

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آزمون‌های خوردگی

تصنیف:

آرش فتاح‌الحسینی

استاد گروه مهندسی مواد دانشگاه بوعلی سینا

سرشناسه	فتاح الحسینی، آرش، ۱۳۵۶-
عنوان و نام پدیدآور	آزمونهای خوردگی/ آرش فتاح الحسینی.
مشخصات نشر	همدان: دانشگاه بوعلی سینا، انتشارات، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	۲۸۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	978-600-128-372-7
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	خوردگی Corrosion and anti-corrosives Corrosion and anti-corrosives – Testing
شناسه افزوده	دانشگاه بوعلی سینا، انتشارات
رده بندی کنگره	TA۴۴۳
رده بندی دیویی	۶۳۰/۱۱۳۳۳
شماره کتابشناسی ملی	۹۰۷۰۳۹۴
اطلاعات رکورد کتابشناسی	فیبا



عنوان: آزمون‌های خوردگی

تصنیف: دکتر آرش فتاح الحسینی (استاد گروه مهندسی مواد دانشگاه بوعلی سینا)

ناشر: مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا

مدیر مرکز نشر: دکتر محمدجواد یداله‌ای فر

چاپخانه: پیام رسانه

صفحه و قطع: ۲۸۸ وزیری

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۱۰۰۰

قیمت: ۱۵۰۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱

شماره کتاب: ۵۱۵-م

شابک: ۷-۳۷۲-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸

کلیه حقوق برای مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا محفوظ است

مراکز فروش در همدان: ۱. دانشگاه بوعلی سینا، مرکز نشر دانشگاه تلفکس: ۰۸۱۱-۸۲۹۱۲۷۶

۲. خیابان شهید حسین فهمیده، روبروی پارک مردم فروشگاه مرکز نشر

۳. خیابان مهدیه روبروی خانه معلم- انتشارات دانشجو

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

فروشگاه شیلات، پلاک ۲۳۷ تلفن: ۶۶۹۲۶۶۸۷-۶۶۴۲۳۴۱۶

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

پیش‌گفتار نویسندگان

آسان‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش برای بررسی رفتار خوردگی یک فلز یا آلیاژ، انجام آزمون‌های خوردگی است. این آزمون‌ها ابزاری مفید برای پیش‌بینی رفتار خوردگی طولانی‌مدت و عمر مفید سازه‌های فلزی و نیز کنترل تجهیزات برای جلوگیری از خسارت‌های ناشی از خوردگی است. اما گاهی اوقات مشکل عمده در رابطه با انجام این آزمون‌ها، به‌دست آوردن نتایج نادرست و حتی گمراه‌کننده است که می‌تواند ناشی از عدم آگاهی کافی از اطلاعات پایه‌ای درباره آزمون‌های خوردگی و یا انتخاب نادرست آزمون یا شرایط صحیح آن باشد.

تاکنون کتاب‌های متعددی در زمینه مهندسی خوردگی و حفاظت از مواد توسط اساتید گرامی کشورمان در قالب ترجمه و یا تألیف منتشر شده است و در برخی از این کتاب‌ها فصلی نیز به آزمون‌های خوردگی اختصاص یافته است. اما با توجه به گستردگی آزمون‌های خوردگی در دو قالب آزمون‌های الکتروشیمیایی و غیرالکتروشیمیایی، کتاب حاضر نوشته شد. در این کتاب سعی شده است که اطلاعات پایه‌ای و مفید درباره نحوه انجام آزمون‌های خوردگی در دو قالب آزمون‌های الکتروشیمیایی و غیرالکتروشیمیایی برای دانشجویان مقاطع کارشناسی و تحصیلات تکمیلی ارائه شود.

فصل‌های مرتبط با آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی با این هدف نوشته شده است که روی کاربرد روش‌های الکتروشیمیایی خوردگی برای حل مشکلات خوردگی تجهیزات و ساختارها در محیط خورنده، تعیین عمر مفید ساختارهای فلزی بدون انجام آزمون‌های طولانی‌مدت غوطه‌وری و کنترل خوردگی برای جلوگیری از شکست‌های مرتبط به کار رود. متن با یک مرور کوتاه بر مهندسی خوردگی و مفاهیم اصلی مربوطه شروع می‌شود و سپس این مفاهیم برای اندازه‌گیری آزمون‌های خوردگی به کار می‌رود. فصل‌های ۱ تا ۳ آماده‌کننده زمینه‌های دانش مربوط به انجام آزمون‌های اندازه‌گیری الکتروشیمیایی خوردگی و چگونگی حصول داده‌های منطقی از این اندازه‌گیری‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد. در فصل‌های ۴ تا ۶، به ترتیب آزمون‌های پلاریزاسیون خطی، پلاریزاسیون تافل، پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و پلاریزاسیون چرخه‌ای توضیح داده می‌شوند. در فصل‌های ۷ و ۸ به ترتیب آزمون‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی و نويز الکتروشیمیایی بحث می‌شود که دو روش بررسی خوردگی با استفاده از جریان متناوب و مستقیم هستند.

