

دانشگاه بوعلی سینا

مبانی مهندسی خوردگی

تالیف

دکتر احمد ساعتچی
استاد دانشکده مهندسی مواد
دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر آرش فتاح الحسینی
استادیار گروه مهندسی مواد
دانشگاه بوعلی سینا

فتاح الحسینی، آرش	TA
مبانی مهندسی خوردگی / تألیف: آرش فتاح الحسینی، احمد ساعتچی.	۴۱۸/۷۴
همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۹۰.	م ۲۵۷ / ف
۲۵۱ ص: شابک: ۰-۰۸۷-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸	۱۳۹۰
۱. خوردگی. الف. ساعتچی، احمد. ب. عنوان.	
۶۲۰ / ۱۱۲۲۳	

مبانی مهندس خوردگی	عنوان:
دکتر آرش فتاح الحسینی، دکتر احمد ساعتچی	مولفان:
دکتر جلال ارجمندی، دکتر شهاب کاظمی، دکتر صمد قاسمی	ویراستاران علمی:
محمد کریم لطیفی	ویراستار ادبی:
صیره ضایع بهر مند	طراح جلد:
انتشارات دانشگاه بوعلی سینا	ناشر:
محمد جواد بدالی فر	مدیر مسئول:
روشن	چاپخانه:
۲۵۱- وزیري	صفحه و قطع:
اول	نوبت چاپ:
۱۰۰۰	تیراژ:
۶۰۰۰ ریال	قیمت:
۱۳۹۰	تاریخ انتشار:
۰-۰۸۷-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸	شابک:
م/۲۵۶	شماره کتاب:

کلیه حقوق برای انتشارات دانشگاه بوعلی سینا محفوظ است

مراکز فروش در همدان: ۱. دانشگاه بوعلی سینا، اداره انتشارات تلفکس: ۰۸۱۱-۸۰۷۴۴۲۱

۲. خیابان شهید حسین فهمیده، روبروی بارک مردم، فروشگاه اداره انتشارات

۳. خیابان مهدیه روبروی خانه معلم- انتشارات دانشجو

نمایندگی فروش در تهران: ۱. موسسه کتابیران، میدان انقلاب، خیابان لبافی نژاد غربی (بعد از چهار راه کارگر جنوبی)،

بعد از فروشگاه شيلات، پلاک ۲۳۷ تلفن: ۶۶۴۲۳۴۱۶-۶۶۹۲۶۶۸۷

۲. نوپردازان، میدان انقلاب، خیابان لبافی نژاد، بین ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۲۰۶ تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹-۶۶۴۱۱۱۷۳

"الَّذِينَ اسْتَجَابُوا لِلَّهِ وَالرَّسُولِ مِنْ بَعْدِ مَا أَصَابَهُمُ الْقَرْحُ لِلَّذِينَ أَحْسَنُوا مِنْهُمْ وَاتَّقُوا أَجْرٌ عَظِيمٌ".

سوره آل عمران، آیه ۱۷۲

"آنان که دعوت خدا و رسول را اجابت کردند پس از آن که به آنها رنج و آلام رسید، از آنها هر کس نیکوکار و پرهیزگار باشد اجر عظیم خواهد یافت."

سوره آل عمران، آیه ۱۷۲

تقدیم به جانبازان سرافراز هشت سال دفاع مقدس

پیش‌گفتار

خوردگی پدیده ویرانگری است که باعث تخریب مواد، اتلاف انرژی و سرمایه می‌شود. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که زیان‌های مالی ناشی از پدیده خوردگی سالانه، برای کشورهای صنعتی، تا حدود ۵ درصد تولید ناخالص ملی است. کشور ما نیز هر سال هزینه‌های فراوانی در این زمینه متحمل می‌شود. به همین دلیل لزوم رشد و ارتقا دانش خوردگی امری ضروری به نظر می‌رسد و بی‌تردید در این میان، ارتقا دانش خوردگی در دوره کارشناسی و دانشجویان این مقطع از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

گفتنی است به‌طور طبیعی بررسی تمام جنبه‌های مختلف پدیده خوردگی در این کتاب امکان‌پذیر نیست و هدف آموزش مبانی علمی مورد نیاز برای شناخت این پدیده و کنترل آن است که در این راستا کتاب به ده فصل تقسیم شده است:

فصل اول: مشتمل است به تعریف ساده‌ای از خوردگی، محیط‌های خورنده، اهمیت خوردگی در انتخاب مواد و روش‌های بیان سرعت خوردگی.

