دانشگاه شهرکرد

روش‌های نوین جلوگیری از خوردگی و اکسیداسیون به کمک نانوساختارها

تألیف:
دکتر احمد کیوانی
دکتر مهدی یگانه

۱۳۹۶

www.ketab.ir

سرشناسه:	کیوانی، احمد، ۱۳۵۶-
عنوان و نام پدیدآور:	روش‌های نوین جلوگیری از خوردگی و اکسیداسیون به کمک نانوساختارها/ تألیف احمد کیوانی، مهدی یگانه.
مشخصات نشر:	شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری:	۲۵۶ ص.: جدول، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۷۹۹۷-۱۵-۴
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیپا
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	خوردگی الکترولیتی
موضوع:	Electrolytic corrosion
موضوع:	الکتروشیمی
موضوع:	Electrochemistry
موضوع:	مواد نانوساختار
موضوع:	Nanostructured materials
موضوع:	نانوتکنولوژی
موضوع:	Nanotechnology
شناسه افزوده:	یگانه، مهدی، ۱۳۶۳-
شناسه افزوده:	دانشگاه شهرکرد
رده‌بندی کنگره:	۱۳۹۶ ر ۹۵ TA ۴۶
رده‌بندی دیویی:	۶۲۰/۱۱۲۲۳
شماره کتابشناسی ملی:	۴۷۱۷۴۷۲

انتشارات دانشگاه شهرکرد

نام کتاب:	**روش‌های نوین جلوگیری از خوردگی و اکسیداسیون به کمک نانوساختارها**
تألیف:	**احمد کیوانی، مهدی یگانه**
ویراستار ادبی:	**ابراهیم ظاهری عبده‌وند**
ناشر:	**دانشگاه شهرکرد**
امور فنی و اجرایی:	**فاطمه قانی**
چاپ اول:	**بهار ۱۳۹۶**
تیراژ:	**۵۰۰ نسخه**
قطع:	**وزیری**
چاپ:	**ارس**
قیمت:	**۱۳۰۰۰۰ ریال**
شابک:	**۹۷۸-۶۰۰-۷۹۹۷-۱۵-۴**

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه شهرکرد محفوظ است.

نشانی: چهارمحال و بختیاری - شهرکرد- بلوار رهبر - انتشارات دانشگاه شهرکرد - صندوق پستی ۱۱۵

www.ketab.ir

پیش‌گفتار

در سال‌های اخیر، مواد ریزدانه و نانوساختار مورد توجه ویژه‌ی پژوهشگران قرار گرفته است؛ به طوری که ارائه محصول نهایی با ساختار بسیار ریز (نانو) علاوه بر ارزش افزوده تجاری، تحول مناسبی نیز در کاربرد مواد ایجاد کرده است. مواد نانوساختار، به علت خواص غیرعادی فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خود، در کاربردهای سازه‌ای، مقاومت به سایش، مقاومت به خوردگی، پوشش‌های مدارهای مجتمع، کاربردهای هوافضا و ... کاربردهای فراوانی یافته‌اند.

با گذر از مقیاس میکرومتر به نانومتر، با تغییر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رو به رو می‌شویم که دو مورد مهم از آن‌ها عبارتند از: افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم و ورود اندازه ذره به قلمرو آثار کوانتومی. افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم که به تدریج با کاهش اندازه‌ی ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم‌های واقع در سطح ذره به رفتار اتم‌های درونی می‌شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت انزوا و بر تعاملات آن با دیگر مواد اثر می‌گذارد.