در فصل نهم مهم‌ترین انواع آزمون‌های غیرالکتروشیمیایی خوردگی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ادامه با توجه به اهمیت اندازه‌گیری خوردگی در خاک و اندازه‌گیری خوردگی اتمسفری در صنعت، این دو موضوع به‌ترتیب در فصل‌های دهم و یازدهم توضیح داده می‌شوند.

از آن جایی که این کتاب نمی‌تواند عاری از هرگونه اشکالی باشد، امید است دانشجویان، همکاران و دیگر افرادی که این کتاب را مطالعه می‌کنند، در صورت وجود نقاط ضعف آن را مشخص کنند و به اینجانب ارجاع دهند تا در چاپ‌های بعد اصلاح شود. در پایان از مدیریت محترم انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، جناب آقای دکتر محمدجواد یدالهی فر به‌خاطر در اختیار گذاشتن امکانات چاپ و نشر کتاب و سرکار خانم مهندس فاطمه خانی به‌خاطر صفحه‌آرایی تشکر و قدردانی می‌شود.

آرش فتاح‌الحسینی

دی‌ماه ۱۴۰۱

فصل اول: ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی آبی

- ۱- ۱. شیمی خوردگی ----- ۱
- ۱- ۲. فصل مشترک فلز- الکترولیت (لایه دوگانه الکتریکی) ----- ۳
- ۱- ۳. ارتباط بین شیمی لایه دوگانه الکتریکی، پتانسیل و جریان الکتریکی ----- ۷
- ۱- ۴. نمودارهای پلاریزاسیون و تئوری پتانسیل مختلط ----- ۱۰
- ۱۴ مراجع

فصل دوم: بررسی نتایج آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی

- ۲- ۱. مقدمه ----- ۱۵
- ۲- ۲. تجهیزات آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی ----- ۱۵
- ۲- ۳. تاثیر مقاومت محلول بر نتایج خوردگی ----- ۱۹
- ۲- ۴. تصحیح نتایج خوردگی به واسطه مقاومت جبران‌ناپذیر محلول ----- ۲۱
- ۲- ۵. مساحت الکتروود کار ----- ۲۳
- ۲- ۶. مساحت الکتروود کمکی ----- ۲۴
- ۲- ۷. شکل هندسی الکتروود کار ----- ۲۴
- ۲- ۸. پراکندگی نتایج حاصل از آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی ----- ۲۶
- ۲- ۹. تکرار آزمون‌های الکتروشیمیایی ----- ۲۸
- ۲- ۱۰. آنالیز نتایج حاصل از آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی ----- ۲۹
- ۳۲ مراجع

فصل سوم: تاثیر زمان بر رفتار خوردگی

- ۳- ۱. مقدمه ----- ۳۳
- ۳- ۲. تاثیر زمان بر رفتار پتانسیل مدار باز ----- ۳۳
- ۳- ۳. تاثیر زمان بر سرعت خوردگی ----- ۳۹
- ۳- ۴. تاثیر زمان بر پیش‌بینی رفتار خوردگی در طولانی مدت ----- ۴۰
- ۴۱ مراجع

فصل چهارم: اندازه‌گیری خوردگی با پلاریزاسیون خطی

- ۴- ۱. مقدمه ----- ۴۳
- ۴- ۲. مروری مختصر بر آزمون‌های خوردگی با جریان مستقیم ----- ۴۳
- ۴- ۳. پلاریزاسیون خطی ----- ۴۵

- ۴-۴. محاسبه جریان و سرعت خوردگی از داده‌های پلاریزاسیون خطی-----۴۷
- ۴-۵. ملاحظات عملی هنگام استفاده از پلاریزاسیون خطی -----۴۹
- ۴-۶. محدودیت‌ها -----۵۰
- ۵۱ مراجع

