز	۱۸۷
مخازن سنگین ذخیره‌سازی گازوئیل	۱۸۸
مخازن ذخیره‌سازی نفت خام	۱۸۹
تکنیک‌های ضد خوردگی برای AST ها	۱۸۹
خوردگی و کنترل خوردگی در حضور اسیدهای نفتیک	۱۹۴
اقدامات کاهش	۱۹۸

فصل چهارم اقدامات کنترل خوردگی ۲۰۱

استفاده از پوشش ها ۲۰۳

پوشش های آلی ۲۰۳

آماده سازی سطح ۲۰۸

انتخاب سیستم پوشش دهی ۲۱۳

پوشش های فلزی ۲۱۴

روش های الکتروشیمیایی کنترل خوردگی ۲۲۵

حفاظت کاتدی ۲۲۶

معیارهای حفاظت کاتدی ۲۳۲

استفاده از پوشش های آلی به همراه حفاظت کاتدی ۲۳۲

محدودیت ها و معایب حفاظت کاتدی ۲۳۳

تغییر شیمی محیط ۲۳۴

بازدارنده های خوردگی ۲۳۵

بازدارنده های خوردگی در آب و محلول های آبی الکترولیت ها ۲۳۶

بازدارنده های خوردگی در محیط اسیدی (بازدارنده های قطعه شویی) ۲۴۴

مکانیسم کنترل خوردگی با بازدارنده ها ۲۴۴

عوامل مؤثر بر بهره وری بازدارنده های خوردگی ۲۴۵

بازدهی بازدارنده ۲۴۶

استفاده از بازدارنده های خوردگی و چندین توصیه ۲۴۷

بازدارنده ها و محیط زیست ۲۴۸

نتیجه گیری ۲۴۹

فصل پنجم پایش خوردگی ۲۵۱

خوردگی مجاز ۲۵۵

روش های پایش خوردگی ۲۵۶

روش های فیزیکی پایش خوردگی ۲۶۰

کنترل محیط (روش های تجزیه شیمیایی، فیزیکی - شیمیایی، فیزیکی و میکروبیولوژیکی) ۲۷۵

پایش فعالیت میکروبی روی فلزات ۲۷۷

۲۸۰	آزمون انباشت رسوب (روش مقاومت انتقال حرارت)
۲۸۱	پایش هیدروژن
۲۸۲	روش های الکتروشیمیایی
۲۸۵	اندازه گیری پتانسیل اکسایش - کاهش (ORP)
۲۸۶	اندازه گیری پتانسیل خوردگی تجهیزات فلزی
۲۸۸	روش مقاومت قطبش خطی (LPR)
۲۹۲	اندازه گیری های نوین الکتروشیمیایی (ENM)
۲۹۵	آمپر متر با مقاومت صفر (ZRA)
۲۹۶	طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)
۲۹۸	تحلیل اعوجاج هارمونیک (HDA)، یا تحلیل هارمونیک (HA)
۲۹۹	پایش خوردگی جو
۲۹۹	پایش خوردگی برخط در سیستم های صنعتی
۳۰۲	نتیجه گیری

فصل ششم جنبه های بشر دوستانه علم و فناوری خوردگی ۳۰۷

۳۰۷	تاریخ تکامل دانش درباره خوردگی
۳۰۹	عهد باستان
۳۲۰	فلزات و عرفان
۳۲۱	عصر کیمیاگری
۳۲۴	از کیمیاگری تا شیمی (۱۵۰۰-۱۷۹۱)
۳۲۶	کشف فلزات جدید
۳۲۷	تعریف «خوردگی»
۳۳۰	دوران «رنسانس» (۱۷۹۱-۱۸۹۰)
۳۳۸	عصر «باروک» (۱۸۹۰-۱۹۳۵)
۳۴۳	دوره «کلاسیک» (۱۹۳۵-۱۹۶۰)
۳۴۶	دوره «مدرن» (پس از ۱۹۶۰)
۳۴۸	نتیجه گیری
۳۴۹	خوردگی و فلسفه