افزایش سطح، واکنش‌پذیری نانومواد را به شدت افزایش می‌دهد؛ زیرا تعداد مولکول‌ها یا اتم‌های موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتم‌ها یا مولکول‌های موجود در توده‌ی نمونه بسیار زیاد است؛ به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه‌ای شدن دارند. برای نمونه در مورد نانوذرات فلزی، به محض قرارگیری در هوا، به سرعت اکسید می‌شوند. در بعضی مواقع برای حفظ خواص مطلوب نانومواد، جهت پیشگیری از واکنش بیشتر، یک پایدار کننده را بایستی به آن‌ها اضافه کرد که آن‌ها را قادر می‌کند تا در برابر سایش، فرسایش و خوردگی مقاوم باشند. با استفاده از این خاصیت می‌توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به شیوه مؤثری بهبود بخشید و یا در رشد نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از این مواد، پیوندهای شیمیایی مستحکم‌تری بین ماده زمینه و ذرات برقرار شده و استحکام آن به شدت افزایش می‌یابد. علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش می‌دهد و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم‌های ذرات می‌شود. تغییر در فاصله بین اتم‌های ذرات و نسبت سطح به حجم بالا در نانوذرات،

www.ketab.ir

تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می‌دهد. این امر در خواص ترمودینامیکی ماده (مثل نقطه ذوب) تأثیرگذار است. همان‌گونه که ذکر شد تغییر در ابعاد سازنده مواد سبب ظهور خواص تازه‌ای می‌گردد که کاربردهایی جدید را برای این مواد متصور می‌شود. بسیاری از این کاربردها نیاز به آگاهی از خواص ماده به عنوان تابعی از میکروساختار خواهد بود. یکی از جنبه‌های استفاده مواد نانوساختار، عملکرد این گونه مواد در مواجهه با خوردگی است. با این حال در مورد خواص خوردگی مواد نانوساختار و اثر مواد نانوساختار بر مقاومت به خوردگی نتایج تحقیقات به عمل آمده، دارای تناقضاتی است که کاربرد نانوساختارها را در محیط‌های خورنده با ابهاماتی همراه می‌کند. هدف عمده در این کتاب، بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه تأثیر مواد نانوساختار بر خاصیت خوردگی و یا اکسیداسیون است.

در فصل اول، مفاهیم و انواع روش‌های خوردگی بیان شده است. فصل دوم مختص به تشریح اثر نانوکریستالیزاسیون بر خوردگی است و آیا نانوکریستالیزاسیون اثر مفید و یا مضر بر خواص خوردگی دارد، به بحث گذاشته شده است. فصل سوم به اثر نانومواد بر کنترل و جلوگیری از خوردگی اختصاص دارد. در این فصل اثر نانومواد به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر خوردگی موضوع بحث است. در نهایت در فصل چهارم اثر نانوکریستالیزاسیون بر اکسیداسیون بررسی شده است.

احمد کیوانی

عضو هیأت علمی دانشگاه شهرکرد

مهدی یگانه

عضو هیأت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

بهار ۱۳۹۶

www.ketab.ir

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول- مفاهیم و انواع روش‌های خوردگی ۱