فصل پنجم: پلاریزاسیون تافل

- ۵-۱. مقدمه -----۵۳
- ۵-۲. روش به‌دست آوردن منحنی‌های تافل -----۵۳
- ۵-۳. ساختار نمودار تافل -----۵۴
- ۵-۴. تعیین شیب‌های تافل -----۵۷
- ۵-۵. تعیین سرعت خوردگی از منحنی‌های تافل -----۵۸
- ۵-۶. خطاهای نمودار تافل -----۶۰
- ۵-۷. کاربرد پلاریزاسیون تافل در تحقیقات -----۶۲
- ۵-۸. محدودیت‌ها -----۷۰
- ۷۱ مراجع

فصل ششم: پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و چرخه‌ای

- ۶-۱. مقدمه -----۷۳
- ۶-۲. منحنی‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای و پتانسیودینامیک -----۷۳
- ۶-۲-۱. منحنی‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک -----۷۴
- ۶-۲-۲. منحنی‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای -----۷۵
- ۶-۳. به‌دست آوردن منحنی‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای و پتانسیودینامیک -----۷۷
- ۶-۴. تاثیر سرعت روبش بر منحنی‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای و پتانسیودینامیک -----۷۹
- ۶-۵. استفاده از منحنی‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای و پتانسیودینامیک در صنعت -----۸۰
- ۶-۶. محدودیت‌های منحنی‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای و پتانسیودینامیک -----۸۶
- ۶-۷. ارزیابی آلیاژها توسط آزمون‌های پلاریزاسیون چرخه‌ای و پتانسیودینامیک -----۸۶
- ۶-۸. کاربرد پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در تحقیقات -----۹۰
- ۱۰۰ مراجع

فصل هفتم: طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی

- ۷-۱. مقدمه -----۱۰۳
- ۷-۲. تفاوت‌های پلاریزاسیون حاصل از جریان مستقیم با جریان متناوب -----۱۰۳
- ۷-۳. رفتار فازی پلاریزاسیون جریان متناوب -----۱۰۴

- ۷- ۴. ماهیت بردار پتانسیل در پلاریزاسیون جریان متناوب-----۱۰۶
- ۷- ۵. پاسخ لایه دوگانه الکتریکی به پلاریزاسیون جریان متناوب -----۱۰۷
- ۷- ۶. خوردگی فلزات پوشش داده شده: یک سیستم با دو ثابت زمانی -----۱۰۹
- ۷- ۷. چگونه فرکانس پلاریزاسیون در یک سیستم با دو ثابت زمانی عمل می کند؟ -----۱۱۰
- ۷- ۸. نشان دادن نتایج حاصل از طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی-----۱۱۳
- ۷- ۹. منابع دیگر ثابت های زمانی -----۱۱۶
- ۷- ۱۰. طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی یک فلز دارای پوشش -----۱۱۷
- ۷- ۱۱. لزوم استفاده هم زمان از هر سه نوع منحنی طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی ---۱۱۹
- ۷- ۱۲. انواع مختلف پاسخ در منحنی های طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی -----۱۲۱
- ۷- ۱۲- ۱. القا مرتبط با یک فلز بدون پوشش در حال خوردگی سریع -----۱۲۱
- ۷- ۱۲- ۲. پاسخ های تولید شده توسط نفوذ -----۱۲۳
- ۷- ۱۲- ۳. پاسخ های تولید شده توسط تجهیزات اندازه گیری خوردگی -----۱۲۷
- ۷- ۱۳. پارامترهای پوشش و خوردگی حاصل از طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی -----۱۲۹
- ۷- ۱۴. کاربرد مدل های مدار معادل الکتریکی برای به دست آوردن پارامترها-----۱۳۰
- ۷- ۱۵. به دست آوردن بهترین تخمین ها برای پارامترهای پوشش خوردگی-----۱۳۲
- ۷- ۱۶. استفاده از خازن در مدل سازی -----۱۳۵
- ۷- ۱۷. استفاده از پارامترها برای تخمین سرعت خوردگی و عمر کارآیی -----۱۳۶
- ۷- ۱۸. تبدیل های کرامرز-کرونیک -----۱۳۶
- ۷- ۱۹. آزمون موت- شاتکی -----۱۳۸
- ۷- ۱۹- ۱. مقدمه -----۱۳۸
- ۷- ۱۹- ۲. معادله موت- شاتکی -----۱۳۹
- ۷- ۱۹- ۳. تحقیقات روی رفتار الکترونی لایه های رویین -----۱۴۴
- ۷- ۱۹- ۴. آزمون موت- شاتکی -----۱۴۵
- ۷- ۲۰. کاربرد طیفسنجی امپدانس الکتروشیمیایی در تحقیقات-----۱۴۹
- ۷- ۲۱. کاربرد آزمون موت- شاتکی در تحقیقات -----۱۶۳
- مراجع -----۱۶۹