۳۵۰.....	دوگانگی و عدم قطعیت در خوردگی
۳۵۱.....	دیالکتیک خوردگی
۳۵۴.....	زمان در خوردگی، فلسفه و هنر
۳۵۶.....	خوردگی و آتروپی
۳۵۷.....	کاربردهای سودمند پدیده‌های خوردگی
۳۶۰.....	خوردگی و هنر
۳۷۳.....	فلسفه پیوند بین خوردگی و هنر

پیوست‌ها..... ۳۷۵

۳۷۷.....	پیوست الف ترمودینامیک اکسیداسیون آهن و فولادهای کربنی در آب
۳۸۱.....	پیوست ب پتانسیل الکتروود برگشت‌پذیر و برگشت‌ناپذیر
۳۹۱.....	پیوست ج سینتیک الکتروشیمیایی و منحنی‌های قطبش
۴۰۱.....	پیوست د انفعال
۴۰۷.....	پیوست ه حلالیت اکسیژن در آب و محلول‌های آبی الکتrolیت‌ها
۴۱۳.....	پیوست و ترکیبات شیمیایی آلیاژها
۴۱۵.....	پیوست ز آفت‌کش‌های مورد استفاده در صنعت
.....	پیوست ح خواص فیزیکی - شیمیایی نفت خام، فرآورده‌های نفتی / سوخت‌ها، نفتتیک، و برخی از اسیدهای
۴۱۹.....	آلیفاتیک
۴۲۳.....	پیوست ط شناسایی محصولات خوردگی با توجه به رنگ آنها

خاتمه..... ۴۲۹

پیش گفتار

موضوعاتی مانند سیاست، ورزش، پزشکی، آب و هوا، اقتصاد، آموزش، هنر، و البته، خوردگی وجود دارند که بیشتر مردم همواره قادر به گفتگو در مورد آن‌ها هستند. زنگ زدگی در اتومبیل‌ها، لوله‌ها، سقف‌ها و باغچه‌ها را همه مشاهده کرده‌اند. جرم سبز روی مجسمه‌های برنزی، تندیس‌ها و سکه‌های باستانی را همه دیده‌اند. مسلماً می‌دانید که بی‌آب ماندن در زمان انجام تعمیرات ضروری به دلیل سوراخ‌های خوردگی ایجاد شده در لوله‌های آب، چقدر ناخوشایند است. تقریباً کسی نیست که با این پدیده پردردسر مربوط به تخریب و تباهی فلزات و محیط برخورد نکرده باشد. خوردگی زمانی اتفاق می‌افتد که فلز در تماس با محیط قرار بگیرد (یا برعکس). بی‌شک انسان‌های ماقبل تاریخ این پدیده را با هفت فلزی که برای آن‌ها شناخته شده بود (طلا، نقره، مس، روی، آهن، سرب و جیوه)، مشاهده کردند. فلزکاران باستان احتمالاً اولین کسانی بودند که خوردگی را در طی عمل‌آوری و ساخت فلزات و آلیاژها مشاهده کردند. اما به دلیل فقدان دانش شیمیایی، برهم‌کنش بین فلزات و محیط را نتوانستند شرح دهند. قوانین شیمی بعدها در اواخر قرن ۱۸ کشف شد. بنابراین، می‌توان گفت که مردم از حدود ۲۰۰ سال قبل، شروع به مطالعه خوردگی کردند، زمانی که اصول اصلی واکنش‌های شیمیایی به وسیله آنتونی لاوزیه و شیمیدانان بعد از او شناسایی و اثبات شد.

کشف بسیاری از مواد شیمیایی (به ویژه اسیدهای معدنی) به وسیله کیمیاگران در قرن‌های ۱۲ و ۱۳، کشف فلزات جدید در قرن‌های ۱۸ و ۱۹، و اصول اصلی الکتروشیمی در قرن نوزدهم، به مطالعه پدیده‌های خوردگی شدت بخشید. در سال ۱۹۲۴ خوردگی به عنوان یک علم فقط در انگلستان تدریس می‌شد. امروزه رشته دانشگاهی خوردگی در حدود ۳۰۰ دانشگاه در سراسر دنیا تدریس می‌شود. یادگیری خوردگی به عنوان یک پدیده و واکنش فیزیکی - شیمیایی با محیط، از دهه ۱۹۳۰ شروع شد. پیشرفت صنایع و فرآیندهای عملیاتی در شرایط سخت نیز انگیزه‌ای قوی برای تحقیقات در خوردگی ایجاد کرد. در طول ۷۰ سال گذشته کتاب‌های بسیاری در مورد خوردگی به زبان‌های مختلف نوشته شده است. هر ماه مجلات ویژه خوردگی زیادی در کشورهای مختلف منتشر می‌شوند و هر ساله کنفرانس‌های بسیاری برگزار می‌شود. مجامع مختص خوردگی در کشورهای زیادی سازمان یافته‌اند. در مورد خوردگی و روش‌های بازدارنده ضد خوردگی، یک انفجار اطلاعات وجود دارد.

