

پوشش های مقاوم به خوردگی جوّی در مهندسی سطح

مؤلف

ایشیرو سوزوکی

مترجم

کریم زنگنه مدار

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: اصول حفاظت از خوردگی توسط پوشش ها	۳
۱-۱: توان حفاظتی پوشش هادر برابر خوردگی	۴
۲-۱: پیل خوردگی	۵
۳-۱: حفاظت مبتنی بر EMF	۱۶
۴-۱: حفاظت کاتدی	۱۷
۵-۱: حفاظت آنودی	۱۹
۶-۱: حفاظت مختلط (کاتدی-آنودی)	۲۱
۷-۱: حفاظت مبتنی بر مقاومت	۲۱
۸-۱: نتیجه گیری	۲۲
منابع	۲۴
فصل دوم: حفاظت کاتدی توسط پوشش های فلزی فداشونده	۲۷
۱-۲: اصول حفاظت کاتدی	۲۸
۱-۱-۲: عملکرد ممانعتی پوشش	۲۹
۲-۱-۲: عملکرد ممانعتی محصولات خوردگی	۳۲
۳-۱-۲: عملکرد گالوانیکی پوشش به عنوان آند فداشونده	۳۷
۲-۲: انواع پوشش ها و روش های پوشش دهی	۴۲
۱-۲-۲: غوطه وری گرم	۴۳
۱-۱-۲-۲: فولادهای گالوانیزه و گالوانیزه-آنیل شده	۴۵
۲-۱-۲-۲: فولادهای آلومینایز شده	۵۰
۳-۱-۲-۲: فولادهای پوشش داده شده با آلیاژهای آلومینیم-روی	۵۳
۱-۲-۳-۱: پوشش 55%Al-Zn	۵۴
۲-۳-۱-۲-۲: پوشش 5%Al-Zn	۵۵
۳-۳-۱-۲-۲: پوشش 5%Al-0.1%Mishmetal-Zn	۵۶
۴-۳-۱-۲-۲: پوشش 4.5%Al-0.1%Mg-Zn	۵۷

۵۸	۲-۲-۲: رسوب دهی الکتریکی
۶۳	۱-۲-۲-۲: پوشش Zn
۶۵	۲-۲-۲-۲: پوشش آلیاژی Ni-Zn
۶۷	۳-۲-۲-۲: پوشش آلیاژی Fe-Zn
۶۹	۴-۲-۲-۲: پوشش آلیاژی Co-Zn
۷۱	۵-۲-۲-۲: پوشش آلیاژی Mn-Zn
۷۲	۶-۲-۲-۲: پوشش های دولایه
۷۳	۳-۲-۲: فلزپاشی
۷۵	۴-۲-۲: نفوذدهی
۷۵	۱-۴-۲-۲: نفوذدهی Zn
۷۶	۲-۴-۲-۲: نفوذدهی Al
۷۷	۵-۲-۲: رویه کشی
۷۸	۶-۲-۲: رسوب دهی بخار در خلأ
۸۰	۳-۲: توان حفاظتی پوشش ها در محیط های مختلف
۸۱	۱-۳-۲: محیط جوّی
۸۱	۱-۱-۳-۲: جوّ باز
۸۱	۱-۱-۳-۲: مدت زمان نمناکی
۸۶	۲-۱-۳-۲: میانگین نرخ خوردگی در دوره نمناکی
۹۳	۳-۱-۳-۲: دوام پوشش فلزی فداشونده
۹۵	۴-۱-۳-۲: کاربرد
۹۷	۲-۱-۳-۲: جوّ کلریدی شدید
۱۰۴	۱-۲-۳-۲: کاربرد
۱۰۸	۳-۱-۳-۲: جوّ بسته
۱۱۱	۱-۳-۳-۲: کاربرد
۱۱۳	۲-۳-۲: محیط آب شیرین
۱۱۳	۱-۲-۳-۲: تأثیر PH

