

بررسی تاثیر پوشش های تبدیلی کرومات و آندایزینگ بر مقاومت به خوردگی آلیاژهای هوایی ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ آلومینیوم

یزدانی، علی*

عضو هیئت علمی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز، بلوار چمران
(دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۳۰)

چکیده

نسبت استحکام به وزن بالای گروه های ۲۰۰۰ و ۷۰۰۰ آلیاژهای آلومینیوم سبب استفاده زیاد آنها در صنایع هوایی شده است. از جمله مهمترین این آلیاژها، آلیاژهای ۲۰۲۴-T۳ و ۷۰۷۵-T۶ آلومینیوم است که علی رغم استحکام بالا از نظر مقاومت به خوردگی به شدت ضعیف می باشند. این پژوهش به بررسی بهبود مقاومت به خوردگی آلیاژهای مذکور در اثر اعمال پوشش های آندایز مختلف و همچنین پوشش کرومات می پردازد. مورفولوژی پوشش های آندایز مختلف توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین از آزمون پلاریزاسیون به منظور بررسی رفتار خوردگی نمونه ها در محیط نمکی استفاده گردید. در نهایت نمونه های پوشش داده شده پس از اعمال رنگ تحت عملیات پاشش نمک قرار گرفتند. نتایج نشان می دهد که تمامی پوشش های آندایز و کرومات منجر به بهبود مقاومت به خوردگی آلیاژهای ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ آلومینیوم می شود. میزان بهبود در این آلیاژها به ترتیب ۷۸ و ۷۲ درصد با پوشش کرومات، و ۹۸ و ۹۴ درصد با پوشش آندایز است.

واژه های کلیدی: پوشش، خوردگی، آندایز، کرومات، آلیاژ ۲۰۲۴، آلیاژ ۷۰۷۵

مقدمه

آلومینیوم و آلیاژهای آن به طور گسترده ای در صنایع مختلف به کار می روند [۱]. این آلیاژها به دلیل دانسیته پائین، هدایت حرارتی بالا و خواص الکترومغناطیس، در صنایع هوافضا [۲ و ۳]، اتومبیل سازی، کشتی سازی [۴ و ۵]، قطعات کامپیوتر و سایر صنایع کاربرد فراوانی دارند.

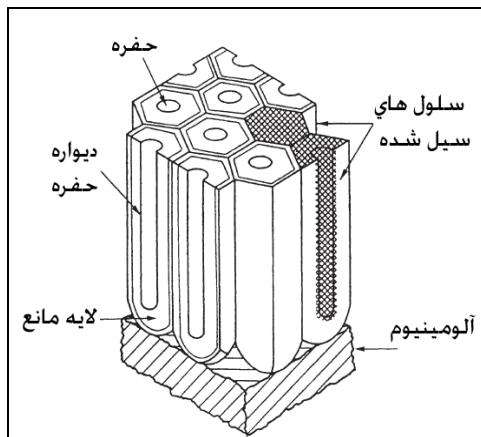
آلیاژهای آلومینیوم به ۸ گروه مختلف تقسیم بندی می شوند که از آلیاژسازی آلومینیوم با عناصر دیگر از جمله مس، منیزیم، منگنز و غیره تولید می شوند. در این میان آلیاژهای ۲۰۲۴ از گروه ۲XXX و ۷۰۷۵ از گروه ۷XXX در صنایع هوایی کاربرد بسیار زیادی دارند [۶]. در آلیاژهای آلومینیوم هوایی ۲۰۲۴-T۳ و ۷۰۷۵-T۶، مس با تشکیل فازهای بین فلزی در حین عملیات حرارتی، یک عامل اساسی استحکام بخشی این آلیاژها محسوب می شود، اما تشکیل پیل گالوانیکی بین رسوبات غنی از مس (مثلاً Al_2CuMg) و

زمینه، سبب ایجاد خوردگی موضعی در این آلیاژها شده و مقاومت به خوردگی آلیاژ را به شدت کاهش می دهد [۷ و ۸]. با توجه به حساسیت بالای صنایع هوایی و مقاومت به خوردگی پائین آلیاژهای آلومینیوم مصرفی در این صنایع، اعمال عملیات سطحی مناسب جهت حفاظت از خوردگی آنها اجتناب ناپذیر است [۹ و ۱۰]. پوشش های مختلفی نظیر پوشش های فسفات [۱۱]، سل-ژل [۱۲ و ۱۳]، کرومات [۱۴]، روکش [۱۵ و ۱۶] و آندایزینگ [۱۱] در این زمینه مطرح شده اند، که در این میان به دلیل مقاومت به خوردگی پائین، مسائل اقتصادی، تخریب های زیست محیطی و جدید بودن، تنها تعداد معدودی از آنها هم اکنون در صنعت استفاده می شوند.

در میان تمامی پوشش های محافظ در برابر خوردگی، پوشش کرومات به عنوان یکی از بهترین پوشش ها جهت حفاظت آلیاژهای آلومینیوم مورد تأیید بوده و کاربرد زیادی پیدا کرده است. تاکنون تحقیقات گسترده ای بر روی

خورنده، آب بندی با آب جوش سبب افزایش زیاد مقاومت به خوردگی آلیاژ می شود [۲۸].

در این پژوهش با اعمال پوشش‌های آندایز مختلف و پوشش کرومات، خواص خوردگی آلیاژهای ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ توسط روش‌های الکتروشیمیایی و پاشش نمک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و امکان سنجی جایگزینی پوشش کرومات، توسط پوشش آندایز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱- شماتیک ساختار پوشش آندایز ایجاد شده در محلول اسیدی [۷]

روش انجام آزمایش

۱- آماده سازی فلز پایه

در این تحقیق، ورق‌های آلیاژ آلومینیوم T۳-۲۰۲۴ و T۶-۷۰۷۵ با ضخامت ۱mm استفاده شده است. مراحل آماده سازی اولیه سطح ورق‌های مذکور جهت اعمال پوشش مطابق مراحل زیر بوده است:

- سنباده زنی سطح نمونه توسط سنباده‌های ۴۰۰ و ۸۰۰
- چربی گیری در استن به کمک دستگاه آلتراسونیک به مدت ۵ دقیقه
- تمیزکاری در محلول ۵ درصد وزنی NaOH به مدت کمتر از ۵ دقیقه
- دوده زدایی در محلول ۳۰ درصد اسید نیتریک به مدت ۲ دقیقه
- بین تمامی مراحل فوق عملیات شستشو با آب مقطر بر روی نمونه انجام گرفته است.