علی‌رغم این اتفاقات، هنوز هم پدیده خوردگی هر روز در تمام بنگاه‌های اقتصادی، ساختمان‌ها، منازل، و در تجهیزات مختلف و سازه‌های اطراف ما رخ می‌دهد. بسیاری از متخصصان و غیرمتخصصان می‌خواهند

بدانند که فولاد زنگ‌زن چرا خورده می‌شود. چرا شکاف‌های خوردگی در لوله‌های آب تشکیل می‌شود؟ چرا جواهرات نقره سیاه می‌شوند؟ و خیلی چیزهای دیگر.

من وقتی بچه بودم کتاب‌هایی مانند سرگرمی‌های فیزیکی و سرگرمی‌های ریاضیات طرفداران زیادی داشت. در اتحاد جماهیر شوروی سابق در بین دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ مجله شیمی و زندگی پرفردار بود. هر شخصی، بدون آموزش و دانش ویژه‌ای در شیمی و فیزیک، می‌توانست از مطالعه این مجلات لذت برده و بسیاری از چیزها و پدیده‌های علمی را درک کند.

خوردگی، از یک طرف پدیده بسیار ساده‌ای به نظر می‌آید، چون اثرات مخرب آن مانند زنگ، حفره‌ها، ترک‌ها و سوراخ‌ها را مشاهده می‌کنیم. از طرف دیگر، خوردگی جنبه‌های زیادی دارد، و برای تشخیص و درک همه آنها، متخصصان باید شیمی، الکتروشیمی، شیمی فیزیک، متالورژی، فیزیک، الکتریسته و علم مواد را بلد باشند.

امروزه، افراد زیادی با شغل‌های مختلف علاقه‌مند به خوردگی هستند: باستان‌شناسانی که با سکه‌های باستانی و مصنوعات ساخته شده از مس، برنز و آهن سروکار دارند، مجسمه‌سازهایی که کارهای هنری خود را از فلزات و آلیاژهای مختلف می‌سازند، معمارانی که ساختمان و عمارت می‌سازند، دکترهایی که با ایمپلنت‌های فلزی، اندام‌های مصنوعی و آلیاژهای دندانپزشکی سروکار دارند، وکلایی که به شکایت‌های مربوط به مسائل خوردگی موکلانشان در کارخانه‌هایی که کار می‌کنند یا ساختمان‌هایی که زندگی می‌کنند، رسیدگی می‌کنند. از این رو سعی کرده‌ام طوری درباره خوردگی بنویسم که هم برای متخصصان و هم برای غیرمتخصصان حوزه خوردگی، معتبر و جالب باشد.

خوردگی معمولاً احساساتی منفی در افراد ایجاد می‌کند، و بسیاری از ما آن را پدیده‌ای خطرناک می‌بینیم. متأسفانه، مردم روی دیگر سکه را نمی‌بینند. در انتهای این کتاب می‌خواهم پدیده خوردگی را از دیدگاهی غیرمتداول، یعنی، رابطه بین خوردگی، تاریخ، فلسفه و هنر نشان دهم. همچنین تمایل دارم نشان دهم که موضوع خوردگی جالب است و به واسطه مطالعه موضوع، می‌تواند لذت‌بخش و بدیهی باشد. من این کتاب را با این احساسات ذهنی نوشته‌ام و امیدوارم شما از آن لذت ببرید. اکنون از شما برای سفر در دنیای خوردگی دعوت می‌کنم.