فصل هشتم: نويز الکتروشیمیایی

- ۸- ۱. مقدمه -----۱۷۵
- ۸- ۲. مزایای نويز الکتروشیمیایی-----۱۷۶
- ۸- ۳. کاربردهای نويز الکتروشیمیایی -----۱۷۶

- ۸-۴. تجهیزات نويز الكتروشيمايي ----- ۱۷۷
- ۸-۴-۱. انواع سل‌های مورد استفاده ----- ۱۷۸
- ۸-۴-۲. فصل مشترك‌ها ----- ۱۸۰
- ۸-۵. پردازش داده‌ها ----- ۱۸۳
- ۸-۶. آماده‌سازی داده‌های نويز الكتروشيمايي ----- ۱۸۴
- ۸-۶-۱. استاندارد كردن نمونه‌ها ----- ۱۸۴
- ۸-۶-۲. حذف شيب ----- ۱۸۵
- ۸-۷. آناليز داده‌های نويز الكتروشيمايي ----- ۱۸۸
- ۸-۷-۱. روش بصري ----- ۱۸۹
- ۸-۷-۲. روش آماری ----- ۱۹۱
- ۸-۷-۳. روش تبديلات دامنه فرکانسي ----- ۱۹۳
- ۸-۸. تجزيه و تحليل داده‌های نويز الكتروشيمايي توسط مشخصه‌های آماری ----- ۱۹۵
- ۸-۸-۱. با استفاده از ضريب تراكم ----- ۱۹۵
- ۸-۸-۲. به كار بردن آماره‌های چولگي و كشيدگي ----- ۱۹۷
- ۸-۹. روش‌های محاسباتي PSD ----- ۱۹۸
- ۸-۹-۱. روش محاسباتي PSD بر اساس الگوريتم FFT ----- ۱۹۸
- ۸-۹-۲. روش MEM ----- ۱۹۹
- ۸-۹-۳. مقايس MEM با FFT ----- ۲۰۰
- ۸-۱۰. اثرات سطح روی نويز الكتروشيمايي ----- ۲۰۱
- ۸-۱۱. رابطه بين مقاومت نويز و مقاومت پلازمايوني ----- ۲۰۲
- ۸-۱۲. محدوديت‌های روش نويز الكتروشيمايي ----- ۲۰۳
- مراجع ----- ۲۰۴

فصل نهم: آزمون‌های غيرالكتروشيمايي

- ۹-۱. طبقه‌بندي آزمون‌های خوردگي ----- ۲۰۷
- ۹-۲. آريزيابي سرعت خوردگي توسط آزمون غوطه‌وري ----- ۲۱۱
- ۹-۳. آريزيابي حفره‌دار شدن ----- ۲۱۱
- ۹-۳-۱. آزمایش‌های كلريد آهن ----- ۲۱۲
- ۹-۳-۲. آريزيابي توسط بررسی‌های غيرمخرب ----- ۲۱۶
- ۹-۳-۳. آريزيابي توسط اندازه‌گيري عمق حفره‌ها ----- ۲۱۷
- ۹-۳-۴. آريزيابي توسط پارامتر حفره‌دار شدن ----- ۲۱۷

