

۱۵۰۰۲۰۶

مبانی خوردگی فلزات و آلیاژها

مؤلفین:

میلاد جور شعبانی

مهدیه راضی اسرمی

زهرا شریعتی نیا

موسسه تحقیقات علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	جور شعبانی، میلاد، ۱۳۶۶ -
عنوان و نام پدیدآور	مبانی خوردگی فلزات و آلیاژها / مولفین میلاد جور شعبانی، مهدیه راضی اسرمی، زهرا شریعتی نیا.
مشخصات نشر	تهران: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، انتشارات، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	۳۲۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۱۹۵۰۰۰ ریال: 2-253-210-964-978: ISBN;
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
یادداشت	Principles of metals and alloys Corrosion
یادداشت	واژه نامه.
موضوع	خوردگی -- خوردگی -- Corrosion and anti-corrosives
موضوع	خوردگی -- کنترل -- Corrosion control industry
شناسه اف‌رده	راضی اسرمی، مهدیه، ۱۳۶۷ -
شناسه اف‌رده	شریعتی نیا، زهرا، ۱۳۵۵ -
شناسه فزود	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
رده‌بندی دکن	۱۳۹۶م ۲ج/ ۴۴۲ TA
رده‌بندی دیو	۶۲۰/۱۱۰۳
شماره کتابشناسی ملی	۴۶۷۹۲۸۷

این کتاب بسمت مور ۹۵/۱۰/۰۸ شورای نشر کتاب جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار دریافت نموده است.



مبانی خوردگی فلزات و آلیاژها

مولفین: میلاد جور شعبانی، مهدیه راضی اسرمی، زهرا شریعتی نیا

ناشر: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

مدیر مسؤول: دکتر مهدی ورسه‌ای

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۳۹۶

قطع: وزیری

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۱۹۵۰۰۰ ریال

طراح: آرزو انصاری

چاپخانه: اصیل

ISBN: 978-964-210-253-2

شابک: ۲-۲۵۳-۲۱۰-۹۶۴-۹۷۸

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶+ تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶+ فروشگاه اینترنتی:

www.idamirkabir.ac.ir

پیام انتشار

أَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّخْدِ

توانم دسازى پايه‌هاى علمى دانشگاه‌ها و مراکز تحقيقاتى کشور از وظائف اصلى سياست‌گذاران و برنامه‌ريزان نظام مقدس جمهورى اسلامى ايران مى‌باشد. اين مهم، ضمن افزايش اقتدار علمى کشور در عرصه‌هاى بين‌المللى؛ زمينه‌ساز استقلال اقتصادى با محوريت يافته‌هاى فن‌آورانه و دانش‌بنيان مى‌گردد که خود از ارکان على‌توجه پايدار به‌شمار مى‌آيد. همچنين واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسى به اطلاعات روز علمى و تکنولوژى‌هاى مدرن؛ نياز اوليه براى توانمندسازى پايه‌هاى علمى به‌شمار مى‌رود.

بر اين اساس جهادگران بهادار، کنگره واحد صنعتى اميرکبير با مديريت جهادى خود علاوه بر فعاليت‌هاى فرهنگى، پژوهش‌هاى فن‌آورانه و نيز آوازه‌دارى تخصصى فن‌آور و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمى متخصصان و دانشگاهيان فرهيخته کشور و همچنين ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنيا توسط «انتشارات جهاددانشگاهى واحد صنعتى اميرکبير» «پلى تکنیک تهران» که يکى از معتبرترين انتشارات دانشگاهى در حوزه علوم پايه و مهندسى مى‌باشد؛ به وظيفه انقلابى و اعتقادى خویش جامه عمل پوشانده و اميدوار است بتواند نيازهاى علمى پژوهشگران، دانشجويان و پويندگان راه علم را در تحقق آرمان‌هاى اصيل انقلاب فراهم سازد.

اين کتاب به روح پرفتوح معمار کبير انقلاب، شهدا و ايثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ويژه شهداى گرانقدر جهاددانشگاهى و دانشگاه صنعتى اميرکبير، تقديم مى‌گردد. اميد است دانشگاهيان و فعالين عرصه‌هاى علم و فناورى کشور، پوينده راه اين شهيدان والا مقام همچون شهداى جهاد علمى، در محيط مقدس و انسان ساز دانشگاه باشند.

از همه عزيزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا مى‌شود اين انتشارات را از نظرات تخصصى و پيشنهادهات راهگشاي خود در جهت ارتقاء سطح علمى کتب منتشره و همچنين گسترش زمينه‌هاى علمى آن‌ها، بهره‌مند سازند.

هماره در پرتو الطاف الهى پيروز و سربلند باشيد

انتشارات جهاددانشگاهى واحد صنعتى اميرکبير

فهرست

فصل ۱: مقدمه‌ای بر علم خوردگی و اثرات نامطلوب آن..... ۱۵

۱-۱ مقدمه ۱۵

۲-۱ تعریف خوردگی ۱۶

۳-۱ خسارات ناشی از خوردگی ۱۶

۱-۳-۱ خسارات از جنبه ایمنی و امنیت ۱۷

۲-۳-۱ خسارات مستقیم مالی ۱۷

۳-۳-۱ خسارات غیرمستقیم مالی ۱۸

۴-۱ برآورد هزینه‌های خوردگی ۱۹

مراجع ۲۰

فصل ۲: مبانی الکتروشیمی و ترمودینامیک خوردگی..... ۲۱

۱-۲ مفاهیم پایه الکتروشیمی و اصطلاحات آن..... ۲۱

۲-۲ تعادلات شیمیایی و معادله نرنست..... ۲۴

۳-۲ ارتباط بین ترمودینامیک و خوردگی..... ۲۹

۴-۲ خوردگی از دیدگاه الکتروشیمی..... ۳۰

۵-۲ الکترودهای مرجع..... ۳۴

۱-۵-۲ الکترواستاندارد هیدروژن..... ۳۴

۲-۵-۲ الکترودهای جیوه-کلور جیوه (الکترو کالومل)..... ۳۵

۳۶	۶-۲ دیگرام‌های پوربه.....
۴۰	مراجع.....
۴۱	فصل ۳: مبانی سینتیک خوردگی.....
۴۱	۱-۳ واحدهای بیان سرعت خوردگی.....
۴۲	۲-۳ چگالی جریان مبادله.....
۴۸	۳-۳ پدیده ی پلاریزاسیون یا قطبی شدن.....
۴۸	۱-۳-۳ پلاریزاسیون فعال سازی.....
۴۹	۲-۳-۳ پلاریزاسیون غلبه ای.....
۵۲	۴-۳ تئوری پتانسیل مختلط.....
۵۹	۵-۳ رویین شدن یا غیره شدن.....
۶۳	۶-۳ کاربرد تئوری پتانسیل مختلط.....
۶۳	۱-۶-۳ اثر یک اکسیدکننده.....
۶۳	۲-۶-۳ اثر سرعت حرکت.....
۶۵	۳-۶-۳ اثر جفت شدن گالوانیکی.....
۷۰	۴-۶-۳ محاسبه ی سرعت خوردگی.....
۷۲	مراجع.....
۷۳	فصل ۴: انواع خوردگی.....
۷۴	۱-۴ خوردگی یکنواخت.....
۷۵	۱-۱-۴ روش‌های جلوگیری از خوردگی یکنواخت.....
۷۵	۲-۴ خوردگی گالوانیکی.....
۷۹	۱-۲-۴ روش‌های جلوگیری از خوردگی گالوانیکی.....
۸۰	۳-۴ خوردگی شیاری.....
۸۴	۱-۳-۴ روش‌های جلوگیری از خوردگی شیاری.....

- ۴-۴ خوردگی فیلامنتی ۸۵
- ۴-۴-۱ روش‌های جلوگیری از خوردگی فیلامنتی یا رشته‌ای ۸۸
- ۴-۵ خوردگی حفره‌ای ۸۸
- ۴-۵-۱ پارامترهای موثر بر خوردگی حفره‌ای ۹۱
- ۴-۵-۲ روش‌های جلوگیری از خوردگی حفره‌ای ۹۳
- ۴-۶ خوردگی بین‌دانه‌ای یا مرزدانه‌ای ۹۳
- ۴-۶-۱ روش‌های مبارزه با خوردگی بین‌دانه‌ای ۹۶
- ۴-۷ خوردگی حدایشی ۹۸
- ۴-۷-۱ مانع از پیشروی حدایشی ۹۹
- ۴-۷-۲ روش‌های جلوگیری از زدایش روی ۹۹
- ۴-۸ خوردگی سایشی ۱۰۰
- ۴-۸-۱ فاکتورهای موثر بر خوردگی سایشی ۱۰۱
- ۴-۸-۲ روش‌های مبارزه با خوردگی سایشی ۱۱۰
- ۴-۹ خسارت حبابی ۱۱۱
- ۴-۹-۱ روش‌های جلوگیری از خسارات حبابی ۱۱۲
- ۴-۱۰ خوردگی فرسایشی ۱۱۴
- ۴-۱۰-۱ روش‌های جلوگیری از خوردگی فرسایشی ۱۱۶
- ۴-۱۱ خوردگی توام با تنش ۱۱۶
- ۴-۱۱-۱ مکانیسم خوردگی تنشی ۱۲۲
- ۴-۱۱-۲ روش‌های جلوگیری از خوردگی تنشی ۱۲۳
- ۴-۱۲ خوردگی خستگی ۱۲۴
- ۴-۱۲-۱ روش‌های پیشگیری از خوردگی خستگی ۱۲۵
- ۴-۱۳ خسارت هیدروژنی ۱۲۶
- ۴-۱۳-۱ تاول زدن هیدروژنی ۱۲۶