۱۱۷	۲-۲-۳: اثرات اکسیژن محلول، سرعت جریان و دمای آب
۱۱۹	۳-۲-۳: اثر ترکیب آب
۱۲۰	۴-۲-۳: نرخ خوردگی پوشش های فلزی فداشونده
۱۲۲	۵-۲-۳: کاربرد
۱۲۵	۳-۳-۲: محیط آب دریا
۱۲۵	۱-۳-۳: نرخ خوردگی پوشش های فلزی مختلف
۱۲۶	۲-۳-۳: کاربرد
۱۲۷	۴-۳-۲: محیط زیر خاک
۱۳۱	منابع
۱۳۹	فصل سوم: حفاظت آندی توسط پوشش های فلزی نجیب
۱۴۰	۱-۳: اصول حفاظت آندی
۱۴۰	۱-۱-۳: پوشش های تک لایه
۱۴۵	۲-۱-۳: پوشش های چند لایه
۱۵۰	۲-۳: روش های پوشش دهی
۱۵۱	۱-۲-۳: آبکاری الکتریکی
۱۵۱	۱-۱-۲-۳: پوشش های نیکل و آلیاژهای آن
۱۵۱	۱-۱-۲-۳: پوشش نیکل
۱۵۳	۲-۱-۲-۳: پوشش نیکل لک دار
۱۵۳	۳-۱-۲-۳: پوشش آلیاژی نیکل-آهن
۱۵۵	۲-۱-۲-۳: پوشش های کروم
۱۵۵	۱-۲-۱-۲-۳: پوشش کروم تزئینی
۱۵۶	۲-۲-۱-۲-۳: پوشش کروم حاوی ریز ترک
۱۵۶	۳-۲-۱-۲-۳: پوشش کروم حاوی ریز تخلخل
۱۵۷	۴-۲-۱-۲-۳: فولاد قلع اندود نشده آبکاری کروم شده
۱۵۹	۳-۱-۲-۳: پوشش قلع
۱۶۲	۴-۱-۲-۳: پوشش سرب

۱۶۳	۲-۲-۳: غوطه وری گرم
۱۶۴	۳-۲-۳: آبکاری الکترولس
۱۶۵	۳-۲-۳: پیش عملیات قبل از آبکاری الکترولس
۱۶۸	۲-۳-۲: پوشش نیکل
۱۷۰	۳-۳: توان حفاظتی پوشش ها در محیط های مختلف
۱۷۰	۳-۳-۱: جو باز
۱۷۶	۳-۳-۱: کاربرد
۱۸۰	۳-۳-۲: جو بسته
۱۸۵	۳-۳-۲: کاربرد
۱۸۷	منابع
۱۹۱	فصل چهارم: حفاظت مبتنی بر EMF توسط پوشش های فلزی نجیب
۱۹۱	۴-۱: اصول حفاظت مبتنی بر EMF
۱۹۴	۴-۲: روش های پوشش دهی
۱۹۴	۴-۲-۱: رسوب دهی الکتریکی
۱۹۷	۴-۲-۲: رویه دهی
۱۹۷	۴-۳: توان حفاظتی پوشش هادر محیط های مختلف
۲۰۰	۴-۳-۱: کاربرد
۲۰۲	منابع
۲۰۵	فصل پنجم: حفاظت توسط پوشش های تبدیلی
۲۰۶	۵-۱: اصول حفاظت توسط پوشش های تبدیلی
۲۰۶	۵-۱-۱: تشکیل حائل ثانویه
۲۰۷	۵-۱-۲: لایه های اکسید آندی
۲۱۱	۵-۱-۳: پوشش های کروماته
۲۱۳	۵-۱-۴: پوشش های فسفات
۲۱۶	۵-۲: روش های ایجاد لایه /پوشش
۲۱۶	۵-۲-۱: آندایزینگ آلومینیم

