

تأثیر دما، ولتاژ، زمان آندایزینگ و اعمال پوشش الکترولس نیکل-فسفر روی رفتار خوردگی و سختی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴

مسعود سلطانی^{۱*}، علی شفیعی^۲، ریحانه علیرضانی^۱، سعید اخوان^۱

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: Masoud.soltani@ma.iut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۶)

چکیده: به منظور بهبود خواص سطحی و در نتیجه کاربرد بیشتر آلومینیم و آلیاژهای آن در صنایع مختلف بخصوص هوافضا از روش‌های مختلف پوشش دهی استفاده می‌شود. آندایزینگ و آبکاری الکترولس از روش‌های پرکاربرد برای این هدف است. در پژوهش حاضر ابتدا اثر دما و ولتاژ آندایزینگ بر خواص لایه اکسید سطحی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش ولتاژ و کاهش دما، ضخامت و زبری سطح افزایش یافت؛ اما یک ولتاژ بهینه (۴۵۷) برای دستیابی به بیشترین سختی در تمامی دماها به دست آمد. مطالعه ضخامت و سختی نمونه بهینه نیز حاکی از افزایش این دو پارامتر با افزایش زمان داشت. بررسی‌های صورت گرفته به وسیله میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (FESEM) نیز نشان داد با کنترل دقیق شرایط آندایزینگ می‌توان به ساختاری با نانو سلول‌های منظم دست یافت. انجام آندایزینگ دومارحله‌ای نیز نظم سلول‌های لایه اکسیدی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. همچنین بررسی‌های صورت گرفته به وسیله میکروسکوپ الکترونی (SEM)، طیف نگار تفکیک انرژی (EDS) و پراش اشعه ایکس (XRD) نشان داد که امکان ایجاد پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر آلیاژ آلومینیم آندایز شده به خوبی وجود دارد. برای مقایسه رفتار خوردگی پوشش‌های AAO (Anodic Aluminium Oxid) و هیبریدی AAO/Ni-P با زیرلایه آلومینیمی از روش پلاریزاسیون و برون‌یابی تافل استفاده شد. نتایج حاکی از مقاومت به خوردگی بالای آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ در حضور پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر آلیاژ آندایز شده می‌باشد. عملیات حرارتی نمونه‌ها در دماهای مختلف نشان داد که بیشترین سختی پوشش نهایی (۱۱۸۵ ویکرز) در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به دست خواهد آمد و زمان عملیات حرارتی در این دما بعد از ۷۵ دقیقه تأثیر چندانی بر سختی نخواهد داشت.

واژه‌های کلیدی:

آلومینیم ۲۰۲۴، آندایزینگ، سختی، نیکل-فسفر، خوردگی.

۱- مقدمه

آلومینیم و آلیاژهای آن به دلیل خواص خوب مانند چگالی پایین، استحکام مناسب و هدایت الکتریکی و حرارتی بالا قابلیت استفاده در انواع کاربردها را دارد [۱]؛ اما سختی و مقاومت سایشی کم، مشکلات روغن‌کاری و نیاز به مقاومت

خوردگی بالاتر در برخی موارد باعث محدودیت استفاده از آلومینیم می‌شود؛ بنابراین برای رفع این مشکلات و بهبود هر چه بیشتر خواص سطحی آن از روش‌های مختلف پوشش‌دهی استفاده می‌شود [۲-۳].

ویژه (مانند خلأ)، یکنواختی و خواص مکانیکی مناسب مورد توجه قرار گرفته است [۲۰-۱۷].

پوشش‌های الکترولس Ni-P به دلیل مقاومت به خوردگی بالا، قابلیت عملیات حرارتی با توجه به خواص مورد نیاز و امکان ترمیم این پوشش‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. به همین خاطر این پوشش‌ها کاربردهای زیادی در صنایع گوناگون مانند هوافضا، نفت و گاز و الکترونیک پیدا کرده است [۲۱]. لذا اعمال پوشش Ni-P بر روی آلومینیم آندایز شده می‌تواند باعث بهبود خواص سطحی آلومینیم آندایز شده و بیشتر شدن کاربرد این فلز بخصوص در صنایع هوافضا شود.