فصل دوم: ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی آبی شامل واکنش‌های الکتروشیمیایی، فصل مشترک فلز-الکترولیت، انواع سل‌های خوردگی و در نهایت پدیده پلاریزاسیون.

فصل سوم: به ترمودینامیک خوردگی و مطالبی مانند پتانسیل یک سل الکتروشیمیایی، جدول نیروی الکتروموتوری و محادله نرنست اختصاص یافته است که در ادامه آن به لحاظ اهمیت نمودارهای پوربه در خوردگی، نمودار پوربه آهن، آلومینیم و منیزیم به‌طور کامل توضیح داده شده است.

فصل چهارم: مروری است بر سینتیک خوردگی که مهم‌ترین و کاربردی‌ترین بخش کتاب است که در آن ابتدا مفاهیم مهمی مانند سینتیک الکتروود، چگالی جریان تبادل، پلاریزاسیون اکتیواسیون و غلظتی تشریح شده است. و سپس مهم‌ترین بخش، که همان تئوری پتانسیل مختلط و الکترودهای مختلط می‌باشد، به‌طور کامل ارایه شده است.

فصل پنجم: به دلیل اهمیت پدیده روپین شدن در صنعت و ضرورت آشنایی با این موضوع، مدل‌های اولیه و سپس مدل عیوب نقطه‌ای مطرح شده است.

فصل ششم: به ارزیابی و پیش‌بینی رفتار خوردگی با تکیه بر مطالب آموخته شده در فصل چهارم پرداخته است که در این فصل تاثیر مواد اکسید کننده، سرعت حرکت، و اتصال به یک فلز دیگر بر روی رفتار خوردگی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل هفتم: انواع خوردگی به همراه بررسی مکانیزم‌ها و هم‌چنین روش‌های جلوگیری از آنها تشریح شده است. طبیعی است که بررسی انواع خوردگی برای انواع فلزات و آلیاژهای گوناگون امکان‌پذیر نبوده و فقط مطالب بسیار مهم از مراجع معتبر جمع‌آوری شده است.

فصل هشتم: به دلیل اهمیت روش‌های جلوگیری از خوردگی، این موضوع در شش بخش: انتخاب صحیح مواد، کنترل محیط خوردنده، اصول طراحی صحیح، پوشش‌ها و حفاظت کاتدی و آندی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل نهم: با توجه به گستردگی روش‌های الکتروشیمیایی برای تعیین سرعت خوردگی و هم‌چنین ارزیابی آن، تنها روش‌های الکتروشیمیایی با جریان مستقیم، که شامل آزمون‌های پلاریزاسیون می‌شود، به طور اختصار ارایه شده‌اند.

فصل دهم: که سرانجام به بررسی اجمالی اکسیداسیون در دمای بالا و مطالب مهمی مانند ترمودینامیک و سینتیک آن پرداخته شده است.

از آنجا، که مسلماً این کتاب نمی‌تواند خالی از نقص باشد، امید است دانشجویان، محققان، همکاران و دیگر عزیزان آگاه و نکته‌سنجی که این کتاب را مطالعه می‌کنند، در صورت برخورد با لغزش‌ها و کاستی‌های آن، به منظور اصلاح آن در چاپ‌های بعدی، اینجانبان را از رهنمودهای خود آگاه نمایند.

در پایان از جناب آقای دکتر جلال ارجمندی به خاطر و یراستاری علمی کتاب و هم‌چنین مدیریت محترم انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، جناب آقای محمد جواد یدله‌ای فر به خاطر در اختیار گذاشتن امکانات چاپ و نشر کتاب و سرکار خانم جمشیدی به خاطر صفحه‌آرایی تشکر و قدردانی می‌شود.

