بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

تولید، مشخصه‌یابی و ارزیابی رفتار خوردگی پوشش‌های آلومینیوم اعمالی به روش پاشش قوس الکتریکی برای کاربردهای دریایی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد

عرفان عابدی اصفهانی

اساتید راهنما

دکتر حمیدرضا سلیمی جزی دکتر محمدعلی گلعذار

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مواد

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد- خوردگی و حفاظت از مواد

آقای عرفان عابدی اصفهانی تحت عنوان

تولید، مشخصه‌یابی و ارزیابی رفتار خوردگی پوشش‌های آلومینیوم اعمالی به روش پاشش قوس الکتریکی برای کاربردهای دریایی

در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر حمیدرضا سلیمی جزی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمدعلی گلعذار
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر جواد مستقیمی
۴- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر لری پرشین
۵- استاد داور	دکتر محمود منیرواقفی
۶- استاد داور	دکتر کیوان رئیسی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مسعود پنجه‌پور

تشکر و قدردانی

در پایان مرحله‌ای دیگر از تحصیل، به شرط ادب و احترام بر خود واجب می‌دانم قدردان تمام عزیزانی باشم که در فراز و فرودهای این راه همراهم بودند.

از حمایت‌ها و فداکاری‌های بی‌انتهای خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی یاورم بودند، بی‌نهایت متشکرم.

از اساتید راهنمای پروژه جناب آقایان دکتر حمیدرضا سلیمی جزی و دکتر محمدعلی گلعذار که سختی‌های راه از استواری قدم‌هایشان نکاست تشکر و قدردانی می‌کنم.

همچنین از آقایان دکتر محمود منیرواقفی و دکتر کیوان رئیسی که عهده‌دار بازخوانی و داوری این پایان‌نامه شدند سپاسگزارم.

نام و یاد تمامی دوستان عزیزم را که در این راه من را همراهی نمودند هرگز فراموش نخواهم کرد.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر عزیز

و مادر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست اشکال ..... دوازده
فهرست جداول ..... شانزده
چکیده ۱
۱- فصل اول ۲
۱-۱- مقدمه ۲
۲- فصل دوم ۵
۲-۱- تولید آلومینیوم ۶
۲-۲- ویژگی‌های آلومینیوم ۷
۲-۳- خواص فیزیکی آلومینیوم ۸
۲-۴- مقاومت به خوردگی اتمسفری آلومینیوم ۹
۲-۵- واکنش الکتروشیمیایی در هنگام خوردگی آلومینیوم ۱۰
۲-۶- رفتار الکتروشیمیایی آلومینیوم ۱۳
۲-۷- آلومینیوم به عنوان فلزی روئین ۱۳
۲-۸- تاثیر کلر و یون کلرید بر خوردگی آلومینیوم ۱۴
۲-۹- تاثیر کلرید سدیم بر خوردگی آلومینیوم ۱۴
۲-۱۰- حفاظت از خوردگی آلومینیوم ۱۵
۲-۱۰-۱- عملیات شیمیایی تبدیلی ۱۶
۲-۱۰-۲- آندایزینگ ۱۶
۲-۱۰-۳- رنگ و دیگر پوشش‌های آلی ۱۷
۲-۱۱- توسعه پوشش‌های پاشش حرارتی آلومینیوم ۱۷

۲-۱۲- روند ایجاد یک پوشش کارآمد برای یک کاربرد خاص ۱۷
۲-۱۳- معرفی فرایندهای پاشش حرارتی ۱۸
۲-۱۳-۱- پاشش پلاسمایی ۲۰
۲-۱۳-۲- پاشش HVOF ۲۰
۲-۱۳-۳- پاشش شعله‌ای ۲۱
۲-۱۳-۴- پاشش قوسی الکتریکی ۲۱
۲-۱۳-۵- مقایسه روش‌های پاشش حرارتی ۲۳
۲-۱۴- مقایسه کلی پاشش حرارتی با سایر روش‌های پوشش‌دهی ۲۴
۲-۱۵- مکانیزم تشکیل پوشش در فرایندهای پاشش حرارتی ۲۴
۲-۱۶- عوامل ریزساختاری مؤثر بر رفتار خوردگی پوشش‌های پاشش حرارتی ۲۶
۲-۱۶-۱- تخلخل ۲۶
۲-۱۶-۲- ذرات ذوب نشده ۲۷
۲-۱۶-۳- اکسید ۲۷
۲-۱۶-۴- ترک‌های ریزساختاری ۲۸
۲-۱۷- مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالای پوشش پاشش حرارتی آلومینیوم ۲۸
۲-۱۸- مقاومت پوشش‌های پاشش حرارتی روی برای حفاظت از فولاد در محیط خاک ۲۹
۲-۱۹- آب‌بندی پوشش‌های پاشش حرارتی آلومینیوم ۳۰
۲-۲۰- رنگ ۳۱
۲-۲۱- آماده‌سازی سطحی ۳۲
۲-۲۲- بررسی تاثیر رنگدانه‌های فسفات روی و کرومات روی ۳۳
۲-۲۳- ترکیب پوشش‌های فلزی و آلی ۳۵
۳- فصل سوم ۳۷