تأثیر عوامل مختلفی چون آماده سازی [۱۷، ۱۸]، شرایط حمام و چگونگی عملیات کرومات، اما طبیعت سمی و سرطان زای یون کروم ۶ ظرفیتی (Cr^{6+}) موجب شده است تا سازمان‌های حفاظت از محیط زیست و سازمان بهداشت جهانی استفاده از این پوشش در صنایع مختلف را تا حد زیادی محدود کنند. این امر لزوم تحقیق برای یافتن جایگزینی مناسب برای پوشش مذکور را به وضوح نشان می‌دهد [۱۱، ۲۲].

همانطور که بیان شد، یکی دیگر از روش‌های کاهش خوردگی آلیاژهای آلومینیوم، اعمال پوشش آندایز می‌باشد. آندایزینگ آلومینیوم یک پروسه الکتروشیمیایی است که کاربردهای گسترده زیادی دارد از جمله، افزایش مقاومت به خوردگی، افزایش مقاومت به سایش، بهبود ظاهر، افزایش قدرت تشعشع و افزایش چسبندگی رنگ [۲۳ و ۲۴].

پوشش آندایز یک پوشش سرامیکی آلومینا (Al_2O_3) می‌باشد که به کمک پلاریزاسیون آندی سطح آلومینیوم در محلول‌های اسیدی مختلف ایجاد می‌شود که بسته به نوع فرآیند آندایز، مقاومت به خوردگی آلومینیوم را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد [۲۵]. در محیط‌های دریایی و دیگر مناطق با رطوبت بالا، آندایزینگ، بهترین روش جلوگیری از خوردگی ورقه ای آلیاژهای آلومینیوم است [۲۶]. این نوع پوشش می‌تواند جایگزین مناسبی برای پوشش مقاوم کرومات باشد.

لایه آندی ایجاد شده در محیط اسیدی بر روی سطح آلومینیوم ساختاری متخلخل دارد (شکل ۱) و لازم است که قبل از بکارگیری آب بندی شود [۷]. عملیات آب بندی در حقیقت به این معنی است که اکسید آلومینیوم با مولکول‌های آب ترکیب شده و به $Al_2O_3 \cdot H_2O$ تبدیل شود که با افزایش حجم همراه بوده و موجب بسته شدن دهانه حفرات می‌شود. این عملیات توسط محلول‌های مختلفی نظیر آب جوش، دی کرومات، استات نیکل، اسید استتاریک و فلوئورید نیکل استفاده می‌شود. در این میان آب جوش رایج ترین و به صرفه ترین روش مورد استفاده می‌باشد. یک بررسی کلی بر انواع تکنیک‌های آب بندی توسط Hao و Cheng صورت گرفته است که نشان می‌دهد تمام روش‌های آب بندی، مقاومت به خوردگی آلیاژهای آندایز شده را افزایش می‌دهند [۲۷]. Gonzalez گزارش می‌کند که حتی در محیط‌های به شدت

عملیات پوشش دهی

شده به مدت ۳۰ ثانیه در وان حاوی محلول کروماته غوطه ور شده و پس از آن تحت عملیات آبکشی و خشک کردن قرار می گرفتند.

جدول ۱- جزئیات فرآیند اعمال پوشش های آندایز مختلف

SP	P	S	نمونه آندایز
۱۰ %wt.	۰ %wt.	۱۷ %wt.	اسید سولفوریک
۵ %wt.	۱۰ %wt.	۰ %wt.	اسید فسفریک
۲۰ V	۲۰ V	۲۰ V	ولتاژ
۳۰ min	۳۰ min	۳۰ min	زمان پوشش دهی

در نهایت، به منظور بررسی عملکرد این پوشش ها برای زیرلایه رنگ، رنگ پایه اپوکسی به روش اسپری به ضخامت ۵۰ تا ۶۰ میکرون بر روی نمونه ها اعمال گردید.

بررسی خواص

جهت اندازه گیری ضخامت پوشش های آندایز، از دستگاه ضخامت سنج دیجیتالی استفاده گردید و در راستای تأیید دقت آن، تصویری از سطح مقطع نمونه آلیاژ ۲۰۲۴ آندایز شده در محلول اسید سولفوریک توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تهیه گردید و با نتایج دستگاه ضخامت سنج مورد مقایسه قرار گرفت. خواص خوردگی نمونه های مختلف در محلول ۳/۵ درصد وزنی NaCl و به روش الکتروشیمیایی پلاریزاسیون (Potentiodynamic polarization) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور یک پیل سه الکترودی مورد استفاده قرار گرفت که در آن از پلاتین به عنوان الکترود مقابل و الکترود Ag/AgCl به عنوان الکترود مرجع استفاده شد. محدوده روبش پتانسیل در این آزمایش در محدوده ۰/۲۵V- تا ۰/۷۵V+ نسبت به پتانسیل مدار باز (OCP) بوده است. لازم به ذکر است که قبل از انجام آزمون خوردگی الکتروشیمیایی، نمونه ها به مدت ۳۰ دقیقه در محلول خورنده تحت بررسی قرار گرفته اند تا پتانسیل سطح آنها به تعادل لازم جهت انجام آزمون برسند.