در این پژوهش ابتدا به بررسی تأثیر دما و ولتاژ آندایزینگ بر روی ضخامت، سختی و زبری پوشش اکسیدی در فرایند آندایزینگ یک مرحله‌ای آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ پرداخته شد. سپس تأثیر آندایزینگ دومرحله‌ای بر روی نظم لایه اکسیدی بررسی شد. در نهایت هم تأثیر اعمال پوشش Ni-P بر روی آلومینیم آندایز شده و عملیات حرارتی پوشش هیبریدی حاصل در دماها و زمان‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- آماده‌سازی زیر لایه

نمونه‌ها از جنس آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ با ترکیب شیمیایی ذکر شده در جدول ۱ به صورت دیسکی شکل با قطر و ضخامت به ترتیب ۱۲ و ۱ میلی‌متر تهیه شدند. سپس نمونه‌ها تا سنباده ۴۰۰۰ آماده‌سازی سطحی شده و با استفاده از پودر آلومینا ۱ میکرونی پولیش شدند. برای اطمینان از بین رفتن آلودگی‌ها و چربی زدایی کامل، زیر لایه‌ها در حمام سود ۵۰ گرم بر لیتر همراه با آلومینیم حل شده در حد اشباع در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ دقیقه فروبرده شدند. سپس برای فعال‌سازی سطح، زیر لایه‌ها در دمای محیط و به مدت ۱ دقیقه در حمام اسید نیتریک ۳۰٪ وزنی غوطه‌ور شدند.

یکی از این روش‌ها، آندایزینگ است که در آن فیلم اکسیدی تشکیل شده روی سطح توسط یک واکنش الکتروشیمیایی در الکترولیت‌هایی نظیر اسیدسولفوریک، فسفریک و اگزالیک یا مخلوط آن‌ها در یک یا دو مرحله رشد می‌کند [۴-۵].

آندایز کردن باعث تغییر ساختار میکروسکوپی بافت سطح و تغییر ساختار کریستالی فلز در نزدیک سطح می‌شود. لایه اکسیدی حاصل از آندایز از دو بخش تشکیل شده است: لایه نازک تشکیل شده بر سطح آلومینیم که به لایه سدی معروف است و لایه ضخیم متخلخل خارجی [۶]. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که ویژگی‌های این پوشش از جمله خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی آن به ضخامت، زبری و میزان نظم حفرات این لایه متخلخل بستگی دارد [۷-۸]. از طرفی چگونگی تغییرات ضخامت، سختی و زبری پوشش اکسیدی به شرایط پوشش دهی به خصوص ولتاژ، زمان، دما، فاصله آند و کاتد و غیره بستگی دارد. در این میان، چگونگی تغییرات پوشش به خصوص سختی و ضخامت آن با دو پارامتر دما و ولتاژ همیشه یک چالش جذاب بوده است [۹-۱۲]. مطالعات نشان داده است که در شرایط متفاوت آندایزینگ شامل محلول‌های مختلف و محدوده تغییرات ولتاژ و دماهای متفاوت ممکن است دو پارامتر ولتاژ و دمای آندایزینگ باعث افزایش یا کاهش ضخامت و سختی لایه اکسیدی آلومینیم شوند [۱۶-۱۲]. تا به حال تأثیر ولتاژ و دما به ترتیب در محدوده ۳۵ تا ۶۵ ولت و ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بر آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ در محلول مخلوط اسید اگزالیک- اسیدسولفوریک بررسی نشده است.

یکی از ویژگی‌های آندایزینگ این است که می‌توان با پر کردن حفرات یا اعمال پوشش ثانویه روی پوشش متخلخل حاصل از آندایزینگ با روش‌هایی مانند سل ژل، الکتروانباشت، رسوب شیمیایی بخار، رسوب فیزیکی بخار و الکترولس خواص اپتیکی، مکانیکی و رفتار خوردگی سطح را بهبود داد. در میان این روش‌ها، آبکاری الکترولس به دلیل عدم استفاده از جریان خارجی، عدم نیاز به شرایط