۲۲۰	۱-۱-۲-۵: آندایزینگ در سولفوریک اسید
۲۲۱	۲-۱-۲-۵: آندایزینگ در اگزالیك اسید
۲۲۲	۳-۱-۲-۵: آندایزینگ در کرومیک اسید
۲۲۳	۲-۲-۵: پوشش‌های تبدیلی کروماته
۲۲۳	۱-۲-۲-۵: فرایند غوطه‌ورسازی
۲۲۸	۲-۲-۲-۵: فرآیند الکترولیتی
۲۳۰	۳-۲-۲-۵: فرآیند رویه‌کشی غلتکی
۲۳۱	۳-۲-۵: پوشش‌های تبدیلی فسفات‌ه
۲۳۵	۳-۵: توان حفاظتی پوشش‌ها در محیط‌های مختلف
۲۳۵	۱-۳-۵: آلومینیم آندایز شده
۲۴۲	۲-۳-۵: پوشش‌های کروماته
۲۴۷	۳-۳-۵: پوشش‌های فسفات‌ه
۲۵۵	منابع
۲۵۹	فصل ششم: حفاظت مبتنی بر EMF توسط رنگ‌ها و پوشش‌های آلی
۲۵۹	۱-۶: اصول حفاظت توسط رنگ‌ها و پوشش‌های آلی
۲۵۹	۱-۱-۶: اجزای تشکیل دهنده رنگ‌ها و پوشش‌های آلی
۲۶۲	۲-۱-۶: دوام و پایداری رنگ‌ها
۲۶۳	۱-۲-۱-۶: استحکام مکانیکی
۲۶۸	۲-۲-۱-۶: استحکام چسبندگی
۲۷۶	۲-۶: انواع رنگ‌ها و پوشش‌های آلی
۲۷۶	۱-۲-۶: رنگ‌های روغنی
۲۷۶	۲-۲-۶: رنگ‌های رزین فنولیک
۲۷۷	۳-۲-۶: رنگ‌های رزین آلکید (اسید فتالیک)
۲۷۷	۴-۲-۶: رنگ‌های رزین ملامین
۲۷۷	۵-۲-۶: رنگ‌های رزین وینیل
۲۷۸	۶-۲-۶: رنگ‌های رزین اپوکسی

۲۷۸	۶-۲-۷: رنگ های رزین پلی اورتان
۲۷۸	۶-۲-۸: رنگ های رزین اکریلیک
۲۷۸	۶-۲-۹: رنگ های رزین آلکید اصلاح شده با سیلیکون
۲۷۹	۶-۲-۱۰: رنگ های رزین اپوکسی تار
۲۷۹	۶-۲-۱۱: رنگ های رزین پلی استر
۲۷۹	۶-۳: رنگ ها پوشش های آلی ویژه
۲۷۹	۶-۳-۱: رنگ های غنی از روی
۲۸۰	۶-۳-۲: واش پرایمر
۲۸۱	۶-۳-۳: زینکرومتال
۲۸۱	۶-۴: روش های اعمال رنگ ها پوشش های آلی
۲۸۳	۶-۴-۱: قلم مو
۲۸۴	۶-۴-۲: رنگ آمیزی پاششی
۲۸۵	۶-۴-۳: رنگ آمیزی غلتشی
۲۸۵	۶-۴-۴: رنگ آمیزی پودری
۲۸۶	۶-۴-۵: رسوب دهی الکتریکی
۲۸۹	۶-۴-۶: رنگ های چندلایه
۲۹۲	۶-۵: توان حفاظتی رنگ ها پوشش های آلی در محیط های مختلف
۲۹۴	۶-۵-۱: محیط جوّی
۳۰۱	۶-۵-۲: محیط دریایی
۳۰۴	۶-۶: کاربردها
۳۰۴	۶-۶-۱: سازه های فولادی
۳۰۹	۶-۶-۲: لوازم خانگی و مصالح ساختمان
۳۱۱	منابع
۳۱۳	واژه نامه
۳۱۵	واژه نامه فارسی به انگلیسی
۳۳۵	واژه نامه انگلیسی به فارسی

پیشگفتار مؤلف

طی دهه های گذشته، با پیشرفت فرایندهای مهندسی سطح و نیز گسترش مواد مقاوم به خوردگی، فناوری های مربوط به پوشش های مقاوم به خوردگی نیز توسعه یافته است. همزمان با این پیشرفت ها، روش های کنترل کیفیت پوشش ها و نیز تجهیزات مورد استفاده در آنالیز سطوح نیز به تدریج ارتقا داده شده اند.