۱۲۷	۲-۱۳-۴ تردی هیدروژنی
۱۲۸	۳-۱۳-۴ زدایش کرین
۱۲۹	۴-۱۳-۴ روش‌های جلوگیری از تاول زدن هیدروژنی
۱۲۹	۵-۱۳-۴ روش‌های جلوگیری از تردی هیدروژنی
۱۳۰	مراجع
۱۳۳	فصل ۵: مس‌های جلوگیری از خوردگی
۱۳۳	۱-۵ آلومین‌های فلز مقاوم به خوردگی
۱۳۴	۱-۱-۵ فولاد کم‌آلیاژ بدون آلیاژ
۱۳۵	۲-۱-۵ چدن
۱۳۷	۳-۱-۵ فولادهای ضدزنگ
۱۴۱	۴-۱-۵ مس و آلیاژهای آن
۱۴۳	۵-۱-۵ آلومینیم و آلیاژهای آن
۱۴۴	۶-۱-۵ نیکل و آلیاژهای آن
۱۴۶	۷-۱-۵ تیتانیم و آلیاژهای آن
۱۴۸	۲-۵ ترکیبات غیرفلزی مقاوم به خوردگی
۱۴۹	۳-۵ حفاظت کاتدی و آنودی
۱۴۹	۱-۳-۵ حفاظت کاتدی
۱۵۰	۲-۳-۵ اصول فرایند حفاظت کاتدی
۱۵۱	۳-۳-۵ روش‌های حفاظت کاتدی
۱۵۵	۴-۳-۵ مشکلات و معایب سیستم حفاظت کاتدی
۱۵۵	۵-۳-۵ حفاظت آنودی
۱۵۷	۴-۵ پوشش‌ها
۱۵۷	۱-۴-۵ پوشش‌های فلزی

۱۵۹	۲-۴-۵ روش‌های تهیه‌ی پوشش‌های فلزی
۱۶۳	۳-۴-۵ سایر پوشش‌های غیرفلزی
۱۶۷	۵-۵ بازدارنده‌ها یا ممانعت‌کننده‌ها
۱۶۸	۱-۵-۵ انواع بازدارنده‌ها
۱۶۹	۲-۵-۵ بازدارنده‌های کاتدی
۱۷۱	۳-۵-۵ بازدارنده‌های آندی
۱۷۳	۵-۵ بازدارنده‌های آلی
۱۷۵	۵-۵-۵ بازدارنده‌های فاز بخار
۱۷۶	۶-۵-۵ بازدارنده‌های روبنده یا اسکونجر
۱۷۷	۷-۵-۵ بیوسایدها
۱۷۷	۶-۵ حفاظت از خوردگی با حراست مناسب
۱۷۷	۱-۶-۵ نقاط جوش
۱۷۸	۲-۶-۵ شکاف
۱۷۸	۳-۶-۵ استفاده صحیح از عایق
۱۸۳	مراجع
۱۸۵	فصل ۶: انواع محیط‌های خورنده
۱۸۵	۱-۶ عوامل اتمسفری
۱۸۸	۱-۱-۶ انواع خوردگی اتمسفری
۱۹۲	۲-۱-۶ پیشگیری و حفاظت از خوردگی اتمسفری
۱۹۳	۲-۶ محیط‌های آبی
۱۹۴	۱-۲-۶ آب شیرین
۱۹۵	۲-۲-۶ آب دریا
۱۹۵	۳-۲-۶ بخارات متراکم

۱۹۵	۴-۲-۶ آب‌های معدنی
۱۹۶	۵-۲-۶ حلال‌های آلی
۱۹۶	۳-۶ محیط‌های زیرزمینی
۱۹۸	۴-۶ خوردگی در دمای بالا
۱۹۹	۱-۴-۶ رفتار خوردگی بعضی آلیاژها در دمای بالا
۲۰۰	۵-۶ خوردگی در محیط‌های سولفوردار
۲۰۰	۵-۶ خوردگی در محلول تیوسولفات
۲۰۰	۲-۵-۶ خوردگی در محلول تیوسولفات-کلراید
۲۰۲	۶-۶ خوردگی در محلول‌های بنات و کربنات
۲۰۳	۷-۶ خوردگی داغ
۲۰۴	مراجع
۲۰۷	فصل ۷: خوردگی در صنایع و روش‌های پیشگیری از آن
۲۰۸	۱-۷ خوردگی لوله‌ها در صنعت نفت
۲۰۹	۱-۱-۷ خوردگی لوله‌ها در هنگام ساخت
۲۱۰	۲-۱-۷ خوردگی لوله‌ها در هنگام بهره‌برداری
۲۱۱	۳-۱-۷ خوردگی در لوله‌های حفاری
۲۱۱	۴-۱-۷ فاکتورهای موثر در خوردگی لوله‌های حفاری
۲۲۱	۵-۱-۷ راه‌های کنترل خوردگی لوله‌ها
۲۲۴	۲-۷ خوردگی در پالایشگاه نفت خام
۲۲۴	۱-۲-۷ خوردگی در کولرهای هوایی (مبدل حرارتی)
۲۲۵	۲-۲-۷ راه‌های کنترل خوردگی در مبدل‌های پالایشگاه
۲۲۶	۳-۷ خوردگی در دیگ‌های بخار
۲۲۸	۱-۳-۷ کنترل خوردگی در بویلر

۲۲۹	۴-۷ خوردگی تجهیزات صنعتی در آب دریا
۲۳۰	۱-۴-۷ فاکتورهای موثر بر خوردگی تجهیزات صنعتی دریایی
۲۳۳	۲-۴-۷ نواحی مختلف سازه دریایی
۲۳۴	۳-۴-۷ روش‌های جلوگیری از خوردگی سازه‌های دریایی
۲۳۵	۵-۷ خوردگی اتمسفری صنایع
۲۳۶	۱-۵-۷ مکانسیم خوردگی اتمسفری در صنایع
۲۳۹	۶-۷ توربین‌های بادی فراساحلی
۲۴۰	۱-۶-۷ عوامل موثر بر خوردگی توربین‌های بادی فراساحلی
۲۴۱	۲-۶-۷ کنترل خوردگی در توربین‌های بادی فراساحلی
۲۴۲	۷-۷ تجهیزات پرنده
۲۴۴	۱-۷-۷ خوردگی تجهیزات در بدن انسان
۲۴۴	۲-۷-۷ خوردگی ایمپلنت
۲۴۴	۳-۷-۷ کنترل خوردگی تجهیزات در بدن انسان
۲۴۶	مراجع
۲۴۹	فصل ۸: سوالات کنکور سراسری خوردگی
۲۷۳	فصل ۹: پاسخنامه تشریحی سوالات کنکور سراسری خوردگی
۲۹۲	مراجع
۲۹۳	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۳۰۷	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۳۲۳	واژه‌یاب