آرش فتاح الحسینی - احمد ساعتچی

دی‌ماه ۱۳۹۰

فصل اول: تعریف و اهمیت خوردگی

۱	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- محیط‌های خوردنده
۳	۳-۱- تقسیم‌بندی خوردگی
۳	۴-۱- اهمیت خوردگی
۷	۵-۱- مدیریت ریسک
۹	۶-۱- اهمیت خوردگی در انتخاب مواد
۱۰	۷-۱- روش‌های بیان سرعت خوردگی
۱۴	۸-۱- مراجع

فصل دوم: ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی آب

۱۵	۱-۲- مقدمه
۲۰	۲-۲- فصل مشترک فلز-الکترولیت
۲۴	۳-۲- انواع سل‌های خوردگی
۲۷	۴-۲- پلاریزاسیون
۲۹	۵-۲- مراجع

فصل سوم: ترمودینامیک خوردگی

۳۱	۱-۳- مقدمه
۳۱	۲-۳- تغییرات در انرژی آزاد
۳۳	۳-۳- پتانسیل سل
۳۶	۴-۳- جدول نیروی الکتروموتوری

۴۰	۵-۳- معادله نرنست
۴۳	۶-۳- کاربردهای ترمودینامیک در خوردگی فلزات
۴۴	۷-۳- نمودارهای پوربه
۴۵	۸-۳- نمودار پوربه برای آب
۴۷	۹-۳- نمودار پوربه آهن
۵۰	۱۰-۳- نمودار پوربه آلومینیم
۵۱	۱۱-۳- نمودار پوربه منیزیم
۵۲	۱۲-۳- کاربرد نمودارهای پوربه
۵۳	۱۳-۳- مراجع

فصل چهارم: سینتیک خوردگی

۵۵	۱-۴- مقدمه
۵۵	۲-۴- سینتیک الکتروود
۵۷	۳-۴- چگالی جریان تبدلی
۶۰	۴-۴- پلاریزاسیون اکتیواسیون
۶۲	۵-۴- پلاریزاسیون غلظتی
۶۵	۶-۴- دو نوع پلاریزاسیون توام با هم
۶۷	۷-۴- تئوری پتانسیل مختلط
۶۷	۸-۴- الکترودهای مختلط
۷۴	۹-۴- مراجع

فصل پنجم: روین شدن

۷۵	۱-۵- مقدمه
۷۶	۲-۵- روین شدن

۷۷	۳-۵- رفتار خوردگی فعال- رویین
۸۲	۴-۵- مدل های ارائه شده برای رویین شدن
۸۲	۵-۵- مدل مات- کابرا
۸۵	۶-۵- مدل فلتر- مات
۸۶	۷-۵- مدل ساتر- کوهن
۸۸	۸-۵- مدل عیوب نقطه ای
۹۶	۹-۵- مراجع

فصل ششم: پیش بینی رفتار خوردگی

۹۹	۱-۶- مقدمه
۹۹	۲-۶- تاثیر مواد اکسید کننده
۱۰۳	۳-۶- تاثیر سرعت حرکت
۱۰۶	۴-۶- تاثیر اتصال به یک فلز
۱۱۲	۵-۶- ارزیابی آلیاژها
۱۱۶	۶-۶- مراجع

فصل هفتم: انواع خوردگی

۱۱۶	۱-۷- مقدمه
۱۱۸	۲-۷- خوردگی یکنواخت
۱۱۹	۳-۷- خوردگی گالوانیکی
۱۲۷	۴-۷- خوردگی شیاری
۱۳۴	۵-۷- حفره دار شدن
۱۴۴	۶-۷- خوردگی بین دانه ای
۱۴۶	۷-۷- جدایش انتخابی

- ۱۵۰- ۷-۸- خوردگی سایشی
- ۱۶۳- ۷-۹- خوردگی توام با تنش
- ۱۸۰- ۷-۱۰- مراجع

فصل هشتم: روش های جلوگیری از خوردگی

- ۱۸۱- ۸-۱- مقدمه
- ۱۸۲- ۸-۲- انتخاب صحیح مواد
- ۱۸۷- ۸-۳- کنترل محیط خوردنده
- ۱۸۹- ۸-۴- اصول طراحی صحیح
- ۱۹۰- ۸-۵- پوشش ها
- ۱۹۱- ۸-۶- حفاظت کاتدی
- ۱۹۹- ۸-۷- حفاظت آندی
- ۲۰۴- ۸-۸- مراجع

فصل نهم: اندازه گیری سرعت خوردگی

- ۲۰۵- ۹-۱- مقدمه
- ۲۰۶- ۹-۲- سل الکتروشیمیایی
- ۲۰۷- ۹-۳- آزمون پلاریزاسیون خطی
- ۲۱۰- ۹-۴- روش برون یابی تافل
- ۲۱۲- ۹-۵- آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک
- ۲۱۳- ۹-۶- آزمون پلاریزاسیون چرخه ای
- ۲۱۶- ۹-۷- مراجع

فصل دهم: اکسیداسیون در دمای بالا

- ۲۱۷ ۱۰-۱- مقدمه
- ۲۱۸ ۱۰-۲- ترمودینامیک اکسیداسیون در دمای بالا
- ۲۱۹ ۱۰-۳- نسبت پیلینگ- بدورت
- ۲۲۱ ۱۰-۴- الکتروشیمی اکسیداسیون در دمای بالا
- ۲۲۴ ۱۰-۵- مورفولوژی اکسیدها
- ۲۲۶ ۱۰-۶- ساختمان اکسیدها
- ۲۲۹ ۱۰-۷- سینتیک اکسیداسیون
- ۲۳۳ ۱۰-۸- تاثیر عناصر آلیاژی
- ۲۳۵ ۱۰-۹- اکسیداسیون ناگهانی
- ۲۳۶ ۱۰-۱۰- اکسیداسیون داخلی
- ۲۳۷ ۱۰-۱۱- خواص مکانیکی در دماهای بالا
- ۲۳۸ ۱۰-۱۲- مراجع

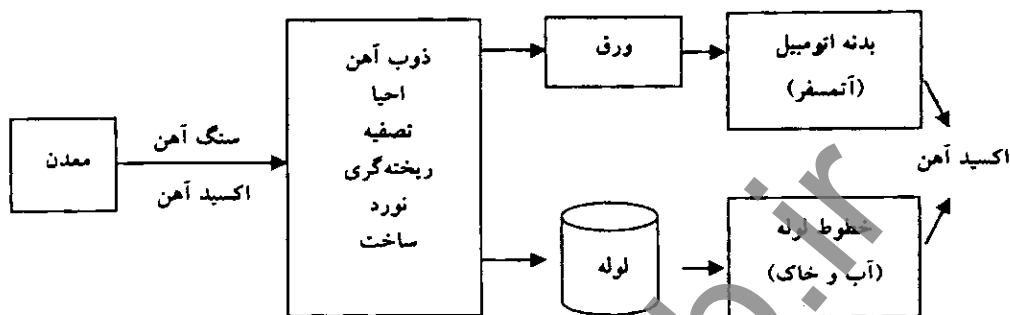
فصل اول

تعریف و اهمیت خوردگی

۱-۱- مقدمه

خوردگی را تخریب ماده در اثر واکنش با محیطی که در آن قرار دارد، تعریف می‌کنند. این تعریف تنها محدود به فلزات نیست و شامل غیرفلزات مانند سرامیک‌ها، پلاستیک‌ها، لاستیک‌ها و مواد غیرفلزی نیز می‌شود [۱-۶]. به‌طور مثال تخریب رنگ با نور خورشید یا مواد شیمیایی مثالی از خوردگی غیرفلزی است. خوردگی می‌تواند سریع و یا کند انجام شود. به‌طور مثال خوردگی فلز آلومینیم با اسید کلریدریک به‌طور سریع اتفاق می‌افتد، در حالی‌که برای ریل راه‌آهن سرعت خوردگی آن‌قدر کم است که بر کارایی آن در طول سال‌های طولانی اثری نمی‌گذارد [۱ و ۲].

می‌توان خوردگی فلزات را برعکس متالورژی استخراجی دانست. در متالورژی استخراجی به‌طور کلی هدف به‌دست آوردن فلزات از سنگ معدن و تصفیه یا الیازسازی آن‌ها برای مصارف مختلف است در حالی‌که خوردگی باعث بازگشت فلزات به‌حالت‌های اولیه می‌شود. در شکل ۱-۶ این موضوع برای سنگ معدن آهن نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود هدف نهایی متالورژی استخراجی تولید ورق و لوله فولادی از سنگ معدن آهن است در حالی‌که وقوع خوردگی و پدیده اکسیداسیون در این لوله‌ها و ورق‌ها باعث بازگشت فولاد تولید شده به‌حالت اولیه و تولید اکسید آهن می‌شود [۱ و ۲].



شکل ۱-۱- رابطه معکوس خوردگی و متالورژی استخراجی (رسم مجدد با استفاده از مرجع ۱).

۲-۱- محیط‌های خورنده

در شکل ۲-۱ چند نمونه از انواع محیط‌های خورنده نشان داده شده است. به‌طور کلی تمام محیط‌ها خورنده هستند اما قدرت خوردگی آن‌ها متفاوت است.



شکل ۲-۱- چند نمونه از انواع محیط‌های خورنده (رسم با استفاده از مرجع ۱).