مقدمه ۱

۱-۱- الکتروشیمی ۳

۱-۲- سلول‌های الکتروشیمیایی ۴

۱-۲-۱- شرایط مدار باز ۱۳

۱-۲-۲- شرایط مدار بسته ۱۴

۱-۳- پتانسیل استاندارد الکتریکی ۱۶

۱-۴- توزیع بار و پتانسیل در سطح الکترود و محلول ۱۸

۱-۵- لایه دوگانه الکتریکی ۱۹

۱-۵-۱- مدل هلمهولتز (۱۸۷۹) ۲۱

۱-۵-۲- تئوری گوی- چپمن ۲۲

۱-۵-۳- مدل اشترن ۲۳

۱-۵-۴- مدل گراهام ۲۴

۱-۵-۵- مدل بوکریس ۲۴

۱-۶- تکنیک‌های مورد استفاده در بررسی خوردگی ۲۵

۱-۶-۱- پلاریزاسیون ۲۶

۱-۶-۲- طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) ۲۸

۱-۶-۳- روش‌های روبشی الکتروشیمیایی ۳۳

۱-۷- طبقه‌بندی خوردگی ۳۵

۱-۷-۱- خوردگی عمومی ۳۵

۱-۷-۲- خوردگی موضعی ۳۶

۱-۷-۳- خوردگی اتمسفری ۳۷

۱-۷-۴- خوردگی گالوانیک ۴۰

۱-۷-۴-۱- آثار میکروساختاری ۴۵

۱-۷-۵- خوردگی حفره‌ای ۵۰

www.ketab.ir

عنوان	صفحه

۱-۷-۶- خوردگی شیاری ۵۲
۱-۷-۷- جدایش لایه‌های سطحی ناشی از خوردگی ۵۳
۱-۷-۸- ترک خوردن ناشی از خوردگی همزمان با تنش ۵۴
۱-۷-۹- خوردگی میکروبیولوژیکی ۵۹
۱-۷-۱۰- انواع باکتری‌های مسبب خوردگی میکروبیولوژیکی ۶۰
۱-۷-۱۰-۱- باکتری احیا کننده سولفات (SRB) ۶۰
۱-۷-۱۰-۱- باکتری اکسیدکننده سولفور (SOB) ۶۱
۱-۷-۱۰-۲- باکتری احیا کننده آهن (IRB) ۶۲
۱-۷-۱۰-۲- باکتری اکسید کننده آهن (IOB) ۶۲
منابع ۶۵
فصل دوم- تأثیر نانوکریستالیزاسیون بر مقاومت خوردگی ۶۷
مقدمه ۶۷
۲-۱- خوردگی مس ۶۷
۲-۲- خوردگی نیکل ۹۴
۲-۳- خوردگی آهن ۱۱۴
۲-۴- خوردگی کبالت ۱۱۷
۲-۵- فولاد ۱۱۸
۲-۶- نتیجه‌گیری ۱۲۵
منابع ۱۲۶
فصل سوم- تأثیر نانومواد بر مقاومت به خوردگی ۱۳۱
مقدمه ۱۳۱
۳-۱- اثر غیرمستقیم نانومواد بر جلوگیری از خوردگی ۱۳۲
۳-۱-۱- نانومواد به عنوان حاملی برای بازدارنده خوردگی ۱۳۲
۳-۱-۲- آزادسازی ترکیبات ترمیم‌کننده ۱۳۳
۳-۱-۳- اعمال میکروکپسول ۱۳۳
۳-۱-۴- اعمال فیبرهای توخالی ۱۳۹

www.ketab.ir

عنوان	صفحه

۳-۱-۵- پوشش‌های لایه به لایه ۱۴۱
۳-۱-۶- مبادله‌کننده‌های یونی ۱۴۵
۳-۱-۷- جلوگیری از خوردگی با تبادل‌گرهای آنیونی ۱۴۹
۳-۱-۸- مواد متخلخل ۱۶۰
۳-۱-۹- پوشش‌های ضدخوردگی خود ترمیم‌شونده ۱۷۷
۳-۱-۱۰- پوشش‌های پلیمر هادی ۱۸۱
۳-۱-۱۱- پوشش‌های تبدیلی فعال ضدخوردگی ۱۸۶
۳-۱-۱۲- پوشش‌های محافظ با بازدارنده دوپ شده در زمینه ۱۹۲
۳-۱-۱۳- اثر مستقیم نانومواد در جلوگیری از خوردگی ۱۹۶
۳-۲-۱- نانوذرات درون پوشش ۱۹۶
۳-۲-۲- استفاده از زیرلایه‌های نانوساختار ۲۰۴
۳-۲-۳- نانولوله‌های کربنی ۲۰۷
۳-۲-۴- روش‌های سطح پوشش‌دهی ۲۰۹
۳-۳- نتیجه‌گیری ۲۱۳
منابع ۲۱۴
فصل چهارم- تأثیر نانوکریستالیزاسیون بر کسیداسیون ۲۲۱
مقدمه ۲۲۱
۴-۱- اکسیداسیون (خوردگی دمای بالا) ۲۲۱
۴-۱-۱- عیوب نقطه‌ای در اکسیدها ۲۲۳
۴-۱-۲- سینتیک خوردگی در گازها ۲۲۶
۴-۱-۳- نسبت پیلینگ – بدورث ۲۲۸
۴-۱-۴- معادلات اکسیداسیون ۲۳۰
۴-۲- مواد نانوساختار و بررسی سینتیک اکسیداسیون آن‌ها ۲۳۲
۴-۳- نتیجه‌گیری ۲۴۲
منابع ۲۴۳

www.ketab.ir