برای مقایسه مقاومت لایه رنگ اپوکسی بر روی پوشش های ایجاد شده، نمونه های پوشش داده شده و رنگ شده تحت آزمون پاشش نمک (salt spray) قرار داده شد. محلول مورد استفاده در دستگاه تست، آب نمک به غلظت ۵ درصد وزنی بود

به منظور بررسی تأثیر پوشش آندایز بر روی مقاومت به خوردگی آلیاژهای آلومینیوم T۳-۲۴ و T۶-۷۵ و دستیابی به مقاوم ترین پوشش از این دسته پوشش ها، پوشش آندایز در سه محلول اسید سولفوریک، اسید فسفریک و مخلوطی از این دو اسید ایجاد گردید. اسید سولفوریک به دلیل قیمت پائین و فراوانی، رایج ترین الکترولیت در ایجاد لایه اکسید آلومینیوم بوده و کاربردهای بسیاری در موارد حفاظتی و تزئینی دارد. از طرف دیگر گزارش های شرکت هواپیما سازی بوئینگ بیانگر بکارگیری اسید فسفریک در ایجاد پوشش محافظ برای قطعات هواپیما است. با توجه به این موضوع، تأثیر آندایزینگ در این محلول نیز، به عنوان یک پوشش مطرح در زمینه هواپیما سازی، مورد بررسی قرار گرفت.

ایده تولید و بررسی خواص پوشش آندایز در محلول حاوی مخلوطی از اسیدهای سولفوریک و اسید فسفریک، طرحی کاملاً جدید بوده و با هدف تلفیق خواص این دو الکترولیت ارائه شده است. به منظور جلوگیری از تکرار متوالی نام اسیدها، نمونه ها با عناوین مختصر S، P و SP به شرح زیر نامگذاری شده اند.

نمونه S: نمونه آندایز شده در محلول اسید سولفوریک.

نمونه P: نمونه آندایز شده در محلول اسید فسفریک.

نمونه SP: نمونه آندایز شده در محلول مخلوط مشخصی از اسید سولفوریک و اسید فسفریک.

جهت تعیین آلیاژ پوشش داده شده، نام آلیاژ پیش از حروف تعیین کننده نوع آندایز آورده می شود (مثل S۲۰۲۴). عملیات آندایز در دمای محیط، تحت ولتاژ ثابت و با استفاده از ورق های آلومینیوم ۱۱۰۰ به عنوان الکترود مقابل انجام گرفت. غلظت اسیدها در محلول های آندایز و دیگر پارامترها در جدول ۱ آورده شده است. جهت جلوگیری از افزایش دمای موضعی در جوار سطح الکترودها و توزیع یکنواخت دما در سراسر محلول، محلول آندایزینگ در مدت فرآیند پوشش دهی بصورت مغناطیسی و با سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه تحت تلاطم پیوسته قرار گرفت. پوشش های ایجاد شده پس از شستشو و عملیات خشک کردن توسط دمش هوا، به مدت ۳۰ دقیقه در آب جوش آب بندی شدند.

به منظور اعمال پوشش کروماته از محلول صنعتی IRIDITE 14-2 استفاده گردید. نمونه های آماده سازی

تصویر شکل ۳ مورفولوژی پوشش‌های ایجاد شده بر روی آلومینیوم ۲۰۲۴، در محلول‌های آندایز مختلف را نشان می‌دهد که حاکی از تفاوت در ساختار این پوشش‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد. مقایسه این تصاویر با یکدیگر به خوبی نشان می‌دهد که تراکم و فشردگی این پوشش‌ها با یکدیگر متفاوت است. این تفاوت به گونه‌ای است که پوشش ایجاد شده در اسید سولفوریک بیشترین تراکم را از خود نشان می‌دهد و دانسیته بالاتری دارد. همچنین می‌توان گفت که پوشش آندایز ایجاد شده در محلول اسید فسفریک دارای کمترین فشردگی و بیشترین حفرات در میان این پوشش‌ها می‌باشد. پوشش آندایزی که از محلول حاوی دو محلول مذکور تولید شده است (نمونه SP)، هرچند به نمونه P شباهت بیشتری دارد اما فشردگی بیشتر آن نسبت به پوشش نمونه P قابل تشخیص است. مقایسه مورفولوژی پوشش‌های نمونه‌های S و P با نتایج تحقیقات یانگ^۱ و همکارانش [۲۹] بر روی لایه آندایز با حفرات منظم (AAO) مطابقت دارد. لازم به ذکر است که تصاویر مورفولوژی پوشش‌های ایجاد شده بر روی آلومینیوم ۷۰۷۵ در اسیدهای مختلف نیز تا حد زیادی شبیه به تصاویر شکل ۳ می‌باشد.

۲- بررسی رفتار خوردگی سطوح آندایز

شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان دهنده منحنی پلاریزاسیون نمونه‌های پوشش S، P و SP در کنار منحنی پلاریزاسیون نمونه بدون پوشش آلومینیوم‌های ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ می‌باشد. همانطور که قابل مشاهده است، در تمامی پوشش‌های آندایز، منحنی پلاریزاسیون نسبت به منحنی پلاریزاسیون نمونه بدون پوشش، به سمت پتانسیل‌های مثبت تر متمایل شده است که نشان دهنده رفتار کاتدی‌تر آلومینیوم در حضور پوشش‌های آندایز مختلف می‌باشد. همچنین، منحنی پلاریزاسیون برای نمونه‌های حاوی پوشش نسبت به نمونه بدون پوشش به سمت چپ، یعنی دانسیته جریان‌های پائین تر سوق پیدا کرده‌اند. دانسیته جریان خوردگی نمونه‌های مختلف توسط روش تافل محاسبه شده و به همراه درصد بهبود مقاومت به خوردگی حاصله در جدول‌های ۳ و ۴ گزارش شده است. درصد بهبود مقاومت به خوردگی آلومینیوم به روش نشان داده شده در معادله (۱) محاسبه شده است.

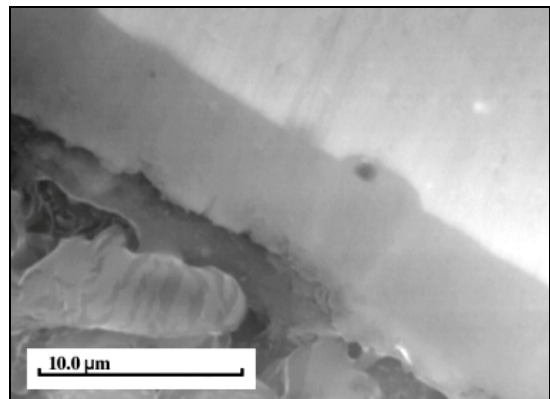
$$R = \frac{i_{bare} - i_{coated}}{i_{bare}} \times 100 \quad (1)$$

که در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد، از طریق نازل‌هایی با فشار ۱۳ پوند بر اینچ مربع به فضای دستگاه اسپری شده است. مدت انجام این تست طبق استاندارد MIL 8625F، ۳۶۰ ساعت بوده است.

نتایج و بحث

۱- بررسی ضخامت و مورفولوژی سطوح آندایز

تصویر SEM از سطح مقطع نمونه ۲۰۲۴S در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این تصویر، ضخامت این پوشش در حدود ۵/۵ میکرومتر می‌باشد که با نتایج حاصله از ضخامت سنج دیجیتالی در تطابق خوبی می‌باشد. ضخامت دیگر پوشش‌ها در جدول ۲ گزارش شده است. همانطور که این نتایج نشان می‌دهد، در زمان‌های یکسان آندایزینگ، نمونه S در هر دو آلیاژ دارای بیشترین ضخامت بوده و نمونه P کمترین ضخامت را از خود نشان می‌دهد. نمونه SP ضخامتی ما بین ضخامت پوشش نمونه‌های S و P را دار بود که ناشی از ادغام خواص هر دو اسید در یک فرآیند آندایزینگ می‌باشد.



شکل ۲- سطح مقطع آلیاژ ۲۰۲۴ آندایز شده در اسیدسولفوریک (نمونه ۲۰۲۴S)

جدول ۲- ضخامت پوشش‌های آندایز آلیاژهای ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ در

زمان‌های مساوی

محلول آندایز	اسید سولفوریک	اسید فسفریک	مخلوط اسیدهای سولفوریک و فسفریک
ضخامت پوشش در ۲۰۲۴	۵.۵ μm	۱.۲ μm	۱.۹ μm
ضخامت پوشش در ۷۰۷۵	۶.۵ μm	۱.۷ μm	۲.۶ μm

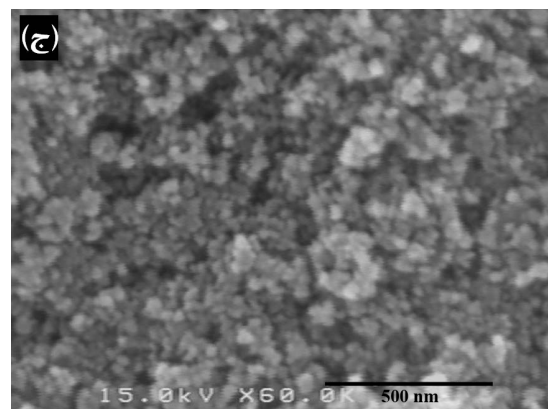
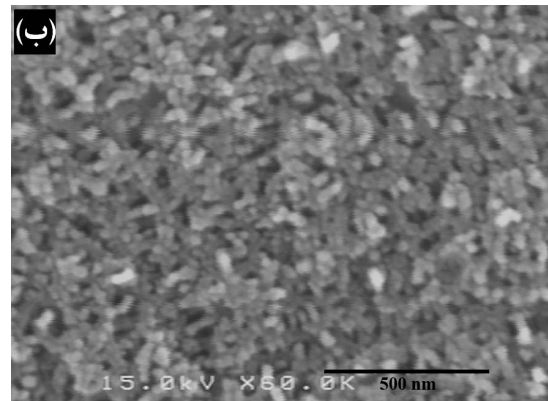
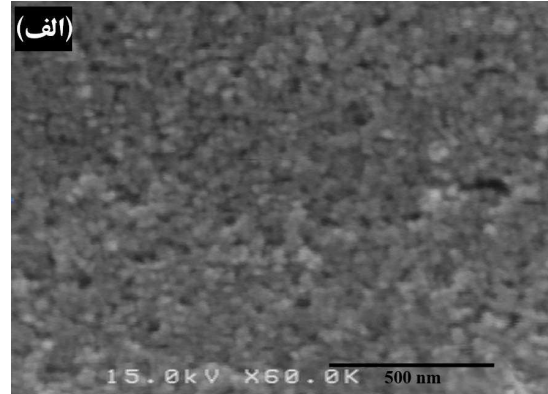
همانگونه که از جدول های ۳ و ۴ قابل مشاهده است، حضور تمامی پوشش های آندایز موجب بهبود رفتار خوردگی آلومینیوم های ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ شده و دانسیته جریان خوردگی را کاهش می دهند. نکته جالب توجه این است که میزان تأثیر گذاری این پوشش ها با یکدیگر متفاوت است. از بین نمونه های S، P، و SP، نمونه S در هر دو آلیاژ کمترین دانسیته جریان خوردگی را از خود نشان می دهد و نمونه P کمترین بهبود مقاومت به خوردگی را به همراه داشته است. تفاوت رفتار خوردگی پوشش های آندایز مختلف با یکدیگر را در مرحله اول می توان ناشی از تفاوت در ضخامت این پوشش ها دانست چرا که روند تغییر دانسیته جریان خوردگی این پوشش ها با تغییرات ضخامت آنها نسبت کاملاً معکوسی دارند. ضخامت بالاتر پوشش نمونه S، ممانعت بیشتری را در برابر تماس محلول خورنده با زیر لایه آلومینیومی و خروج یون های Al^{3+} از زیر لایه شده و مقاومت به خوردگی بالاتری را نتیجه می دهد. به همین استدلال مقاومت به خوردگی دیگر پوشش ها در مقایسه با نمونه S قابل توجه می باشد. نمونه پوشش P که دارای کمترین ضخامت است، حفاظت ضعیف تری را نسبت به نمونه پوشش S ایجاد می کند. نمونه پوشش SP مقاومت به خوردگی بینابین دو پوشش فوق داشته که می تواند ناشی از ضخامت این پوشش باشد که از نمونه P بیشتر و از نمونه S کمتر است. از طرف دیگر، تفاوت در ساختار پوشش های تولید شده نیز می تواند دلیل دیگری بر تفاوت رفتار خوردگی آنها با یکدیگر باشد. طبق گزارشات مختلف، جزئیات ساختار پوشش لایه ایجاد شده به روش آندایز، در پوشش های ایجاد شده در محلول های اسیدی مختلف، متفاوت است.