این کتاب، گزارشی از وضعیت پوشش های مقاوم به خوردگی در دهه های اخیر است، که برای دانشجویان، مهندسين و ساير افراد علاقه مند به حفاظت از خوردگی نگاشته شده است. مطالب این کتاب تنها پوشش هایی را در بر می گیرد که به طور وسیع در جوهای طبیعی مورد استفاده قرار می گیرند نظیر پوشش های فلزی، معدنی و آلی. لذا پوشش های سرامیکی، آستری ها و پوشش های مورد استفاده در دماهای بالا و یا محیط های خاص، خارج از موضوع کتاب حاضر هستند. همچنین، در این کتاب بر توان حفاظتی پوشش ها در محیط های مختلف، خصوصاً محیط های حاوی آب و رطوبت تأکید شده است. علت این تأکید آن است که گونه های خورنده، غالباً درون رطوبت، آب و آلودگی های مرطوب حضور دارند. افزون بر آن، در تهیه و تنظیم کتاب سعی شده است از نتایج تحقیقاتی که در زمینه بهبود مقاومت خوردگی توسط پوشش ها صورت گرفته نیز بهره برداری شود.

پوشش های مقاوم به خوردگی در معرض جوهای طبیعی قرار می گیرند. از آنجاکه شرایط جوّی همیشه در تغییر است، ارزیابی این شرایط (خصوصاً رطوبت موجود در جوّ) کار

آسانی نیست. با این وجود، در سال ۱۹۵۸ سِرِدَا^۱ و گاتمن^۲ اعضای انجمن تحقیقات ملی کانادا، در تحقیقات خود معیاری موسوم به زمان نمناکی را (که بر مبنای معیار دیگری تحت عنوان رطوبت بحرانی توسط ورنون^۳ تعریف شده بود) معرفی کردند که این معیار، مبنای کتاب حاضر را تشکیل می دهد. لذا در سرتاسر کتاب، توان حفاظتی پوشش ها، از طریق اندازه گیری سرعت خوردگی آنها در حین دوره نمناکی، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

کتاب حاضر شامل شش فصل است. در فصل اول، اصول حفاظت از خوردگی توسط پوشش ها بر مبنای علم الکتروشیمی توضیح داده شده است. در فصل های دوم تا ششم به بررسی انواع پوشش ها پرداخته شده است، بدین صورت که پوشش های فلزی فداشونده در فصل دوم، پوشش های فلزی نجیب در فصل های سوم و چهارم، پوشش های تبدیلی در فصل پنجم و رنگ ها/پوشش های آلی در فصل ششم تشریح شده اند. در فصل اول، معیارهای حفاظت از خوردگی مربوط به هر دسته از پوشش های فوق، به اختصار بیان شده است. فصل های دوم تا ششم شامل بخش هایی راجع به جنبه های عملی حفاظت از خوردگی توسط پوشش ها، روش های پوشش دهی، توان حفاظتی پوشش ها و همچنین میزان خوردگی محیط می باشند. در سایر بخش ها نیز به کاربردهای مختلف پوشش های مقاوم به خوردگی اشاره شده است.

این کتاب شامل شکل ها، جداول و اطلاعات زیادی است که با مجوز سازمان ها، انجمن ها و مجامع مختلف مورد بهره برداری قرار گرفته اند و در اینجا لازم است به برخی از آنها اشاره شود:

انجمن ملی مهندسين خوردگی^۴ (NACE)،

انجمن آزمون و مواد آمریکا^۵ (ASTM)،

انجمن الکتروشیمی^۶،

^۱ Sereda

^۲ Guttman

^۳ Vernon

^۴ National Association of Corrosion Engineers

^۵ American Society for Testing and Materials

^۶ Electrochemical Society

انجمن فلزات آمریکا^۱ (ASM)،

مؤسسه استانداردهای ملی آمریکا^۲ (ANSI)،

اتحادیه مهندسين معدن و متالورژی و نفت آمریکا^۳ (AIME)،

انجمن پرداخت کاری فلزات ژاپن^۴،

مجمع کنترل خوردگی ژاپن^۵،

مؤسسه آهن و فولاد ژاپن^۶ (ISIJ)،

انجمن مهندسين خوردگی ژاپن^۷.