پیشگامان در دانش

خوبی یک پدیده‌ی مخرب برای بسیاری از صنایع از جمله صنایع نفت، پتروشیمی و گاز می‌باشد که سالانه موجب هدر رفتن مبالغ سنگینی از سرمایه‌ی دولت‌ها جهت تعمیر و جایگزینی قطعات، ابزارات، سازه‌ها و غیره می‌شود. بر اساس مطالعات و برنامه‌ریزی کشور عزیزمان، خوردگی باعث تخریب شدید مواد در سازه‌های شهری و روستایی می‌شود و در همین راستا گزارش شده است که خوردگی تهدیدی جدی برای ایمنی و بهداشت شهروندان و زیان‌رسان در رد کردن آسیب‌های زیست محیطی اثرات تخریبی آن به چند برابر افزایش می‌یابد. بنابراین خوردگی به عنوان چالش جهانی و پدیده‌ی غیرقابل حذف شناخته می‌شود که البته می‌توان هزینه‌های آن را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که هزینه‌ها و خسارات ناشی از خوردگی در ایران ۱ تا ۲ درصد تولید ناخالص ملی است که حدود ۲۱ تا ۵۱ درصد آن ممکن است با اعمال روش‌های مناسب کاهش یابد. بر اساس آمار تخمینی ارائه شده در دومین کنگره ملی خوردگی ایران در سال ۱۳۶۹ سالانه ۴ میلیون دلار صرف واردات مواد ضدخوردگی می‌شود. برای مبارزه با چنین مشکل بزرگی، درک دقیق و اصرار بر خوردگی و روش‌های مبارزه با آن الزامی و امیدبخش است. در این راستا کتاب بسیار ارزشمند مهندسی خوردگی توسط پرفسور مارس، ج. فونتانا در سال ۱۹۷۸ (ویرایش دوم) مورد تالیف قرار گرفت و توانست کمک شایانی به جامعه‌ی دانشگاهی و صنعتی سراسر دنیا کند. اما با توجه به حجم بالای کتاب مربوطه و اینکه علم خوردگی روز به روز در حال گسترش است، تعقیب و پیگیری مطالب و تحقیقات علمی نوین که در سراسر جهان در مجلات معتبر چاپ می‌شود بسیار ضروری می‌باشد. بنابراین تصمیم گرفته شد تا کتابی درسی با حجم کمتر اما دارای مباحث کامل خوردگی تالیف شود به‌طوری‌که هم بسیاری از کتب معتبر در زمینه‌ی خوردگی را پوشش دهد و هم بسیاری از دانشجویان را با مقالات و تحقیقات علمی معتبر در سطح دنیا آشنا کند.

با توجه به آموزشی بودن این کتاب تلاش بر این شد تا سرفصل‌های کتاب طبق مصوبه‌ی شورای عالی برنامه‌ریزی مهیا شود. در فصل اول کتاب سعی شد به‌طور خلاصه دانشجویان با پدیده‌ی خوردگی و خسارات سنگین ناشی از آن آشنا شوند. در فصل دوم به مباحث الکتروشیمیایی که جزء مطالب

پایه‌ای پدیدهی خوردگی است، اشاره شد. در فصل سوم جنبه‌های سینتیک خوردگی و تفاوت آن با الکتروشیمیایی مطرح شد. با توجه به آشنا شدن با مکانیسم‌های الکتروشیمیایی و سینتیکی خوردگی، در فصل چهارم به‌طور گسترده انواع خوردگی بحث شد. در فصل‌های پنجم و ششم نیز به ترتیب به محیط‌های خورنده و روش‌های جلوگیری از خوردگی پرداخته شد. در نهایت با توجه به آمادگی ذهنی دانشجویان در فصل آخر به نمونه‌های خوردگی در صنایع مختلف پرداخته شد.

از جمله تفاوت‌های بارز این کتاب با کتب دیگر این است با توجه به اینکه کتاب حاضر جهت استفاده برای دانشجویان رشته‌های مهندسی شیمی، متالورژی و مخصوصاً شیمی کاربردی قابل استفاده است با همت و کار ارزشمند عزیز تلاش شد تا مجموعه‌ی سوالات کنکور سراسری خوردگی در رشته‌های نامبرده به همراه پاسخ تشریحی به دسترس دانشجویان اضافه شود تا دانشجویان محترم را در درک کامل‌تر و ساده‌تر مباحث خوردگی یاری دهد. همچنین تلاش شد تا مباحث بسیار مهم الکتروشیمیایی و سینتیک گسترده‌تر بحث شود.

فرصت را غنیمت می‌شماریم تا از راهنمایی‌های همه‌ی دوستان و همکاران و همچنین از زحمات بی‌دریغ کارکنان و مسئولان محترم انتشارات جه دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر صمیمانه تشکر کنیم.

در آخر از کلیه اساتید ارجمند، صاحب نظران و دانشجویان فرهیخته و تمام افرادی که این کتاب را مطالعه می‌کنند، تقاضا می‌کنیم نواقص و اشتباهات آن را از ما آگاه کنند تا به یاری حق در چاپ‌های بعدی نسبت به اصلاح آن اقدام شود.

میلاد جور شعبانی

پدیده، افسی اسرمی

زهرا شریعتی‌نیا

مهر ماه ۱۳۹۵