جدول ۳- دانسیته جریان خوردگی و درصد بهبود مقاومت به خوردگی پوشش های آندایز مختلف در آلومینیوم ۲۰۲۴

نمونه	دانسیته جریان خوردگی (mA/dm ²)	درصد بهبود رفتار خوردگی
Al ۲۰۲۴ bare	۰.۳۷۴	-
S	۰.۰۰۲۵	٪۹۸
P	۰.۰۶۵۳	٪۸۰
SP	۰.۰۵	٪۸۶

در این معادله عبارت های مختلف عبارتند از:

- R : درصد بهبود رفتار خوردگی نمونه آلومینیوم ۲۰۲۴ در حضور پوشش.
 I_{bare} : دانسیته جریان خوردگی نمونه آلومینیوم ۲۰۲۴ بدون اعمال پوشش.
 I_{coated} : دانسیته جریان خوردگی نمونه آلومینیوم ۲۰۲۴ آندایز شده در محلول های اسیدی.

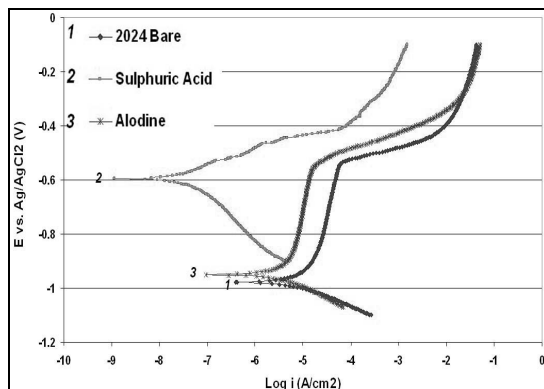


شکل ۳- مورفولوژی پوشش های ۲۰۲۴S (الف)، ۲۰۲۴P (ب) و ۲۰۲۴SP (ج)

سولفوریک و با پوشش کرومات‌ها را نشان می‌دهد. نتایج تحلیل این منحنی‌ها در جدول های ۵ و ۶ آورده شده است.

آنچه از منحنی‌های شکل‌های ۶ و ۷ قابل مشاهده است این است که حضور هریک از پوشش‌های آندایز و یا کرومات‌ها موجب تغییر در ظاهر و محل قرار گیری منحنی پلاریزاسیون نمونه آلومینیومی شده است. اعمال پوشش کرومات‌ها بر روی هر دو آلیاژ ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ منجر به تغییر موضع منحنی پلاریزاسیون به سمت چپ (دانسیته جریان‌های کمتر) و بالا (پتانسیل‌های مثبت تر یا کاتدی تر) شده است که نشانه بهبود رفتار خوردگی آلیاژهای مذکور می‌باشد.

نتایج نشان داده شده در جدول های ۵ و ۶ بیان می‌کند که پوشش کرومات‌ها به مقدار قابل توجهی مقاومت به خوردگی آلومینیوم ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ را افزایش می‌دهد که میزان بهبود رفتار خوردگی برای هرکدام به ترتیب ۷۸ و ۷۲ درصد بوده است. اما مقدار این بهبود رفتار خوردگی در مقایسه با پوشش آندایز ایجاد شده در محلول اسید سولفوریک کمتر است. پوشش آندایز بر روی آلیاژهای آلومینیوم ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ دانسیته جریان خوردگی آنها را به ترتیب از ۰/۳۷۴ به ۰/۰۲۵ و از ۰/۱۵ به ۰/۰۸۹ (mA/dm²) کاهش داده است که بیانگر عملکرد بسیار خوب این پوشش در بهبود رفتار خوردگی آلیاژهای آلومینیوم می‌باشد. این مطلب نشان می‌دهد که از دیدگاه مقاومت به خوردگی، پوشش آندایز در اسید سولفوریک می‌تواند جایگزین مناسبی برای پوشش کرومات‌ها در کاربردهای هوایی باشد.

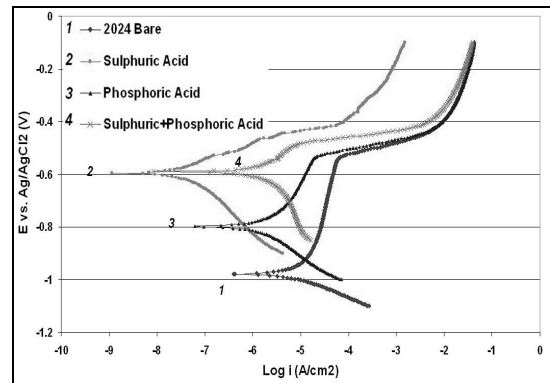


شکل ۶- منحنی پلاریزاسیون آلومینیوم ۲۰۲۴ با پوشش‌های کرومات‌ها و آندایز در اسید سولفوریک

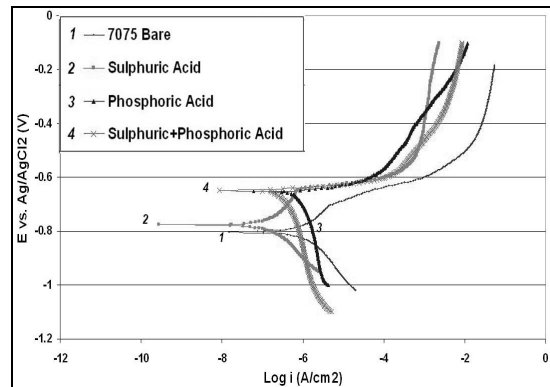
جدول ۴- دانسیته جریان خوردگی و درصد بهبود مقاومت به خوردگی پوشش‌های آندایز مختلف در آلومینیوم ۷۰۷۵

نمونه	دانسیته جریان خوردگی (mA/dm ²)	درصد بهبود رفتار خوردگی
Al 7075 bare	۰.۱۵	-
S	۰.۰۰۸۹	٪۹۴
P	۰.۰۹۵	٪۳۶
SP	۰.۰۶۶	٪۵۶

همانطور که ذکر شد، آندایز در اسید سولفوریک بهترین رفتار خوردگی را برای هر دو آلومینیوم ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ دارد. در قسمت بعد مقاله، عملکرد این پوشش با پوشش کرومات‌ها مقایسه می‌شود.



شکل ۴- منحنی پلاریزاسیون نمونه‌های آلومینیوم ۲۰۲۴ با و بدون پوشش

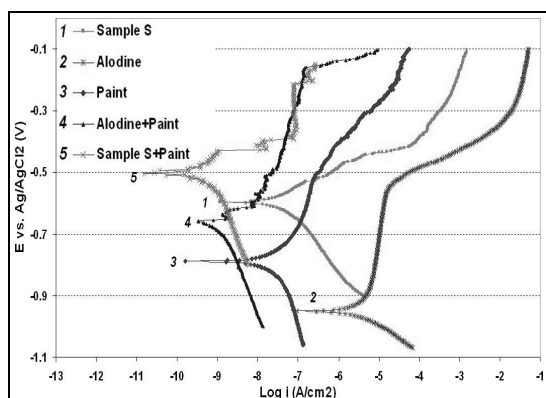


شکل ۵- منحنی پلاریزاسیون نمونه‌های آلومینیوم ۷۰۷۵ با و بدون پوشش‌های آندایز

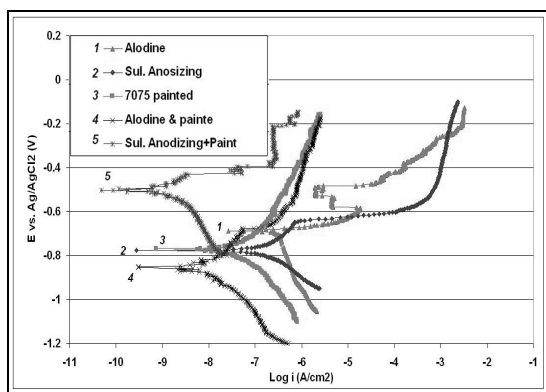
۳- بررسی رفتار خوردگی پوشش کرومات‌ها

شکل های ۶ و ۷ منحنی پلاریزاسیون بدست آمده از نمونه‌های آلومینیوم ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ بدون پوشش، با پوشش آندایز اسید

نشان می دهند. جدول های ۸ و ۹، نتایج بدست آمده از این منحنی ها را نشان می دهد.

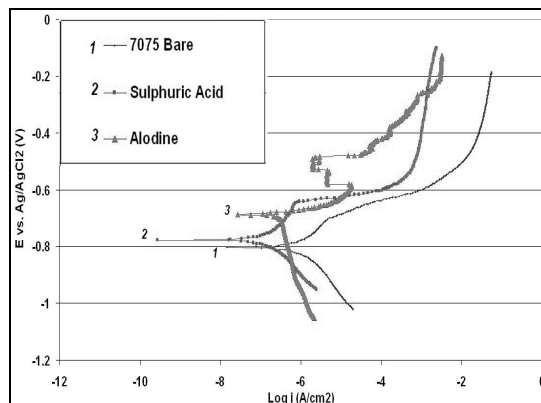


شکل ۸- منحنی پلاریزاسیون آلومینیوم ۲۰۲۴ در حضور پوشش های آلداین و/یا رنگ



شکل ۹- منحنی پلاریزاسیون آلومینیوم ۷۰۷۵ در حضور پوشش های آلداین و/یا رنگ

این نتایج به خوبی نشان می دهد که پوشش رنگ بر روی سطح آلومینیوم مقاومت به خوردگی آن را به شدت افزایش می دهد که این افزایش ناشی از خاصیت جدا کنندگی رنگ می باشد که سطح آلومینیوم را کاملاً از محلول خورنده جدا می کند. حضور پوشش کروماته بر زیر پوشش رنگ، مقدار این بهبود مقاومت به خوردگی را افزایش می دهد که به دلیل چسبندگی بالاتر پوشش های رنگ به پوشش کروماته در مقایسه با سطح آلومینیوم می باشد. رفتار بهبود عملکرد خوردگی رنگ در حضور پوشش آندایز بسیار قابل توجه تر می باشد و مقاومت به خوردگی بسیار خوبی را برای نمونه های آلومینیوم ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ به همراه داشته است.



شکل ۷- منحنی پلاریزاسیون آلومینیوم ۷۰۷۵ با پوشش های کروماته و آندایز در اسید سولفوریک

جدول ۵- دانسیته جریان خوردگی و درصد بهبود پوشش های آندایز مختلف در آلومینیوم ۲۰۲۴

درصد بهبود رفتار خوردگی	دانسیته جریان خوردگی (mA/dm ²)	نمونه
-	۰.۳۷۴	Al ۲۰۲۴ bare
٪۹۸	۰.۰۰۲۵	Sulphuric Anodizing
٪۷۸	۰.۰۷۸	Chromating

جدول ۶- دانسیته جریان خوردگی و درصد بهبود پوشش های آندایز مختلف در آلومینیوم ۷۰۷۵

درصد بهبود رفتار خوردگی	دانسیته جریان خوردگی (mA/dm ²)	نمونه
-	۰.۱۵	Al ۷۰۷۵ bare
٪۹۴	۰.۰۰۸۹	Sulphuric Anodizing
٪۷۲	۰.۰۴۱	Chromating