۲۱۷	-----	۵-۳-۹. ارزیابی با بررسی کاهش خواص مکانیکی
۲۱۷	-----	۴-۹. آزمون افشانه نمک (پاشش مه آب نمک)
۲۱۸	-----	۱-۴-۹. آزمون افشانه نمک خنثی
۲۱۸	-----	۲-۴-۹. آزمون افشانه نمک حاوی اسید استیک
۲۱۸	-----	۳-۴-۹. آزمون افشانه نمک حاوی اسید استیک و کلرید مس
۲۱۹	-----	۵-۹. ارزیابی خوردگی بین دانه‌ای
۲۲۲	-----	۱-۵-۹. آزمون اسید اگزالیک (ASTM A262 Practice A)
۲۲۴	-----	۲-۵-۹. آزمون استرایکر (ASTM A262 Practice B)
۲۲۴	-----	۳-۵-۹. آزمون هیویی (ASTM A262 Practice C)
۲۲۴	-----	۴-۵-۹. آزمون وارن (ASTM A262 Practice D)
۲۲۵	-----	۵-۵-۹. آزمون استروس (ASTM A262 Practice E)
۲۲۵	-----	۶-۵-۹. آزمون سولفات مس (ASTM A262 Practice F)
۲۲۵	-----	۶-۹. آزمون‌های غوطه‌وری برای اندازه‌گیری تمایل به خوردگی شیاری
۲۲۶	-----	۱-۶-۹. ASTM G48، روش B و D
۲۲۷	-----	۲-۶-۹. روش انجمن فناوری مواد MTI-2
۲۲۸	-----	۳-۶-۹. روش انجمن فناوری مواد MTI-4
۲۲۹	-----	۴-۶-۹. آزمایش چند شیاری
۲۳۰	-----	۵-۶-۹. آزمایش‌هایی با شیار غلاف مانند
۲۳۱	-----	۶-۶-۹. آزمایش‌های تخصصی با آند و کاتد جداگانه
۲۳۲	-----	۷-۶-۹. آزمایش‌های مجموعه شیار پرسپکس
۲۳۳	-----	۷-۹. ارزیابی حساسیت به خوردگی تنشی توسط آزمون کشش با نرخ کرنش آهسته
۲۳۳	-----	۱-۷-۹. مقدمه
۲۳۵	-----	۲-۷-۹. ارزیابی نتایج
۲۳۸	-----	مراجع

فصل دهم: اندازه‌گیری خوردگی در خاک

۲۳۹	-----	۱-۱۰. مقدمه
۲۴۲	-----	۲-۱۰. خاک
۲۴۳	-----	۱-۲-۱۰. طبقه‌بندی بافت
۲۴۴	-----	۲-۲-۱۰. نفوذپذیری
۲۴۵	-----	۳-۱۰. متغیرهای موثر بر خوردگی در خاک

۲۴۵	۱-۳-۱۰. نوع خاک
۲۴۶	۱-۳-۲. مقدار رطوبت و موقعیت سفره‌های آب زیرزمینی
۲۴۷	۱-۳-۳. مقاومت مخصوص خاک و مقدار یون‌های محلول
۲۴۹	۱-۳-۴. pH خاک
۲۵۰	۱-۳-۵. پتانسیل اکسیداسیون- احیا (ORP)
۲۵۱	۱-۳-۶. نقش میکروب‌ها در خوردگی خاک‌ها
۲۵۳	۱-۴. مشاهدات میدانی
۲۵۳	۱-۵. مشخص کردن خاک‌ها
۲۵۳	۱-۵-۱. پروب‌های خاک
۲۵۶	۱-۶. مدل‌های ارزیابی ریسک
۲۵۷	۱-۷. اثرات خاک بر حفاظت کاتدی و پوشش‌ها
۲۵۹	مراجع

فصل یازدهم: اندازه‌گیری خوردگی اتمسفری

۲۶۱	۱-۱۱. مقدمه
۲۶۲	۱-۱۱.۲. نقشه‌های خوردنگی اتمسفر
۲۶۳	۱-۱۱.۳. متغیرهای مهم در خوردگی اتمسفری
۲۶۳	۱-۱۱-۳-۱. زمان خیس بودن
۲۶۳	۱-۱۱-۳-۲. دی‌اکسید گوگرد
۲۶۴	۱-۱۱-۳-۳. کلریدها
۲۶۴	۱-۱۱-۳-۴. سایر آلوده‌کننده‌های اتمسفری
۲۶۵	۱-۱۱-۳-۵. دما
۲۶۶	۱-۱۱.۴. ماهیت و سرعت خوردنگی اتمسفری
۲۶۷	۱-۱۱-۴-۱. متدولوژی سازمان جهانی استاندارد (ISO)
۲۶۹	۱-۱۱-۴-۲. طبقه‌بندی خوردنگی بر طبق الگوریتم صدمه خوردگی
۲۷۰	۱-۱۱-۴-۳. سرعت‌های خوردگی اتمسفری به‌عنوان تابعی از زمان
۲۷۱	۱-۱۱-۴-۴. اندازه‌گیری مستقیم خوردگی اتمسفری
۲۷۲	۱-۱۱-۴-۴-۱. نمونه‌های آزمایش
۲۷۴	۱-۱۱-۴-۴-۲. حس‌گرهای الکتروشیمیایی خوردگی اتمسفری
۲۷۴	۱-۱۱-۴-۴-۳. تکنولوژی‌های دیگر برای حس کردن خوردگی اتمسفری
۲۷۶	مراجع