۳-۱- زیرلایه مورد استفاده ۳۷
۳-۲- فرایند پوشش‌دهی آلومینیوم ۳۷
۳-۳- فرایند پوشش‌دهی مواد آلی ۳۸
۳-۴- مشخصه‌یابی و آزمون‌های انجام شده ۳۸
۳-۴-۱- آنالیز تفرق اشعه ایکس ۳۸
۳-۴-۲- متالوگرافی سطح مقطع پوشش‌ها ۳۸
۳-۴-۳- چسبندگی پوشش ۳۹
۳-۴-۴- آزمون‌های الکتروشیمیایی ۴۰
۳-۴-۵- آزمون پاشش نمک ۴۰
۴- فصل چهارم ۴۲
۴-۱- مشخصه‌یابی پوشش آلومینیوم به روش قوس الکتریکی ۴۲
۴-۱- بررسی چسبندگی پوشش ۴۵
۴-۲- رفتار خوردگی پوشش پاشش حرارتی آلومینیوم بر روی فولاد ۴۷
۴-۲-۱- آزمون‌های الکتروشیمیایی ۴۷
۴-۲-۱- آزمون پاشش نمک ۵۲
۴-۳- پوشش رنگ حاوی زینک فسفات بر روی زیرلایه فولاد ۵۷
۴-۳-۱- آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی ۵۹
۴-۳-۱- آزمون پاشش نمک ۶۳
۴-۱- پوشش رنگ حاوی فسفات روی بر روی فولاد پوشش داده شده توسط آلومینیوم ۶۴
۴-۱-۱- آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی ۶۶
۴-۱-۲- آزمون پاشش نمک ۶۸
۴-۲- مقایسه پوشش آلومینیوم و پوشش دولایه آلومینیوم-رنگ ۷۱

۴-۲-۱- غوطه‌وری نمونه در محلول کلرید سدیم ۷۱

۴-۲-۲- آزمون پاشش نمک..... ۷۱

۵- فصل پنجم..... ۷۳

۵-۱- نتیجه‌گیری ۷۳

۵-۲- پیشنهادات ۷۴

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: میزان تولید فولاد خام جهان [۱۱] ۶
شکل ۲-۲ : تولید جهانی آلومینیوم[۱۹] ۸
شکل ۲-۳: مقایسه مقاومت خوردگی آلومینیوم و فولاد در برابر خوردگی اتمسفری [۱۹] ۹
شکل ۲-۴: تصویر شماتیک سل و الکترود مرجع مورد استفاده در اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی [۱۹] ۱۲
شکل ۲-۵: منحنی پتانسیل-زمان [۱۹] ۱۳
- شکل ۲-۶: مقاومت به خوردگی فلزات مختلف در محلول کلرید سدیم [۱۹] ۱۶
شکل ۲-۷: روند ایجاد و ارزیابی یک پوشش برای یک کاربرد خاص [۲۲] ۱۸
شکل ۲-۸: نحوه کار سیستم پاشش پلاسمایی [۲۳] ۲۰
شکل ۲-۹: نمایی از پاشش HVOF [۲۳] ۲۱
شکل ۲-۱۰: نمایی از پاشش شعله‌ای [۲۳] ۲۱
شکل ۲-۱۱: سیستم پاشش حرارتی قوسی الکتریکی ۲۲
شکل ۲-۱۲: شماتیک تفنگ پاشش حرارتی قوسی: (۱) جریان گاز اتمایز کننده (۲) حفاظ خارجی مشعل (۳) پاشش ذرات مذاب (۴) قوس الکتریکی (۵) الکترودهای مصرفی [۲۲] ۲۳
شکل ۲-۱۳: مقایسه ضخامت پوشش در روش‌های مختلف پوشش‌دهی [۲۴] ۲۵
شکل ۲-۱۴: محدوده دمایی وارد شده به زیرلایه در حین پوشش‌دهی به روش‌های مختلف [۲۴] ۲۵
شکل ۲-۱۵: مراحل تشکیل پوشش‌های پاشش حرارتی [۲۰] ۲۶
شکل ۲-۱۶: اجزاء و ساختار یک پوشش پاشش حرارتی [۲۰] ۲۷
شکل ۲-۱۷: افزایش وزن در واحد سطح بر حسب دما با نرخ افزایش دمای ۱۰ درجه سانتیگراد بر دقیقه[۳۲] ۲۹
شکل ۲-۱۸: سرعت خوردگی نمونه های فولادی با پوشش روی، روی-آلومینیوم و فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ در خاک [۳۴] ۳۰
شکل ۲-۱۹: منحنی‌های نایکوئیست حاصل از قرار گرفتن نمونه با پوشش روی-آلومینیوم برای ۹۲ روز در خاک [۳۴] ۳۱
شکل ۲-۲۰: منحنی‌های پلاریزاسیون پوشش آب‌بندی شده و نشده [۹] ۳۲
شکل ۲-۲۱: نحوه اتصال مکانیکی ذرات پاشیده شده بر روی ناهمواری‌های زیرلایه [۲۲] ۳۳

شکل ۲-۲۲: منحنی‌های نایکوئیست مربوط به پوشش‌های (A) بدون رنگدانه، حاوی (B) فسفات روی و (C) کرومات روی در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم [۳۶] ۳۴
شکل ۲-۲۳: تغییر مقاومت انتقال بار پوشش های آلی طی ۲۸ روز در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم [۳۶] ۳۵
شکل ۲-۲۴: تغییر مقاومت پوشش‌های آلی طی ۲۸ روز در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم [۳۶] ۳۵
شکل ۲-۲۵: استفاده همزمان از پوشش فلزی و آلی جهت حفاظت از خوردگی فولاد [۸] ۳۶
شکل ۳-۱: فیکسچر جهت هم‌محور کردن نمونه‌های تست چسبندگی پوشش ۳۹
شکل ۳-۲: شماتیک مینی‌سل ساخته شده جهت آزمون امپدانس الکتروشیمیایی ۴۰
شکل ۴-۱: تصویر SEMسطح مقطع نمونه فولادی پوشش داده شده به روش AS(A)اچ نشده (B)اچ شده ۴۳
شکل ۴-۲: نتایج آنالیزEDS مربوط به پوشش آلومینیوم ۴۳
شکل ۴-۳: الگوی XRD به دست آمده از سطح پوشش آلومینیوم ۴۵
شکل ۴-۴: منحنی‌های حاصل از ۴ بار آزمون چسبندگی پوشش ۴۶
شکل ۴-۵: سطح پوشش داده شده نمونه بعد از آزمون کشش ۴۶
شکل ۴-۶: منحنی‌های تافل نمونه‌های فولادی بدون پوشش و پوشش داده شده به روش AS ۴۷
شکل ۴-۷: منحنی‌های نایکوئیست فولاد با پوشش آلومینیوم اعمال شده به روش AS غوطه ور در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم تا ۴۴ روز ۴۹
شکل ۴-۸: منحنی‌های باد فاز فولاد با پوشش آلومینیوم اعمال شده به روش AS غوطه ور در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم تا ۴۴ روز ۴۹
شکل ۴-۹: مدار معادل متشکل از: مقاومت انتقال بار در لایه دوگانه (R_{CT})، المان فاز ثابت مربوط به لایه دوگانه (CPE-DL)، مقاومت حفرات (R_{PORE})، المان فاز ثابت مربوط به پوشش (CPE-C) و مقاومت جبران نشده محلول(R_S) ۵۰
شکل ۴-۱۰: مدار معادل متشکل از: مقاومت حفرات (R_{PORE})، المان فاز ثابت مربوط به پوشش (CPE-C)، مقاومت واربورگ(W) و مقاومت جبران نشده(R_E) ۵۰
شکل ۴-۱۱: تصویر SEM سطح مقطع نمونه پوشش داده شده پس از غوطه‌وری به مدت ۴۴ روز (آشکارساز الکترون برگشتی) ۵۱
شکل ۴-۱۲: نتیجه حاصل از EDS منطقه تیره رنگ سطح مقطع بعد از ۴۴ روز غوطه‌وری ۵۲
شکل ۴-۱۳: منحنی‌های پولاریزاسیون تافل در زمان‌های مختلف غوطه‌وری ۵۳
شکل ۴-۱۴: سطح آلومینیوم (A) قبل و (B) بعد از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک ۵۳

شکل ۴-۱۵: سطح نمونه فولادی بدون پوشش (A) قبل و (B) بعد از ۷۲ ساعت آزمون پاشش نمک ۵۴
شکل ۴-۱۶: تصاویر SEM از سطح مقطع پوشش بعد از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک ۵۴
شکل ۴-۱۷: نتیجه حاصل از آنالیز ترکیب شیمیایی EDS به صورت خطی در سطح مقطع پوشش بعد از آزمون پاشش نمک . ۵۵
شکل ۴-۱۸: مقایسه منحنی‌های نایکوئیست پوشش آلومینیوم قبل و بعد از آزمون پاشش نمک ۵۵
شکل ۴-۱۹: مقایسه منحنی‌های باد پوشش آلومینیوم قبل و بعد از آزمون پاشش نمک ۵۶
شکل ۴-۲۰: الگوی XRD سطح پوشش آلومینیوم پس از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک ۵۶
شکل ۴-۲۱: گراف XRD رنگدانه فسفات روی (شرکت خودرنگ اصفهان) ۵۸
شکل ۴-۲۲: الگوی XRD پوشش رنگ حاوی رنگدانه فسفات روی ۵۸
شکل ۴-۲۳: تصاویر SEM از سطح مقطع پوشش رنگ بر زیرلایه فولاد در دو حالت SE و BSE ۵۹
شکل ۴-۲۴: منحنی‌های نایکوئیست و باد فاز فولاد با پوشش رنگ غوطه ور در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم تا ۴۴ روز ۵۹
شکل ۴-۲۵: R_{CT} و R_{PORE} بر حسب زمان غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم برای فولاد با پوشش رنگ ۶۲
شکل ۴-۲۶: الگوی XRD پوشش رنگ حاوی رنگدانه فسفات روی بعد از ۴۴ روز غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم ۶۲
شکل ۴-۲۷: سطح نمونه فولادی با پوشش رنگ (A) قبل و (B) بعد از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک ۶۳
شکل ۴-۲۸: مقایسه منحنی‌های باد پوشش رنگ بعد و قبل از آزمون پاشش نمک ۶۴
شکل ۴-۲۹: تصاویر SEM سطح مقطع پوشش رنگ و فصل‌مشترک پوشش-زیرلایه پس از آزمون پاشش نمک ۶۵
شکل ۴-۳۰: تصویر SEM سطح مقطع پوشش آلومینیوم و رنگ ۶۵
شکل ۴-۳۱: منحنی‌های نایکوئیست نمونه غوطه ور در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم تا ۴۴ روز ۶۶
شکل ۴-۳۲: منحنی‌های بادفاز نمونه غوطه ور در محلول ۳/۵٪ کلرید سدیم تا ۴۴ روز ۶۷
شکل ۴-۳۳: مدار معادل متشکل از: مقاومت انتقال بار در لایه دوگانه (R)، المان فاز ثابت مربوط به لایه دوگانه (CPE)، و مقاومت جبران نشده محلول(R_S) ۶۷
شکل ۴-۳۴: R_T بر حسب زمان غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم ۶۸
شکل ۴-۳۵: سطح نمونه فولادی با پوشش آلومینیوم و رنگ(A) قبل و (B) بعد از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک ۶۹
شکل ۴-۳۶: منحنی‌های نایکوئیست و بادفاز به دست آمده از نمونه فولادی با پوشش رنگ پس از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک ۶۹
شکل ۴-۳۷:مقایسه منحنی‌های باد پوشش آلومینیوم و رنگ قبل و بعد از آزمون پاشش نمک ۷۰
شکل ۴-۳۸:تصاویر SEM سطح مقطع پوشش آلومینیوم و رنگ پس از آزمون پاشش نمک ۷۰

شکل ۴-۳۹: منحنی‌های باد مربوط به پوشش‌های آلومینیوم و آلومینیوم-رنگ پس از ۴۴ روز غوطه‌وری ۷۱
شکل ۴-۴۰: منحنی‌های باد مربوط به پوشش‌های آلومینیوم و آلومینیوم-رنگ پس از ۱۵۰۰ ساعت آزمون پاشش نمک..... ۷۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: برخی از خواص فیزیکی آلومینیوم [۱۹] ۸
جدول ۲-۲: پتانسیل الکترود استاندارد [۱۹] ۱۱
جدول ۲-۳: پتانسیل‌های خوردگی بر حسب میلی ولت نسبت به الکترود مرجع کالومل اشباع در آب دریا در حال حرکت ۲۵°C [۱۹] ۱۲
جدول ۲-۴: تاثیر کلر بر سرعت خوردگی آلومینیوم [۱۹] ۱۴
جدول ۲-۵: مواد غیرآلی موجود در آب دریا [۱۹] ۱۵
جدول ۲-۶: مقایسه کلی فرایندهای پاشش حرارتی [۲۴] ۲۳
جدول ۲-۷: مقایسه کلی خواص پوشش‌های حاصل از روش‌های پاشش حرارتی [۲۴] ۲۴
جدول ۳-۱: آنالیز شیمیایی فولاد استفاده شده به عنوان زیرلایه (درصد وزنی) ۳۷
جدول ۳-۲: پارامترهای پاشش حرارتی قوسی ۳۸
جدول ۴-۱: نتایج آنالیز EDS مربوط به پوشش آلومینیوم برحسب درصد اتمی ۴۴
جدول ۴-۲: مقادیر متوسط درصد تخلخل، درصد اکسید و زبری سطح پوشش آلومینیوم ۴۴
جدول ۴-۳: نتایج حاصل از آزمون چسبندگی پوشش ۴۵
جدول ۴-۴: پارامترهای خوردگی به دست آمده از منحنی‌های تافل نمونه‌های بدون پوشش و پوشش داده شده ۴۸
جدول ۴-۵: پارامترهای خوردگی به دست آمده از منحنی‌های EIS نمونه فولادی پوشش داده شده با آلومینیوم ۵۱
جدول ۴-۶: اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیوم [۴۳] ۵۷
جدول ۴-۷: نتایج حاصل از آزمون چسبندگی پوشش بعد از آزمون پاشش نمک ۵۷
جدول ۴-۸: پارامترهای خوردگی به دست آمده از منحنی‌های EIS نمونه فولادی پوشش داده شده با رنگ ۶۱

چکیده

در تحقیق حاضر، پوشش آلومینیوم به روش پاشش حرارتی قوسی الکتریکی (AS) بر روی فولاد ساده کربنی اعمال گردید. بررسی تصاویر به دست آمده از سطح مقطع پوشش به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که پوشش ایجاد شده پوششی بدون ترک، و با درصد تخلخل کم است. همچنین آزمون تفرق اشعه ایکس میزان کم فاز اکسیدی پوشش را نشان داد. آزمون چسبندگی، استحکام بالای چسبندگی پوشش به زیرلایه را نشان داد. آزمون پولاریزاسیون تافل، سرعت خوردگی بالاتر این پوشش نسبت به آلومینیوم خالص تجاری را نشان داد که به نفوذ الکترولیت از طریق تخلخل‌های موجود و رسیدن آن به فصل مشترک پوشش – زیرلایه و تشکیل سل گالوانیکی مربوط می‌گردد. بررسی رفتار خوردگی پوشش آلومینیوم به کمک آزمون امپدانس الکتروشیمیایی در زمان‌های طولانی غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم و آزمون پاشش نمک نشان داد که این پوشش گرچه توانسته است زیرلایه فولادی را در برابر خوردگی حفاظت نماید و مقاومت آن در برابر نفوذ الکترولیت به دلیل تجمع محصولات خوردگی و مسدود شدن تخلخل‌های پوشش افزایش نیز یافته است، با اینحال درصد اکسید پوشش به طرز چشمگیری افزایش یافته و سبب شده است تا استحکام پیوستگی پوشش به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. جهت بررسی امکان افزایش مقاومت به خوردگی پوشش‌های پاشش حرارتی آلومینیوم، پوشش رنگ حاوی رنگدانه "فسفات روی" بر روی آن اعمال گردید. ارزیابی عملکرد این پوشش دولایه نشان داد که مقاومت انسدادی پوشش دولایه به طرز چشمگیری بالاتر از پوشش فلزی آلومینیوم بوده و این مقاومت بالا در طول زمان غوطه‌وری طولانی و آزمون پاشش نمک حفظ می‌گردد. این پوشش در طول ۴۴ روز غوطه‌وری و ۱۵۰۰ ساعت پاشش نمک مقاومت مناسبی در برابر خوردگی داخلی از خود نشان داد به طوریکه پس از این مدت هیچ‌گونه علائم خوردگی در داخل پوشش و فصل‌مشترک پوشش با زیرلایه و یا افزایش درصد اکسید پوشش مشاهده نشد. بررسی سطح مقطع پوشش دولایه پس از آزمون، هیچ‌گونه جدایش پوشش را نشان نداد. در حالیکه بررسی عملکرد پوشش رنگ اعمالی بر روی زیرلایه فولاد نشان داد که این پوشش قادر نخواهد بود چسبندگی خود را به زیرلایه در زمان‌های طولانی غوطه‌وری حفظ نماید. دلیل بهبود عملکرد پوشش رنگ بر روی پوشش آلومینیوم نسبت به زیرلایه فولاد، به تشکیل لایه روئین مقاوم در برابر خوردگی آلومینیوم نسبت داده می‌شود.

کلمات کلیدی: پاشش قوسی الکتریکی، آلومینیوم، فولاد ساده کربنی، رنگدانه فسفات روی، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی، پاشش نمک.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

فولادهای ساده کربنی به دلیل خواص مکانیکی خوب و قیمت پائین به طور گسترده‌ای در ساخت سازه‌های عظیم دریایی همچون سکوها به کار گرفته می‌شوند. با اینحال در محیط‌های شدیداً خورنده‌ی حاوی کلر همچون محیط‌های دریایی، مقاومت به خوردگی ضعیف این آلیاژها همواره مشکل‌ساز بوده است.تحقیق بر روی بهبود عملکرد و حفاظت از تخریب سازه‌های فولادی توسط خوردگی، همواره یکی از هدف‌های عمده‌ی محققین، جهت کاهش هزینه‌های حفاظت از سازه‌ها و افزایش عمر آن‌ها بوده است.استفاده از روش‌هایی چون حفاظت کاتدی و آندی، پوشش‌های فلزی، رنگ و بازدارنده‌ها از جمله روش‌هایی هستند که کاربرد گسترده‌ای در حفاظت از خوردگی فولادها دارند.

از جمله موثرترین روش‌های حفاظت از خوردگی، استفاده از پوشش‌ها است. دامنه وسیعی از پوشش‌های فلزی و آلی، قابلیت حفاظت از سازه‌های فولادی را دارند. با اینحال استفاده از پوشش‌هایی که نسبت به فولاد فعال‌تر هستند و می‌توانند به صورت فداشونده فولاد را حفاظت نمایند در عمل بیشترین کاربرد را دارند. این نوع پوشش‌ها لزوماً نباید کاملاً بدون عیب[1] باشند و به همین دلیل استفاده از پوشش‌های روی، آلومینیوم و آلیاژهای آن‌ها گسترش فراوانی یافته است.

---

[1] Pinhole-free

روش‌های پوشش‌دهی بسیار مختلفی جهت اعمال پوشش‌های فلزی فداشونده وجود دارند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش غوطه‌وری[۱] [۱و۲]، رسوب فیزیکی بخار[۲] [۳و۴]، رسوب شیمیایی بخار[۳] [۵و۶] و روش‌های مختلف پاشش حرارتی[۴] اشاره نمود. در میان روش‌های مختلف پوشش‌دهی، استفاده از روش پاشش حرارتی قوسی به خاطر بازده بالای پوشش‌دهی و نیز مزایای اقتصادی و سهولت اعمال پوشش به طور گسترده‌ای جهت اعمال پوشش‌های مقاوم به خوردگی مورد توجه قرار گرفته است [۷]. آزمون‌های میدانی انجام گرفته توسط اشمیت[۵] و همکارانش [۸] در اتمسفر دریایی نشان داد که پوشش‌های آلومینیوم می‌توانند عملکرد مطلوبی را در حفاظت از خوردگی فولاد داشته باشند. با اینحال نواقص ساختاری پوشش‌های پاشش حرارتی همچون تخلخل‌ها و ترک‌های ریزساختاری باعث شده است تا از روش‌هایی جهت بهبود این پوشش‌ها استفاده گردد. استفاده از آب‌بندها[۶] به این منظور بسیار مرسوم است. لیو[۷] و همکارانش [۹] نشان دادند که عملکرد این پوشش‌ها توسط آب‌بندی هیدروترمال بهبود می‌یابد. همچنین استفاده از پوشش‌های آلی به همراه پوشش‌های فلزی روشی بسیار مؤثر جهت حفاظت از خوردگی است. این پوشش‌های دوگانه به واسطه خاصیت سدکنندگی پوشش فلزی و آلی و همچنین خاصیت فداشوندگی پوشش فلزی قادر خواهند بود که سازه فولادی را به طور مؤثری در برابر محیط‌های خورنده حفاظت نمایند [۱۰].

تاکنون رفتار پوشش‌های آلومینیوم بر روی فولاد در محیط‌های دریایی و نیز با استفاده از آزمون پاشش نمک مورد بررسی قرار گرفته است. با اینحال رفتار خوردگی این پوشش‌ها در درازمدت با استفاده از روش‌های مدرن الکتروشیمیایی همچون امپدانس الکتروشیمیایی (EIS[۸]) به طور گسترده مورد ارزیابی قرار نگرفته است. در این تحقیق مشخصه‌یابی و ارزیابی رفتار خوردگی پوشش های آلومینیوم اعمال شده به روش قوس الکتریکی بر روی فولاد در دراز مدت و به کمک روش امپدانس الکتروشیمیایی بررسی شده است. همچنین تاثیر پوشش آلی حاوی رنگدانه[۹] فسفات روی در بهبود عملکرد خوردگی این پوشش‌ها به کمک تلفیقی از آزمون‌های امپدانس الکتروشیمیایی و آزمون پاشش نمک[۱۰] بررسی گردیده است.

در فصل دوم گزارش حاضر تاریخچه‌ای از تولید آلومینیوم، خواص آن و نیز روش‌های مرسوم پوشش‌دهی پوشش‌های فلزی و آلی ارائه شده است. سپس در فصل سوم نحوه اعمال پوشش آلومینیوم و رنگ بر روی زیرلایه

---

[1] Hot dip
[2] Physical vapor deposition
[3] Chemical vapor deposition
[4] Thermal spray
[5] Schmidt
[6] Sealer
[7] Liu
[8] Electrochemical impedance spectroscopy
[9] Pigment
[10] Salt Spray

فولادی و نیز روش‌های انجام آزمایش‌های خوردگی توضیح داده می‌شود. در فصل چهارم نتایج حاصل از این آزمایش‌ها ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. و در پایان خلاصه نتایج به دست آمده ارائه خواهند گردید.

فصل دوم
مروری بر منابع

از آنجائیکه آهن و فولاد همچنان جزء ارزانترین فلزات به حساب می‌روند، جهت ساخت سازه‌های عظیمی همچون سازه‌های دریایی و سکوهای نفتی از این آلیاژ استفاده می‌گردد. در حدود ۹۳ درصد از تولیدات فلزی و آلیاژی جهان را فولاد تشکیل می‌دهد. روند افزایش تولید سالیانه فولاد جهان از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ بر طبق اعلام موسسه بین‌المللی آهن و فولاد در شکل ۲-۱ آورده شده است. بر این اساس آهن و فولاد همچنان از مهمترین تولیدات کشورهای صنعتی جهان به شمار می‌روند [۱۱].

با این‌حال، مقاومت به خوردگی نسبتاً پائین فولاد در محیط‌های شدیداً خورنده دریایی همواره مشکل‌ساز بوده است [۱۲]. وجود املاح و نمک‌ها در آب دریاها عامل ایجاد خوردگی در سازه‌های دریایی است. عواملی چون افزایش دما، افزایش میزان اکسیژن و سرعت جریان آب نیز می‌توانند میزان خورندگی را افزایش دهند.

استفاده از پوشش‌های آلی از سال‌ها پیش به عنوان روشی مؤثر در حفاظت از خوردگی فولاد مورد استفاده بوده است. عملکرد پوشش‌های آلی عمدتاً بر اساس جلوگیری از تماس مستقیم فولاد زیرلایه با محیط خورنده است. اما ایراد پوشش‌های آلی آن است که به جهت پیشرفت خوردگی از طریق عیوب موجود در پوشش، می‌توانند انهدام زودرس را تجربه کنند. این عیوب عمدتاً در حین حمل و نقل، نصب و یا در اثر مرور زمان به وجود می‌آیند.