۴- بررسی رفتار خوردگی پوشش رنگ

جهت بررسی میزان تأثیر پوشش رنگ بر رفتار الکتروشیمیایی آلومینیوم های ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵، نمونه های بدون پوشش و همچنین نمونه های حاوی پوشش کروماته و آندایز در اسید سولفوریک تحت عملیات رنگ آمیزی قرار گرفتند و رفتار خوردگی آنها به روش پلاریزاسیون مورد بررسی قرار گرفت. شکل های ۷ و ۸، منحنی های پلاریزاسیون نمونه های آلومینیوم رنگ شده بدون زیر لایه، نمونه های پوشش کروماته و پوشش آندایز در اسید سولفوریک بدون رنگ و نمونه های پوشش کروماته و پوشش آندایز در اسید سولفوریک با رنگ را

جدول ۷- دانسیته جریان خوردگی و درصد بهبود پوشش‌های

مختلف در آلومینیوم ۲۰۲۴

نمونه	دانسیته جریان خوردگی (mA/dm ²)	درصد بهبود رفتار خوردگی
Al ۲۰۲۴ bare	۰.۳۷۴	-
Alodine	۰.۰۷۸	٪۷۸
Sulphuric Anodizing	۰.۰۰۲۵	٪۹۸
Paint	۰.۰۰۰۶۷	٪۹۹.۸
Alodine & Paint	۰.۰۰۰۰۶	٪۹۹.۹
S. Anodiz & paint	۰.۰۰۰۰۱۵	٪۹۹.۹۹۵

جدول ۸- دانسیته جریان خوردگی و درصد بهبود پوشش‌های

مختلف در آلومینیوم ۷۰۷۵

نمونه	دانسیته جریان خوردگی (mA/dm ²)	درصد بهبود رفتار خوردگی
Al ۷۰۷۵ bare	۰.۳۷۴	-
Alodine	۰.۰۴۱	٪۷۲
Sulphuric Anodizing	۰.۰۰۸۹	٪۹۴
Paint	۰.۰۰۲	٪۹۸.۵
Alodine & Paint	۰.۰۰۰۰۸	٪۹۹.۵
S. Anodiz & paint	۰.۰۰۰۰۴۸	٪۹۹.۹

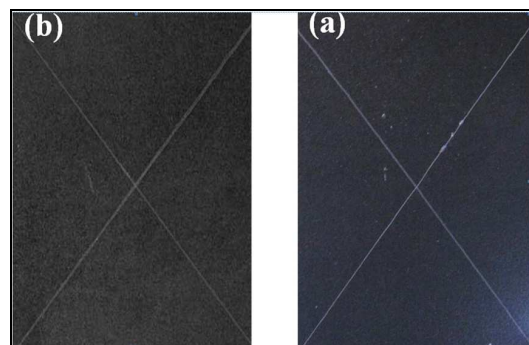
همانطور که مشخص است هیچکدام از دو نمونه رنگ شده در حضور زیرلایه‌های کرومات و آندایز، آثاری از خوردگی را نشان نمی‌دهند و جدایش بین رنگ و زیرلایه نیز در آنها دیده نمی‌شود. این امر نشان می‌دهد که چسبندگی بین رنگ و پوشش آندایز نیز از استحکام خوبی برخوردار می‌باشد و اجازه نفوذ عوامل خوردنده به زیر رنگ و فصل مشترک رنگ با سطح پوشش را نمی‌دهد.

نتایج تست پاشش نمک نشان داده است که آلیاژهای ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ بدون پوشش، تنها بعد از ۴۸ ساعت به شدت خورده شدند و می‌توان گفت که این آلیاژها را در محیط‌های ساحلی، حتی برای زمان کم، نمی‌توان بدون پوشش استفاده کرد و دیگر اینکه این آلیاژها به شدت مستعد خوردگی حفره ای هستند. بنابراین با توجه به مشکلات زیست محیطی کاربرد پوشش‌های کرومات، می‌توان پوشش آندایز در محلول اسید سولفوریک را جایگزینی مناسبی برای پوشش کرومات در صنایع هوا- فضا معرفی نمود.

نتیجه گیری

لایه‌های اکسید آلومینیوم ایجاد شده بر روی آلیاژهای ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ به روش آندایز در محلول‌های اسید سولفوریک، اسید فسفریک و مخلوط این دو اسید دارای کیفیت ماکروسکوپی و ظاهری یکنواخت می‌باشند. در میان این پوشش‌ها، پوشش‌های حاصله از اسیدسولفوریک و اسید فسفریک به ترتیب دارای بیشترین و کمترین ضخامت می‌باشند. تمامی پوشش‌های آندایز مورد بررسی، مقاومت به خوردگی آلومینیوم زیرلایه را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهند که در این میان پوشش حاصله در اسید سولفوریک بهترین عملکرد بهبود رفتار خوردگی نمونه آلومینیوم ۲۰۲۴ و ۷۰۷۵ را دارا است. از این نقطه نظر، پوشش حاصله در اسید فسفریک رفتار ضعیف تری نسبت به دیگر پوشش‌های آندایز از خود نشان می‌دهد. پوشش ایجاد شده در مخلوط دو اسید مذکور، در تمامی خصوصیات ضخامتی و مقاومت به خوردگی، رفتاری بینابین دو پوشش دیگر را از خود نشان می‌دهد. رفتار خوردگی بهتر پوشش آندایز در اسید سولفوریک نسبت به پوشش کرومات و پایداری مناسب رنگ بر روی آن نشان دهنده قابلیت جایگزینی پوشش کرومات توسط این پوشش آندایز می‌باشد.

شکل ۱۰ تصویر نمونه‌های آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ با پوشش رنگ بر روی سطوح دارای پوشش اولیه کرومات و آندایز را پس از ۳۶۰ ساعت آزمون پاشش نمک نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- نمونه‌های آلومینیوم ۲۰۲۴ در حضور پوشش‌های کرومات و رنگ (a)، آندایز اسید سولفوریک و رنگ (b) پس از ۳۶۰ ساعت آزمون پاشش نمک

منابع و مراجع

- metals for corrosion protection”, *Progress in Organic Coatings*, 64, 2009, 327–338.
- [14] MIL-DTL-81706B, 25 October 2004, Chemical conversion materials for coating aluminum and aluminum alloys.
- [15] P.V. Petroyiannis, Sp.G. Pantelakis, G.N. Haidemenopoulos, Protective role of local Al cladding against corrosion damage and hydrogen embrittlement of 2024 aluminum alloy specimens”, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 44 (2005) 70–81.
- [16] Sh. Sun, Q. Zheng, D. Li, J. Wen, “Long-term atmospheric corrosion behavior of aluminum alloys 2024 and 7075 in urban, coastal and industrial environments”, *Corrosion Science* 51 (2009) 719–727.
- [17] Campestrini P., Westing E.P.M., Wit J.H.W., “Influence of surface preparation on performance of chromate conversion coatings on Alclad 2024 aluminum alloy. Part I: Nucleation and growth”, *Electrochimica Acta*, v. 46, 2001, pp. 2553–2571.
- [18] Campestrini P., Westing E.P.M., Wit J.H.W., “Influence of surface preparation on performance of chromate conversion coatings on Alclad 2024 aluminum alloy. Part I: Nucleation and growth”, *Electrochimica Acta* v. 46, 2001, pp. 2631–2647.
- [19] Campestrini P., Bohm S., Schram T., Terryn H., Wit J.H.W., “Study of the formation of chromate conversion coatings on Alclad 2024 aluminum alloy using spectroscopic ellipsometry”, *Thin Solid Films*, v. 410, 2002, pp. 76–85.
- [20] Zhao J., Xia L., Sehgal A., Lu D., McCreery R.L., Frankel G.S., “Effects of chromate and chromate conversion coatings on corrosion of aluminum alloy 2024-T3”, *Surface and Coatings Technology*, v. 140, 2001, pp. 51-57.
- [21] Campestrini P., Westing E.P.M., Hovestad A., Wit J.H.W., “Investigation of the chromate conversion coating on Alclad 2024 aluminium alloy: effect of the pH of the chromate bath”, *Electrochimica Acta*, v. 47, 2002, pp. 1097–1113.
- [22] Yu X., Cao C., Electrochemical study of the corrosion behavior of Ce sealing of anodized 2024 aluminum alloy, *Thin Solid Films*, v. 423, 2003, pp. 252–256
- [1] Van Horn, Kenet. R. "Aluminum Design and Application" American society for metals, Metals Park, Ohio Vol.2, 1990.
- [2] John Cutler and Jeremy Liber, *Understanding Aircraft Structures*, Black Well Publishing 2005.
- [3] Drafting Room Manual, Textron Bell Helicopter STD, Section 11, Material Specification, 1970, 800-805.
- [4] GL, Rules & Guidelines 2003, II-Materials & Welding, Part1-Metallic materials, Chapter 3- Non ferrous metals, Section1-Aluminium alloys.
- [5] ABS, rule requirements for materials and welding, 2003, part 2, copyright 2002, American Bureau of Shipping.
- [6] "Properties and selection alloys and special purpose materials" Vol.2, 10th ed. Metals Handbook, American society for metals, Metals Park, Ohio, 1992.
- [7] C. Vargel, M. Jacques, M.P. Schmidt, *CORROSION OF ALUMINIUM*, Elsevier Ltd (2004).
- [8] Hintze P.E., Calle L.M., Electrochemical properties and corrosion protection of organosilane self-assembled monolayers on aluminum 2024-T3, *Electrochimica Acta*, v. 51, 2006, pp. 1761–1766.
- [9] J.R. Davis, *Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International, Materials Park, OH, 1999, p. 25.
- [10] J.J. Deluccia, Aircraft materials for corrosion prevention and control: A qualified products list, Report No. NAWCADWAR-94099-60, September 1993.
- [11] R.L. Twite, G.P. Bierwagen, “Review of alternatives to chromate for corrosion protection of aluminum aerospace alloys”, *Progress in Organic Coatings* 33 (1998) 91–100.
- [12] N. Voevodin, C. Jeffcoate, L. Simon, M. Khobaib, M. Donley, “Characterization of pitting corrosion in bare and sol-gel coated aluminum 2024-T3 alloy”, *Surface and Coatings Technology*, 140, 2001, 29-34.
- [13] D. Wang, G.P. Bierwagen, “Sol-gel coatings on

- [23] A.W. Brace, P.G. Sheasby, *The Technology of Anodizing Aluminum*, 2nd Edition, Technicopy Limited, Stonehouse, 1979.
- [24] S. Wernick, R. Pinner, *Surface Treatment and Finishing of Al and its Alloys*, Vols. I & II, Robert Draper Ltd., New York, 1972.
- [25] Huang Y., Shih H., Huang H., Daugherty J., Wub S., Ramanathan S., Chang C., Mansfeld F., Evaluation of the corrosion resistance of anodized aluminum 6061 using electrochemical impedance spectroscopy (EIS), *Corrosion Science*, v. 50, 2008, pp. 3569–3575
- [26] V. Lopez, J.A. Gonzalez, E. Otero, E. Escudero, M. Morcillo, *Surface and Coatings Technology* 153 (2002) 235–244.
- [27] L. Hao, B.R. Cheng, *Metal Finish*. 12 (2000) 8.
- [28] .A. Gonzalez, M. Morcillo, E. Escudero, V. Lopez, E. Otero, *Surf. Coat. Technol.* 153 (2002) 225.
- [29] K.H. Yang, C.C. Chen, “Alumina template assistance in titania nanotubes dye-sensitized solar cell device fabrication”, *ISRN nano technology*, Volume 2012, Article ID 132797, 10 Pages.