در اینجا لازم است از پروفسور فالکنر^۸ استاد دانشگاه ایالت اوهایو و پروفسور براد^۹ استاد دانشگاه نیویورک به دلیل همکاری هایی که در نگارش این کتاب با من داشته اند، تشکر ویژه نمایم. همچنین جا دارد از بسیاری از دوستانم به خاطر حمایت های شان سپاسگزاری کنم. از پروفسور لیدایزر^{۱۰} که مقدمات آشنایی مرا با حوزه پوشش های مقاوم به خوردگی فراهم نموده و همیشه مشوق من در این زمینه بودند نیز تشکر می نمایم. همچنین از آقای کانون^{۱۱} که ویراستاری متن کتاب را به عهده گرفتند کمال تشکر را دارم.

ایشیرو سوزوکی

¹ American Society for Metals

² American National Standards Institute

³ American Institute of Mining, Metallurgy and petroleum Engineers

⁴ Metal Finishing Society of Japan

⁵ Japan Association of Corrosion Control

⁶ Iron and Steel Institute of Japan

⁷ Japan Society of Corrosion Engineering

⁸ Falkner

⁹ Brad

¹⁰ Leidheiser

¹¹ Cannon

پیشگفتار مترجم

خدای دانا و توانا را سپاس که توانستم مجموعه دیگری از سلسله موضوعات مهندسی سطح تحت عنوان پوشش های مقاوم به خوردگی جوئی را به پایان برسانم. این مجموعه به دنبال چاپ و انتشار چهار کتاب قبلی در زمینه مهندسی سطح با نام های ۱- پرتوهای پر انرژی، ۲- پوشش های پیشرفته، ۳- پوشش های الکترولس نیکل و ۴- پوشش های مقاوم به سایش، در اختیار جامعه علمی کشور قرار می گیرد.

مهندسی خوردگی یکی از شاخه های مهم علوم و مهندسی به شمار می آید که برای سال های متمادی مورد توجه محققین و صنعت گران قرار گرفته است. در این شاخه از علوم، غالباً مبانی خوردگی فلزات و نیز روش های جلوگیری یا کاهش میزان خوردگی آن ها مطالعه می شود. یکی از روش های مؤثر حفاظت فلزات در برابر خوردگی، استفاده از پوشش های محافظ می باشد.

کتاب حاضر در راستای آسان سازی دسترسی به علوم مرتبط با مهندسی سطح و خوردگی و نیز به منظور آشنایی هرچه بیشتر دانشجویان و متخصصان این حوزه با پوشش های مقاوم در برابر خوردگی، ترجمه و نگارش شده است. مطالب کتاب شامل انواع پوشش های مقاوم به خوردگی جوئی به همراه سازوکار حفاظتی آنها و نیز فرایندهای ایجاد این پوشش ها می باشد. برای به کارگیری واژه های فارسی در متن کتاب، تلاش زیادی شده است، اما در هر حال اصطلاحات انگلیسی مربوطه نیز برای مطابقت با کلمات فارسی، هم به صورت پاورقی و هم به صورت واژه نامه در انتهای کتاب آورده شده اند.

در پایان، لازم است از جناب آقای مهندس کثیری ها و سرکار خانم دکتر رضایی به دلیل بازخوانی متن نهایی؛ و نیز جناب آقای دکتر گیوه چی بابت ویراستاری ادبی کتاب و مطابقت متن با واژه های مصوب فرهنگستان، کمال تشکر را بنمایم. امیدوارم انتشار این مجموعه، قدمی رو به جلو برای گسترش علوم مرتبط با مهندسی سطح و خوردگی بوده و مورد استقبال مخاطبان واقع شود.

کریم زنگنه مدار
دانشیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر