دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در شیمی کاربردی

عنوان:

بررسی مقاومت خوردگی پوشش کامپوزیت کروم – نانو TiO_2 روی مس

استاد راهنما:

دکتر مژگان خراسانی مطلق

استاد مشاور:

مهری سادات اکرامی کاخکی

تحقیق و نگارش:

زهرا یاوری

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

دی ۱۳۸۹

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **بررسی مقاومت خوردگی پوشش کامپوزیت کروم – نانو TiO_2 روی مس** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد **شیمی کاربردی** توسط دانشجو **زهرا یاوری** تحت راهنمایی استاد پایان نامه **دکتر مژگان خراسانی مطلق** تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

زهرا یاوری

این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۸۹/۱۰/۳۰ توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر مژگان خراسانی مطلق		
استاد مشاور:	مهری سادات اکرامی کاخکی		
داور ۱:	دکتر میثم نوروزی‌فر		
داور ۲:	دکتر علیرضا مدرسی عالم		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر محمد انصاری‌فرد		

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب زهرا یاوری تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: زهرا یاوری

امضاء

تقدیم به:

پدر عزیز و مادر مهربانم

که در سایه الطاف الهی هر آنچه در تمام طول زندگی‌ام دارم از وجود پر مهر آن‌ها می‌باشد

و خواهران بزرگوارم

که در مراحل مختلف زندگی همراه و مشوق من بوده‌اند و بسیار به آن‌ها مدیونم

سپاسگزاری

با سپاس و ستایش خدا که با عنایت و توجه او این کار به انجام رسید؛ از تلاش‌ها و اعتماد استاد بزرگوارم سرکار خانم دکتر خراسانی مطلق که راهنمایی این پروژه را قبول فرمودند، کمال تشکر و سپاس را دارم.

از جناب آقای دکتر نوروزی‌فر به دلیل صبر و یاری ایشان در طول این دوره قدردانی می‌نمایم و همچنین به خاطر قبول داوری این پایان‌نامه از ایشان ممنون و سپاس‌گذارم.

از جناب آقای دکتر مدرسی‌عالم داور محترم این دفاع و جناب آقای دکتر محمد انصاری‌فرد نماینده‌ی محترم تحصیلات تکمیلی تشکر می‌کنم.

از دانشجویان دکترا، خانم صفاری، خانم اکرامی استاد مشاور پایان نامه و خانم خالقیان‌پور تشکر می‌کنم.

ممنون و سپاس گذارم از:

دوستان عزیزم خانم‌ها ندا میری، زهرا ظفری، اکرم آهنین‌جان، شهره جهانی، فهیمه زارعیان، صدیقه رستمی، ندا سلطانپور و فاطمه میرزایی که همواره در کنار من بودند.

از آقایان محمد شهرکی، مجتبی بمانادی، رحیم والی و حامد نجفقلی به دلیل کمک‌های ایشان تشکر می‌کنم.

از جناب آقای دکتر شهروس‌وند و سرکار خانم مهندس بقایی سپاس گذاری می‌کنم.

چکیده:

در این پژوهش، یک پوشش کامپوزیت برای حفاظت مس در برابر خوردگی در محیط‌های متنوع، به ویژه محیط‌های حاوی کلرید، پیشنهاد شده است. پوشش کروم خالص به عنوان پوششی مبنا، روی سطح مس در نظر گرفته شده و پوشش کامپوزیتی کروم- نانو TiO_2، با روش ترسیب الکتروشیمیایی ایجاد گردید. نانو ذرات TiO_2 در فاز روتیل با قطر متوسط ۲۰ nm سنتز شدند. بعد از بهینه‌سازی حمام آبکاری کروم، نانو ذرات TiO_2 به سیستم الکترولیز افزوده و پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 روی سطح مس به‌وجود آمد.

در بررسی سطح پوشش‌ها، با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، نتایج نشان می‌دهد که با افزودن نانو ذرات TiO_2 به پوشش کروم، مورفولوژی سطح پوشش تغییر کرده است. مقاومت خوردگی پوشش‌ها به وسیله‌ی تکنیک‌های پلاریزاسیون و طیف بینی امپدانس الکتروشیمیایی در چهار محیط آب دریا، آب لوله‌کشی شهر زاهدان، آب مقطر و محلول NaCl 3.5% مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از این دو روش،کمیت‌های پتانسیل و جریان خوردگی، مقاومت پلاریزاسیون و سرعت خوردگی محاسبه و گزارش گردید. همچنین بر اساس مطالعات طیف بینی امپدانس الکتروشیمیایی، مدار الکتریکی معادل با هر سیستم الکتروشیمیایی خوردگی پیشنهاد شد. نتایج آزمون‌های الکتروشیمیایی خوردگی نشان دادند که با شیفت پتانسیل خوردگی به سمت مقادیر مثبت، شروع خوردگی در حضور نانو ذرات TiO_2 به تأخیر افتاده است. همچنین، افزودن نانو ذرات TiO_2 به پوشش کرومی، باعث کاهش جریان خوردگی نمونه با پوشش کرومی از $۲/۵۷۱\times۱۰^{-۴}$ آمپر به $۱/۹۱۶\times۱۰^{-۴}$ آمپر برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 شد. نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که با افزایش نانو ذرات TiO_2 به پوشش کرومی، جریان و سرعت خوردگی پوشش کاهش یافته و در نتیجه طول مدت حفاظت پوشش از زیر لایه‌ی مسی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: خوردگی- پوشش کامپوزیت- آبکاری کروم- نانو ذرات TiO_2- مس- منحنی تافل- طیف بینی امپدانس الکتروشیمیایی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**
۱- مقدمه ۲
۱-۱- تعریف خوردگی ۲
۱-۲- اهمیت خوردگی ۲
۱-۳- خسارت خوردگی ۳
۱-۳-۱- اتلاف ماده و انرژی ۳
۱-۳-۲- خسارت اقتصادی ۳
۱-۳-۲-۱- خسارت اقتصادی مستقیم ۴
۱-۳-۲-۲- خسارت اقتصادی غیر مستقیم ۴
۱-۳-۳- زیان ایمنی و زیست محیطی خوردگی ۴
۱-۴- انواع خوردگی ۵
۱-۴-۱- خوردگی یکنواخت ۵
۱-۴-۲- خوردگی گالوانیک یا دو فلزی ۵
۱-۴-۳- خوردگی شیاری ۵
۱-۴-۴- خوردگی حفره‌ای ۶
۱-۴-۵- خوردگی بین دانه‌ایی ۶
۱-۴-۶- خوردگی جدایش یا جدایش انتخابی ۶
۱-۴-۷- خوردگی سایشی ۶
۱-۴-۸- خوردگی تنشی ۶
۱-۵- روش‌های مقابله با خوردگی ۷
۱-۶- پوشش‌ها ۷
۱-۶-۱- انواع پوشش‌ها ۸
۱-۶-۱-۱- پوشش‌های فلزی ۸
۱-۶-۱-۲- پوشش‌های آلی ۸
۱-۶-۱-۳- پوشش‌های معدنی ۹
۱-۶-۱-۴- پوشش‌های تبدیل شیمیایی ۹
۱-۶-۱-۵- پوشش‌های محافظت موقت ۹
۱-۶-۲- روش‌های ایجاد پوشش ۱۰
۱-۶-۲-۱- آندی کردن ۱۰
۱-۶-۲-۲- پوشش‌های تبدیلی ۱۰

۱-۶-۲-۳- پوشش‌دهی در اثر غوطه‌وری ۱۰
۱-۶-۲-۴- ترسیب بخار ۱۱
۱-۶-۲-۵- الکترولس ۱۱
۱-۶-۲-۶- الکترولیز ۱۲
۱-۶-۲-۷- اکسیداسیون الکترولیتی پلاسما ۱۲
۱-۶-۲-۸- پوشش‌های نفوذی ۱۲
۱-۶-۲-۹- روش اعمال پوشش‌های پودر ۱۳
۱-۶-۲-۱۰- اسپری حرارتی ۱۳
۱-۶-۳- روش‌های ارزیابی پوشش‌ها ۱۴
۱-۶-۳-۱- روش طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی ۱۴
۱-۶-۳-۲- اکستراپولاسیون تافل ۱۵
۱-۶-۳-۳- روش پولاریزاسیون خطی ۱۶
۱-۶-۳-۴- میکروسکوپ الکترون روبشی ۱۶
۱-۶-۴- نانو پوشش‌ها ۱۷
۱-۶-۴-۱- پوشش‌های دانه‌ایی ۱۷
۱-۶-۴-۲- پوشش شبکه‌ایی و چند لایه ۱۸
۱-۶-۴-۳- پوشش‌های لایه نازک ۱۸
۱-۶-۴-۴- پوشش‌های نانو کامپوزیت ۱۸
۱-۶-۵- نانو پوشش‌های هوشمند ۱۹
۱-۶-۵-۱- پوشش‌های خود تشخیص دهنده ۲۰
۱-۶-۵-۲- پوشش‌های خود ترمیم شونده ۲۰
فصل دوم: بررسی متالورژیکی مس و کروم و اثر TiO_2 در پوشش‌ها ۲۱
۲-۱- فلز مس ۲۲
۲-۱-۱- تاریخچه تهیه مس ۲۲
۲-۱-۲- خواص عمومی مس ۲۴
۲-۱-۳- ویژگی‌های اصلی مس ۲۵
۲-۱-۳-۱- رسانایی ۲۵
۲-۱-۳-۲- مقاومت در برابر خوردگی ۲۵
۲-۱-۳-۳- خاصیت ضد میکروبی ۲۶
۲-۱-۴- انواع مس موجود در صنعت ۲۶
۲-۱-۴-۱- مس کاتدیک KE-Cu ۲۶
۲-۱-۴-۲- مس تصفیه شده الکتریکی E_1-Cu۵۸ ..... ۲۷
۲-۱-۴-۳- مس تصفیه شده حرارتی E_2-Cu۵۸ ..... ۲۷
۲-۱-۴-۴- مس تصفیه شده حرارتی E_2-Cu۵۷ ..... ۲۷
۲-۱-۴-۵- مس تصفیه شده حرارتی F-Cu ۲۷
۲-۱-۴-۶- مس عاری از اکسیژن OF-Cu ۲۸
۲-۱-۴-۷- مس اکسیژن زدایی شده توسط فسفر SE-Cu ۲۸

۲-۱-۴-۸- مس اکسیژن زدایی شده توسط فسفر SW-Cu ۲۸
۲-۱-۴-۹- مس اکسیژن زدایی شده توسط فسفر SF-Cu ۲۸
۲-۱-۵- دیاگرام‌های پوربه مس ۲۸
۲-۲- فلز کروم ۲۹
۲-۲-۱- خواص عمومی کروم ۳۰
۲-۲-۲- پاسیویشن فلز کروم ۳۱
۲-۲-۳- متالورژی ۳۱
۲-۳- پوشش کروم ۳۲
۲-۳-۱- حمام‌های آبکاری کروم ۳۴
۲-۳-۲- آندهای آبکاری کروم ۳۴
۲-۴- پوشش کامپوزیت زمینه فلزی ۳۵
۲-۴-۱- خواص و کاربرد پوشش کامپوزیت ۳۶
۲-۴-۲- رابطه‌ی سختی و مقاومت به سایش ۳۷
۲-۴-۳- مقاومت خوردگی پوشش کامپوزیت ۳۷
۲-۴-۴- مکانیسم آبکاری الکتریکی پوشش کامپوزیتی ۳۸
۲-۴-۴-۱- مدل Guglielmi ۳۹
۲-۴-۴-۲- مدل Buelens, Roos, Celis ۳۹
۲-۴-۴-۳- مدل Hazan, Zahavi ۳۹
۲-۴-۵- مزایای روش آبکاری الکتریکی در تولید پوشش‌های کامپوزیتی ۴۰
۲-۴-۶- خواص پوشش اکسید تیتانیم ۴۰
فصل سوم: آزمایش‌های تجربی و نتایج ۴۲
۳-۱- دستگاه‌ها ۴۳
۳-۲- مواد شیمیایی ۴۴
۳-۳- تهیه نانو ذرات اکسید تیتانیم (TiO_2) ۴۵
۳-۳-۱- مطالعه‌ی طیف بینی زیر قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) نانو ذرات TiO_2 ..... ۴۵
۳-۳-۲- مطالعه‌ی طیف XRD نانو ذرات TiO_2 ..... ۴۷
۳-۳-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ۴۹
۳-۴- آماده‌سازی زیر لایه جهت عملیات آبکاری ۵۲
۳-۵- حمام آبکاری ۵۳
۳-۵-۱- بهینه‌سازی آند حمام آبکاری ۵۴
۳-۵-۲- بهینه‌سازی جنس حمام آبکاری ۵۴
۳-۵-۳- بهینه‌سازی عامل تأمین کننده‌ی کرومIII ۵۵
۳-۵-۴- تعیین غلظت کرومIII ۵۵
۳-۵-۵- تعیین نوع و غلظت عامل کمپلکس کننده ۵۶
۳-۵-۶- تعیین نوع و غلظت ماده‌ی افزودنی ۵۷
۳-۵-۷- بهینه‌سازی دمای حمام آبکاری ۵۸
۳-۵-۸- بهینه‌سازی زمان آبکاری ۵۹

۳-۵-۹- بهینه‌سازی دانسیته‌ی جریان آبکاری ۶۰
۳-۵-۱۰- بهینه‌سازی pH حمام آبکاری ۶۰
۳-۶- ایجاد پوشش‌های کروم و کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 ..... ۶۱
۳-۷- بررسی مورفولوژی پوشش کامپوزیت ۶۳
۳-۸- بررسی مقاومت پوشش‌ها با روش پلاریزاسیون ۶۸
۳-۹- بررسی مقاومت خوردگی پوشش‌ها با روش طیف‌بینی امپدانس الکتروشیمیایی..... ۹۲
۳-۹-۱- منحنی‌های Nyquist ۹۳
۳-۹-۲- منحنی‌های Bode ۱۰۳
۳-۱۰- نتیجه‌گیری ۱۱۶
۳-۱۱- پیشنهادات ۱۱۶
مراجع ۱۱۷

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. خواص عمومی مس ۲۴

جدول ۲-۲. خواص عمومی کروم ۳۰

جدول ۲-۳. نمونه‌هایی از کاربرد پوشش‌های کروم ۳۳

جدول ۳-۱. شرایط اعمال شده در حمام الکتروپولیش ۵۲

جدول ۳-۲. شرایط کاری ابتدایی حمام آبکاری ۵۳

جدول۳-۳. نتایج به‌دست آمده از افزودن عامل کمپلکس کننده به حمام آبکاری ۵۷

جدول ۳-۴. نتایج به‌دست آمده از اثر ماده‌ی افزودنی به حمام آبکاری ۵۸

جدول ۳-۵. نتایج بررسی اثر دما بر آبکاری ۵۸

جدول ۳-۶. نتایج بررسی اثر زمان بر آبکاری ۵۹

جدول ۳-۷. نتایج بررسی اثر دانسیته‌ی جریان بر آبکاری ۶۰

جدول ۳-۸. نتایج اثر pH حمام آبکاری بر خصوصیات پوشش ۶۱

جدول ۳-۹. نتیجه‌ی نهایی طراحی حمام آبکاری ۶۲

جدول ۳-۱۰. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های تافل برای سه نمونه مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در محلول NaCl 3.5% ۷۹

جدول ۳-۱۱. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های تافل برای سه نمونه مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب دریا ۸۲

جدول ۳-۱۲. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های تافل برای سه نمونه مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب شهری ۸۵

جدول ۳-۱۳. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های تافل برای سه نمونه مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب مقطر ۸۷

جدول ۳-۱۴. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های تافل برای نمونه مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در ۴ محیط آب مقطر، آب شهری، آب دریا و محلول NaCl 3.5% ۹۰

جدول ۳-۱۵. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های امپدانس برای سه نمونه مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در محلول NaCl 3.5% ۱۱۴

جدول ۳-۱۶. نتایج به‌دست آمده از منحنی‌های امپدانس برای نمونه مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در ۴ محیط آب مقطر، آب شهری، آب دریا و محلول NaCl 3.5% ۱۱۵

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱. ویژگی‌های اصلی فلز مس ۲۵

شکل ۲-۲. دیاگرام‌های پوربه برای مس ۲۹

الف) در آب خالص و یا شرایط اسیدی و قلیایی ب) در محلول کلرید

شکل ۳-۱. طیف FT-IR نانو ذرات TiO_2 ۴۶

شکل ۳-۲. یک الگوی پراش پودری نمونه ۴۷

شکل ۳-۳. یک الگوی طیف XRD ۴۸

شکل ۳-۴. طیف XRD از نانو ذرات TiO_2 ۴۹

شکل ۳-۵. تصاویر Topographic الف) دوبعدی ب) سه بعدی از نانو ذرات TiO_2 سنتز شده ۵۱

شکل ۳-۶. تصویر شماتیک سیستم الکترولیز برای پوشش کامپوزیت: ۱) منبع DC ۲) آند ۶۲

سربی ۳) سوبسترای مسی ۴) محلول آبکاری ۵) نانو ذرات TiO_2 ۶) میله‌ی هم‌زن مغناطیسی

شکل ۳-۷. تصاویر SEM الف) پوشش کروم ب) پوشش کروم- نانو TiO_2 ایجاد شده سطح ۶۵

مس

شکل ۳-۸. تصاویر SEM پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 ۶۷

الف) قبل از خوردگی ب) بعد از خوردگی

شکل ۳-۹. (الف) منحنی جریان – فوق پتانسیل (ب) اثر تغییر دانسیته جریان بر فوق ۷۲

پتانسیل فعالیتی (a) $I=10^{-3}$ $A.cm^{-3}$ (b) $I=10^{-6}$ $A.cm^{-3}$ (c) $I=10^{-9}$ $A.cm^{-3}$ در یک

سیستم احیاء

شکل ۳-۱۰. منحنی تافل با شاخه‌های آندی و کاتدی منحنی جریان- فوق پتانسیل ۷۳

شکل ۳-۱۱. منحنی‌های تافل برای مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در محلول NaCl 3.5% ۷۷

شکل ۳-۱۲. منحنی‌های تافل برای مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب دریا ۸۱

شکل ۳-۱۳. منحنی‌های تافل برای مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب شهری ۸۳

شکل ۳-۱۴. منحنی‌های تافل برای مس بدون پوشش، مس با پوشش کروم و مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب مقطر ۸۶

شکل ۳-۱۵. منحنی‌های تافل نمونه مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در ۴ محیط آب مقطر، آب شهری، آب دریا و محلول NaCl 3.5% ۸۸

شکل ۳-۱۶. منحنی نای‌کوئیست ۹۴

شکل ۳-۱۷. ترکیب سری مقاومت و خازن و پاسخ نای‌کوئیست ۹۵

شکل ۳-۱۸. ترکیب موازی مقاومت و خازن و پاسخ نای‌کویست ۹۵

شکل ۳-۱۹. مدار ساده‌ای از نوع رندلز و پاسخ نای‌کوئیست ۹۵

شکل ۳-۲۰. مدار معادل واربرگ و پاسخ نای‌کوئیست ۹۶

شکل ۳-۲۱. منحنیNyquist و مدار الکتریکی معادل آن برای مس بدون پوشش در محلول NaCl 3.5% ۹۷

شکل ۳-۲۲. منحنیNyquist و مدار الکتریکی معادل آن برای مس با پوشش کروم در محلول NaCl 3.5% ۹۸

شکل ۳-۲۳. منحنیNyquist و مدار الکتریکی معادل آن برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در محلول NaCl 3.5% ۹۹

شکل ۳-۲۴. منحنیNyquist و مدار الکتریکی معادل آن برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب مقطر ۱۰۰

شکل ۳-۲۵. منحنیNyquist و مدار الکتریکی معادل آن برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب شهری ۱۰۱

شکل ۳-۲۶. منحنیNyquist و مدار الکتریکی معادل آن برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب دریا ۱۰۲
شکل ۳-۲۷. نمودار Bode |Z| ۱۰۳
شکل ۳-۲۸. نمودار Bode phase ۱۰۴
شکل ۳-۲۹. منحنی Bode |Z| برای مس بدون پوشش در محلول NaCl 3.5% ۱۰۵
شکل ۳-۳۰. منحنی Bode phase برای مس بدون پوشش در محلول NaCl 3.5% ۱۰۶
شکل ۳-۳۱. منحنی Bode |Z| برای مس با پوشش کروم در محلول NaCl 3.5% ۱۰۷
شکل ۳-۳۲. منحنی Bode phase برای مس با پوشش کروم در محلول NaCl 3.5% ۱۰۸
شکل ۳-۳۳. منحنی Bode |Z| برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در محلول NaCl 3.5% ۱۰۸
شکل ۳-۳۴. منحنی Bode phase برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در محلول NaCl 3.5% ۱۰۹
شکل ۳-۳۵. منحنی Bode |Z| برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب مقطر ۱۱۰
شکل ۳-۳۶. منحنی Bode phase برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب مقطر ۱۱۱
شکل ۳-۳۷. منحنی Bode |Z| برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب شهری ۱۱۱
شکل ۳-۳۸. منحنی Bode phase برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب شهری ۱۱۲
شکل ۳-۳۹. منحنی Bode |Z| برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب دریا ۱۱۳
شکل ۳-۴۰. منحنی Bode phase برای مس با پوشش کامپوزیت کروم- نانو TiO_2 در آب دریا ۱۱۳

فهرست علائم

نشانه	علامت
وزن اتمی	$a.w\ (g.mol^{-1})$
شعاع اتمی	$a.r\ (pm)$
چگالی	$\rho\ (g.cm^{-3})$
نقطه‌ی ذوب	$mp\ (^{\circ}C)$
نقطه‌ی جوش	$bp\ (^{\circ}C)$
گرمای ذوب	$L_F\ (kJ.mol^{-1})$
گرمای تبخیر	$L_V\ (kJ.mol^{-1})$
گرمای ویژه	$c\ (J.mol^{-1}.K^{-1})$
مقاومت الکتریکی	$R\ (n\Omega.m)$
هدایت حرارتی	$k_m\ (W.m^{-1}.K^{-1})$
انبساط حرارتی	$\alpha\ (\mu m.m^{-1}.K^{-1})$
ضریب الاستیسیته	$E\ (GPa)$
سختی Vickers	$VH\ (MPa)$
سختی Brinell	$BHN\ (MPa)$
هدایت الکتریکی	$\kappa\ (m\Omega^{-1}.mm^{-2})$
غلظت	$C\ (g.L^{-1})$
پتانسیل	$E\ (v)$
دما	$T\ (^{\circ}C)$
ضخامت	$d\ (m)$

حجم	V (mL)
زمان	t (min)
دانسیته جریان	$I (Am^{-2})$
مقاومت پلاریزاسیون	R_p (ohm)
جریان خوردگی	icor (A)
سرعت خوردگی	Corrosion rate (mpy)
فرکانس	F (Hz)
امپدانس کل	$\|Z\|$ (Ω)
امپدانس موهومی	Z_{im} (Ω)
امپدانس واقعی	Z_{re} (Ω)
ضریب تافل	$\beta (v.decade^{-1})$
مقاومت الکترولیت	R_s (ohm)
ظرفیت خازن	C (F)

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

خوردگی پدیده‌ی مخربی است که موجب اتلاف مواد، انرژی و سرمایه می شود. در واقع همان طوری که فلزات طی واکنش‌های برگشت‌پذیر از دامان طبیعت جدا شده‌اند، توسط این پدیده دوباره به طبیعت باز می‌گردند. در حقیقت رسالت علم خوردگی در آن است که این برگشت را به تأخیر می‌اندازد.

۱- ۱- تعریف خوردگی

بر اساس استاندارد ISO 8044 خوردگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

واکنش فیزیکی- شیمیایی متقابل بین فلز و محیط اطرافش که بیشتر دارای طبیعت الکتروشیمیایی بوده و نتیجه‌اش تغییر در خواص فلز می‌باشد. این تغییرات ممکن است منجر به از دست رفتن توانایی عملکردی فلز، محیط و یا سیستمی شود که این دو قسمت آن را تشکیل می دهد[۱].

تعاریف دیگری نیز برای خوردگی به‌کار می‌رود؛ که در زیر به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است[۲]:

- ❖ خوردگی واکنش فلز با محیط پیرامون خود است.
- ❖ خوردگی تغییر ماهیت خود به خودی فلز تحت عوامل محیطی می باشد.
- ❖ خوردگی واکنش‌هایی است که باعث برگشتن فلزات به کانی اصلی‌شان می‌شود.
- ❖ خوردگی همه‌ی تغییر شکل که یک فلز از حالت ابتدایی به حالت ترکیب شده می‌گذراند، را در بر می‌گیرد. آن واکنش‌هایی که بین فلزات و محیط‌های گازی یا مایع انجام می‌شود.

در فلزات تمایل ترمودینامیکی و طبیعی برای از دست دادن الکترون‌های اضافی و رسیدن به حالت پایداری ترمودینامیکی وجود دارد که این اساس فرآیند خوردگی است.

۱- ۲- اهمیت خوردگی

امروزه اهمیت خوردگی فلزات بیشتر از گذشته شده است. زیرا:

- ❖ استفاده از فلزات گسترش یافته است.
- ❖ کاربردهای ویژه نظیر انرژی اتمی، استفاده از فلزات نادر و گران‌قیمت را طلب می‌کند که جلوگیری از خوردگی آن‌ها نیز اهمیت ویژه دارد.
- ❖ خورندگی محیط بر اثر آلودگی آب و هوا افزایش یافته است که موجب افزایش خوردگی فلزات می‌شود.

❖ در طراحی‌های جدید استفاده از سازه‌های سبک‌تر الزامی است و بنابراین همچون گذشته که سازه‌ها سنگین و قطور بود، نمی‌توان خوردگی را نادیده گرفت.

۱- ۳- خسارت خوردگی

عدم آگاهی نسبت به عوامل و فاکتورهای ایجاد کننده خوردگی و آشنا نبودن به روش حفاظتی تجهیزات و تأسیسات صنعتی باعث گشته که انهدام و نابودی فلزات در صنایع به عنوان یک واقعیت مسلم و یک پدیده اجتناب‌ناپذیر مطرح باشد. بی‌اطلاعی از اهمیت و نقش خوردگی در زندگی و محیط کار، سالیانه میلیاردها ریال به اقتصاد مملکت آسیب می رساند.

پروفسور یولیش (Uhlig) زیان‌های ناشی از خوردگی را به صورت ذیل طبقه بندی نموده‌است[۳]:

۱- ۳- ۱- اتلاف ماده و انرژی

بر اساس آمارها، در هر ۹۰ ثانیه یک تن فولاد در اثر زنگ‌زدگی از بین می‌رود. این در حالی است که از هر تن فولاد تولیدی در سطح جهان، نزدیک به ۵۰٪ آن برای جایگزین شدن به جای فولادهای زنگ زده به کار می‌رود. انرژی مورد نیاز برای تولید یک تن فولاد معادل انرژی مصرفی یک خانواده متوسط در مدت سه ماه می‌باشد.

۱- ۳- ۲- خسارت اقتصادی

از شاخص‌های اقتصادی مهم برای سنجش قدرت اقتصادی (و نیز زیان‌های اقتصادی) تولید ناخالص ملی GNP (Gross Domestic Product) و تولید ناخالص داخلی GDP (Gross National Product) می‌باشد.

به عبارت ساده‌تر، GDP ارزش کالا و خدمات تولید شده در قلمرو یک کشور در یک سال و GNP ارزش کالا و خدمات تولید شده توسط افراد یک ملت در خارج از مرزها و یا بیگانگان در داخل مرزهای یک کشور در یک سال می باشد.

۲ تا ۴ درصد از GNP به عنوان شاخصی برای محاسبه زیان اقتصادی خوردگی در کشورها به کار می رود؛ این مقدار در ایران ۴ تا ۵ درصد GNP می باشد؛ که در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد آن می‌تواند با اعمال روش‌های مناسب کاهش داده شود.