۲-۲- فرایند آندایزینگ

برای انجام فرایند آندایزینگ از یک راکتور در داخل حمام خنک کننده Lauda استفاده شد. راکتور از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. بدنه راکتور و همزن از جنس تفلون طراحی شده و به وسیله یک موتور برقی (آرمیچر) به حرکت درمی آید. محل قرارگیری نمونه (به عنوان آند) فلنجی است که در آن نمونه توسط یک اورینگ آب بندی می شود و در پشت نمونه نیز قرص مسی قرار دارد که باعث انتقال الکترونی در حین فرایند آندایز می شود. محلول مورد استفاده برای آندایزینگ مخلوط اسید اگزالیک ۰/۳ مولار - اسید سولفوریک ۰/۴۵ مولار، جنس کاتد آلومینیم خالص و زمان آندایزینگ ۳ ساعت در نظر گرفته شد. دیگر شرایط

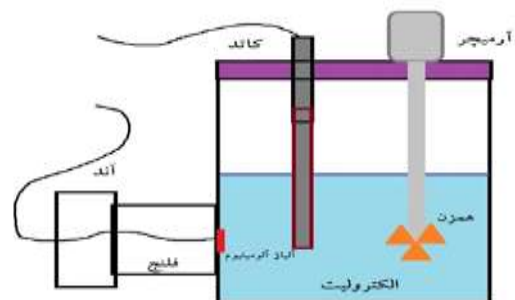
پوشش دهی یعنی دما و ولتاژ به همراه کدگذاری نمونه‌ها در جدول ۲ آورده شده است. تأثیر زمان بر ضخامت و سختی نمونه بهینه (نمونه‌ای که دارای بیشترین سختی بود) نیز در طی فرایند آندایزینگ بررسی شد. به منظور بررسی تأثیر آندایزینگ دو مرحله‌ای روی نظم نانو سلول‌ها، نمونه‌ها در شرایط مشابه آندایزینگ یک مرحله‌ای تا مدت زمان ۶۰ دقیقه آندایز شده، سپس برای حذف پوشش ایجاد شده، نمونه در حمامی از اسید کرومیک و فسفریک فرورده شد [۸]. جزئیات فرایند لایه برداری در جدول ۳ گزارش شده است. پس از حذف پوشش اولیه، پوشش‌های نهایی روی زیرلایه مطابق با شرایط از پیش تعیین شده که در بالا گفته شد، ایجاد شدند.

جدول (۱): ترکیب شیمیایی زیرلایه

نام عنصر	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Cr
درصد وزنی	بالانس	۰/۴۸۳	۰/۴۹۲	۴/۳۹۲	۰/۴۳۱	۱/۳۹۱	۰/۱۰۳	۰/۳۰۴	۰/۰۱۶

۲-۳- فرایند آبکاری الکترولس Ni-P

در پایان مرحله قبل نمونه‌ای که بیشترین سختی را دارا بود به عنوان یک زیر لایه برای بررسی پوشش نیکل-فسفر بر روی آن انتخاب شد. از آنجاکه پوشش آندایز، اکسیدی است، بنابراین به عنوان یک زیرلایه غیرفلزی با فعالیت کاتالیکی غیر ذاتی در پوشش دهی الکترولس می باشد [۲۲] بنابراین قبل از ورود به محلول الکترولس با استفاده از حمام الکتریکی نیکل (الکتروکالزینگ نیکل) با شرایط نشان داده شده در جدول ۴ لایه نازکی از نیکل بر روی سطح آندایز شده، ایجاد شد. جهت ایجاد پوشش الکترولس نیکل-فسفر از محلول تجاری الکترولس SLOTONIP 70A ساخت شرکت اشلوتر آلمان استفاده شد. اجزای اصلی این حمام شامل ۷ گرم بر لیتر سولفات نیکل و ۴۵ میلی لیتر بر لیتر هیپوفسفید سدیم به عنوان عامل احیاکننده بود. pH محلول ۴/۶ و دمای آبکاری ۸۶ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. کلیه نمونه‌های پوشش داده شده به مدت یک ساعت در دماهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ درجه سانتی گراد تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند و تأثیر دمای



شکل (۱): محل فرایند آندایزینگ (راکتور) به صورت شماتیک.

جدول (۲): کدگذاری نمونه‌های آندایزینگ

ولتاژ (V)	دما (°C)			
	۲۰	۱۵	۱۰	۵
۳۵	A2035	A1535	A1035	A0535
۴۵	A2045	A1545	A1045	A0545
۵۵	A2055	A1555	A1055	A0555
۶۵	A2065	A1565	A1065	A0565

جدول (۳): جزئیات فرایند حذف پوشش اکسیدی آندی

زمان	دما	محلول
10-20 min	70 °C	1.8% wt Cr ₂ O ₃ + 6% wt H ₃ PO ₄

که بیشترین سختی را دارا بود (نمونه بهینه) در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ دقیقه بررسی شد.

عملیات حرارتی بر روی سختی نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. سپس تأثیر زمان عملیات حرارتی بر روی نمونه‌های

جدول (۴): ترکیب شیمیایی و شرایط کاری حمام الکتریکی نیکل

پارامترهای حمام	کلرید نیکل	اسید کلریدریک	درجه حرارت	دانسیته جریان	زمان	آند	کاتد
مقادیر مورد استفاده	۲۴۰ g/L	۲۵۰ mL/L	دمای اتاق	۴ A/dm ²	۶۰ s	نیکل تجاری	قطعه

۴-۲- مشخصه یابی

با سرعت روبش ۰/۰۰۱۷/s انجام گرفت. در این شرایط هر یک از نمونه‌ها به عنوان الکترود کاری بسته شده و الکترود کالومل اشباع و الکترود پلاتینی به عنوان الکترودهای مرجع و شمارنده جهت تکمیل مدار و انجام آزمایش به کار گرفته شدند.

لایه AAO (Anodic Aluminium Oxid) حاصل از آندایزینگ از دو جهت، پشت و مقطع عرضی پوشش به وسیله FESEM مدل Hitachi-S4160 مورد مطالعه قرار گرفت. آرایش ستونی نانوحفرات با بررسی میکروسکوپی سطح مقطع شکست پوشش‌ها مطالعه شد. بدین منظور نمونه‌ها روی شیشه‌ای نازک چسبانده شدند. سپس درون محلول اشباع از سولفات مس در دمای اتاق غوطه‌ور شدند تا زیرلایه آلومینیمی حذف شود و تنها پوشش چند میکرونی از آن باقی بماند. برای بررسی سطوح نمونه‌ها از دستگاه SEM مدل Philips-XL30 استفاده شد. تعیین عناصر موجود در پوشش‌ها نیز از آنالیز EDS با استفاده از دستگاه Seron AIS 2300 صورت گرفت. به منظور بررسی فازهای موجود در پوشش نمونه‌ها از دستگاه آنالیز پراش پرتوایکس مدل Philips X'pert MPD استفاده شد. پرتو مورد استفاده $\text{Cu Ka } (1/5405 \text{ A}^\circ)$ بود. نرخ روبش دستگاه هم جهت تعیین فازها 1 deg/min تعیین شد. زبری نمونه‌ها با دستگاه زبری سنج Mitotoyo در طول ۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. بررسی ضخامت نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه ضخامت سنج پرتابل جریان گردابی مدل CEM DT-156 انجام شد. سختی سطح نمونه‌ها به وسیله دستگاه ریز سختی سنج Wilson مدل 402MVD با نیروی ۵۰ گرم، اندازه‌گیری شد. مطالعه مقاومت به خوردگی نمونه‌ها به کمک آزمون پلاریزاسیون تافل انجام شد. برای رسیدن به شرایط پایا قبل از انجام آزمون پلاریزاسیون تافل، هر نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در محلول $\text{NaCl } 3/5$ درصد وزنی قرار گرفت و سپس آزمون انجام شد. این آزمون در محدوده پتانسیل ۲۵۰mV کمتر و ۵۰۰mV بیشتر از پتانسیل مدارباز و

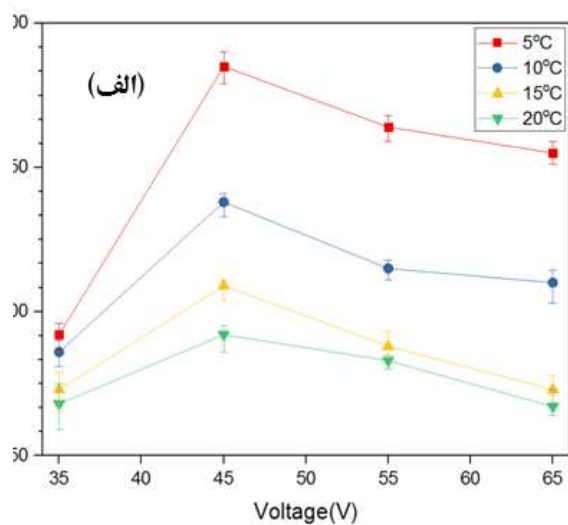
۳- بحث

۳-۱- بررسی ضخامت پوشش‌ها

نتایج حاصل از اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌ها در شکل (۲-الف) قابل مشاهده است. حداکثر ضخامت (۶۷ میکرومتر) مربوط به نمونه آندایز شده در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد و ولتاژ ۶۵ ولت است، در حالی که کمترین ضخامت مربوط به نمونه با شرایط دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ولتاژ ۳۵ ولت است (۱۷ میکرومتر). این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش ولتاژ و کاهش دمای پوشش دهی به طور هم‌زمان ضخامت پوشش افزایش خواهد یافت [۵]. نمونه آندایز شده در ولتاژ ۳۵ ولت با کاهش دما افزایش ضخامت چشمگیری نداشته است و ضخامتش حداکثر ۱۳ میکرومتر افزایش یافته است؛ اما نمونه آندایز شده با ولتاژ ۶۵ ولت در اثر کاهش دما تا ۳۴ میکرومتر افزایش ضخامت از خود نشان داده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر دما کاهش پیدا کند و ولتاژ در حد کافی نباشد، افزایش ضخامت چندان زیاد نخواهد بود. در واقع برای افزایش ضخامت وجود هر دو پارامتر دما و ولتاژ به طور هم‌زمان ضروری است. شکل ۲-ب رابطه خطی ضخامت با زمان آندایزینگ برای نمونه بهینه A0545 را نشان می‌دهد. این ویژگی برای بهبود خواص مکانیکی و خوردگی آلومینیم آلیاژی ۲۰۲۴ بسیار حائز اهمیت است. با

همچنین در تمام ولتاژهای اعمالی کاهش دمای فرایند با افزایش سختی همراه است. این افزایش سختی به خاطر این است که با کاهش دما قدرت حل‌کنندگی الکترولیت کمتر می‌شود و منجر به کاهش تخلخل پوشش می‌گردد [۷]. سختی پوشش‌های ایجادشده در ولتاژ ۳۵ ولت در هر کدام از دماها دارای سختی کمتر از ۳۰۰ ویکرز است. این موضوع نشان می‌دهد که ولتاژ ۳۵ ولت در دمایی که هرچند مناسب باشد سختی بالایی نتیجه نخواهد داد. در نتیجه برای دست آوردن سختی بالا نیاز به ولتاژ بالایی است تا نمونه آندایز سخت شود؛ بنابراین بین دما و ولتاژ پوشش دهی با میکروسختی مقداری بهینه وجود دارد و حالت بهینه برای پوشش دهی مربوط به نمونه A0545 است که دارای سختی ۳۸۵ ویکرز می‌باشد. تغییرات سختی نمونه A0545 در طی فرایند آندایزینگ حاکی از داشتن رابطه مستقیم بین سختی نمونه و زمان آندایزینگ می‌باشد (شکل ۳-ب).

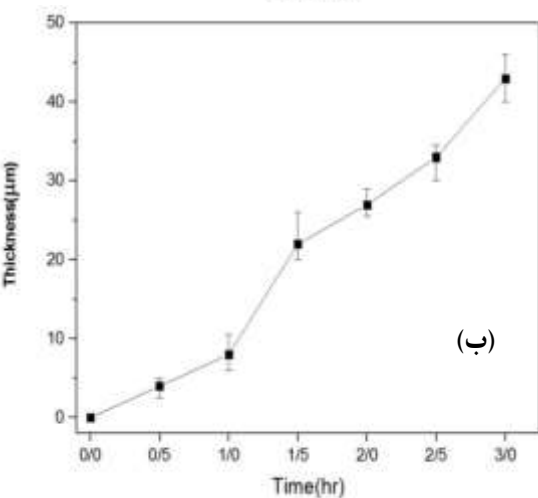
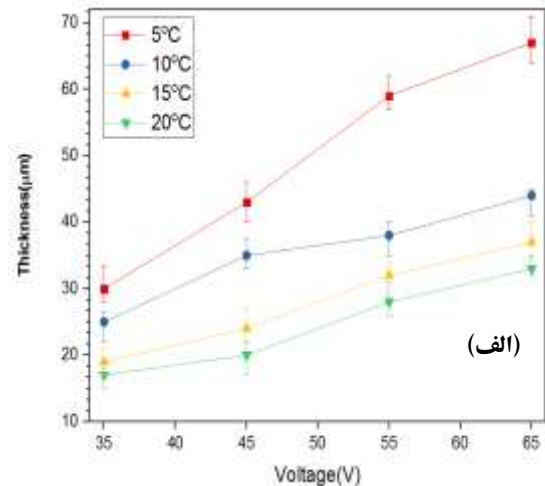
این نتایج با تغییر شرایط آندایزینگ تغییر چندانی نمی‌کند. دلیل این افزایش سختی بیشتر شدن ضخامت و فشردگی پوشش اکسیدی با گذشت زمان آندایزینگ می‌باشد [۷]. در نهایت هم پس از اعمال پوشش الکترولس بر روی نمونه بهینه سختی پوشش هیبریدی (بدون عملیات حرارتی) ۷۴۲ ویکرز شد.



اعمال پوشش الکترولس بر روی نمونه بهینه (A0545) به مدت ۱ ساعت نیز ضخامت پوشش هیبریدی AAO/Ni-P برای مدت زمان ۱ ساعت، ۶۰ میکرومتر شد.

۳-۲- بررسی سختی پوشش‌ها

با توجه به شکل ۳-الف، مشاهده می‌شود که در تمام دماهای آندایزینگ افزایش ولتاژ تا ۴۵ ولت سبب افزایش سختی سطح شده و افزایش بیشتر ولتاژ با کاهش سختی همراه است. در واقع در زمان ثابت پس از رسیدن به ولتاژی مشخص، چگالی جریان افت شدیدی از خود نشان می‌دهد که در نتیجه آن اضافه ولتاژ صرف بزرگ شدن نانو حفرات تشکیل شده در حین فرایند آندایزینگ و منجر به کاهش میکروسختی خواهد شد [۲۳].



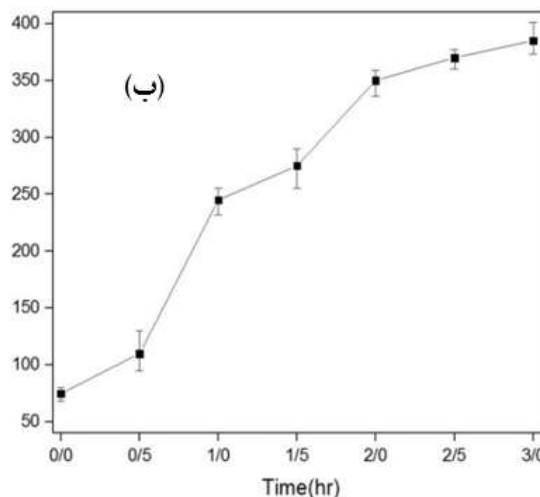
شکل (۲): الف) تأثیر دما و ولتاژ بر روی ضخامت پوشش و ب) تغییرات ضخامت نمونه بهینه A0545 برحسب زمان آندایزینگ یک مرحله‌ای.

جدول (۵): زبری متوسط پوشش اکسید آلومینیم آندی به دست آمده در شرایط آندایزینگ یک مرحله‌ای متفاوت

نمونه	A0535	A0545	A0555	A0565
$R_a(\mu\text{m})$	۰/۳۵۱	۰/۴۲۱	۰/۵۴۴	۰/۵۷۸
نمونه	A1035	A1045	A1055	A1065
$R_a(\mu\text{m})$	۰/۳۳۲	۰/۳۹۱	۰/۴۳۱	۰/۴۹۶
نمونه	A1535	A1545	A1555	A1565
$R_a(\mu\text{m})$	۰/۲۵۱	۰/۳۰۲	۰/۳۸۵	۰/۴۰۲
نمونه	A2035	A2045	A2055	A2065
$R_a(\mu\text{m})$	۰/۲۴۶	۰/۲۷۵	۰/۳۱۵	۰/۳۸۸

۴-۳- بررسی مورفولوژی پوشش

تصاویر FESEM مربوط به نمونه A0545 (نمونه بهینه) می‌باشد که دارای بیش‌ترین سختی بود. شکل ۴-الف مربوط به سطح مقطع پوشش آندایزینگ یک مرحله‌ای می‌باشد که سلول‌های آندایزینگ مشخص هستند. لایه حائل یا همان مجموعه شش‌ضلعی‌ها در تصویر تهیه شده از پشت پوشش اکسیدی کاملاً قابل مشاهده هستند (شکل ۴-ب). با انجام فرایند آندایزینگ دومرحله‌ای نظم بهتری در مقایسه با تک‌مرحله‌ای به دست آمد. این افزایش نظم سلول‌ها در شکل ۵-الف که مربوط به آندایزینگ دومرحله‌ای نمونه A0545 می‌باشد، کاملاً واضح است. دلیل این موضوع آن است که وقتی جوانه‌های اکسید آلومینیم آندی تشکیل شده و رشد می‌کنند، لایه حائل که در انتهای پوشش است، شکل هلالی مانندی خواهد داشت و در نتیجه روی آلومینیم زیرلایه نیز جای این هلالی‌ها خواهد ماند. در نتیجه ساختار به دست آمده پس از آن یک ساختار زبر و دارای برجستگی و فرورفتگی‌هایی خواهد بود. پس از اتمام مرحله اول آندایزینگ، وقتی لایه اکسید آلومینیم آندی ایجاد شده در مرحله اول حذف می‌شود، ساختار زبر مربوط به زیرلایه آلومینیمی باقی می‌ماند و با انجام مرحله دوم از فرایند آندایزینگ جوانه‌های اکسید آلومینیم آندی بر روی این زبری‌ها رشد کرده و شکل آن‌ها را به خود می‌گیرند. با رشد این جوانه‌ها روی این الگو، ساختار نظم بهتر و رشد یکپارچه‌ای تا اتمام فرایند آندایزینگ خواهد داشت (شکل ۶) [۸ و ۲۵]. تصویر ۵-ب مربوط به پشت سلول‌های



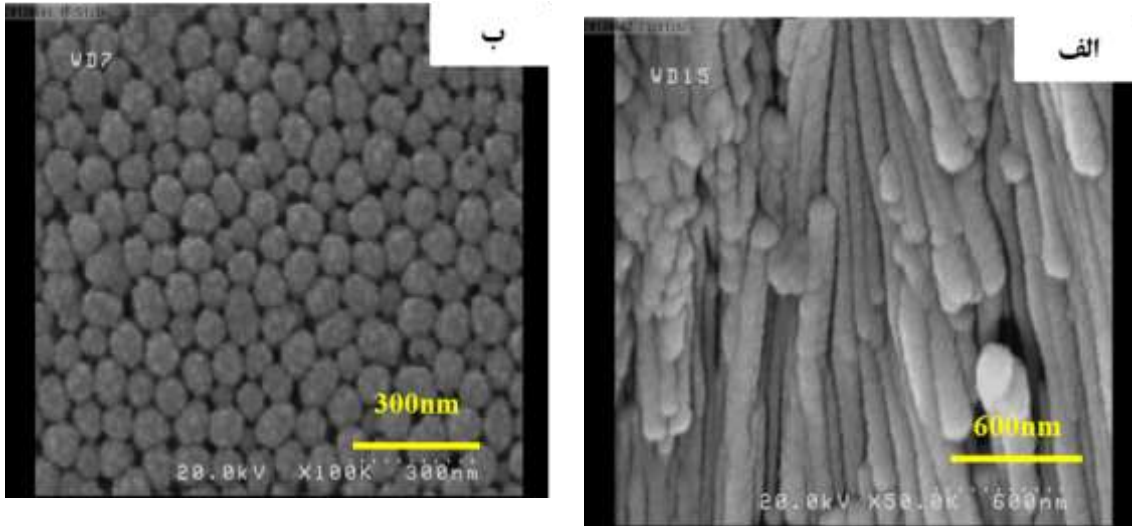
شکل (۳): الف) تأثیر دما و ولتاژ بر روی میکروسختی و ب) تغییرات سختی نمونه بهینه A0545 برحسب زمان آندایزینگ یک مرحله‌ای.

۳-۳- بررسی زبری پوشش‌ها

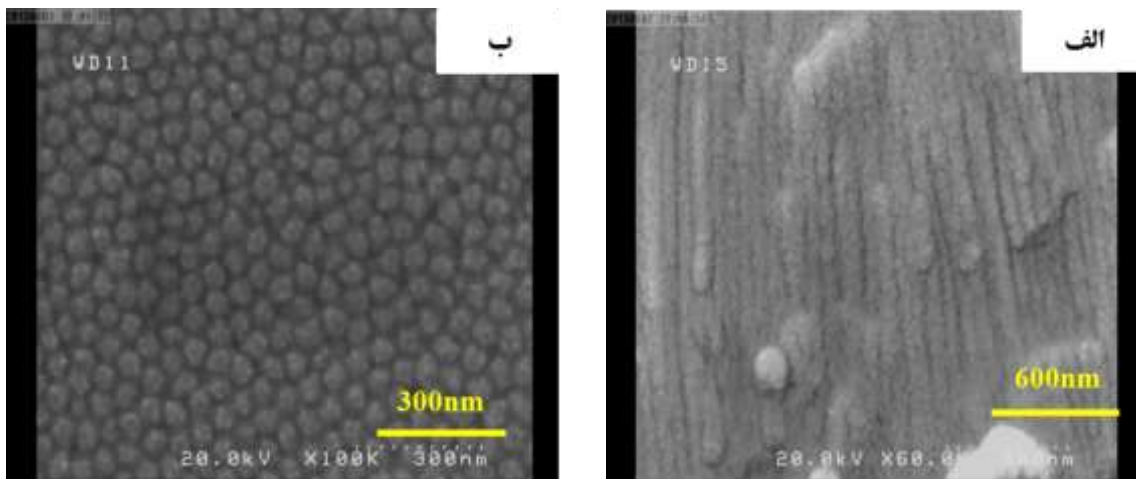
نتایج زبری پوشش‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با کاهش دما و افزایش ولتاژ زبری سطح نمونه‌ها افزایش یافته است، در نتیجه هرچه پوشش به سمت سخت شدن پیش رود، میزان زبری سطح و در نتیجه قدرت جذب پوشش اکسیدی افزایش خواهد یافت که در تطابق با نتایج تحقیق مشابه می‌باشد [۵]. در واقع هرچقدر زبری سطح لایه اکسیدی بیشتر شود امکان ایجاد پوشش ثانویه بر روی آن و تولید پوشش‌های هیبریدی با خواص بهتر بیشتر خواهد بود. به دلیل مورفولوژی گنبدی شکل و پستی بلندی‌های سطح پس از اعمال پوشش الکتروپلوس، زبری پوشش هیبریدی (مقدار R_a) از ۰/۴۲۱ میکرومتر (نمونه AAO/Ni-P) به ۱/۰۳۰ میکرومتر (نمونه AAO) افزایش یافت.

سلولی در این نمونه در مقایسه با نمونه‌های آندایزینگ تک‌مرحله‌ای (شکل ۴-ب) از بین رفته است.

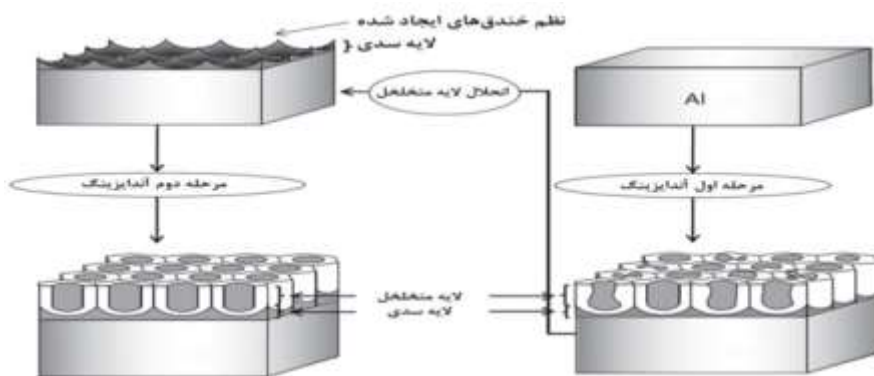
شش گوش ایجاد شده برای آندایزینگ دو مرحله‌ای نمونه A0545 می‌باشد. مشاهده می‌شود که فضای خالی بین



شکل (۴): تصاویر FESEM از (الف) مقطع و (ب) پشت پوشش اکسیدی نمونه A0545 آندایزینگ یک مرحله‌ای.

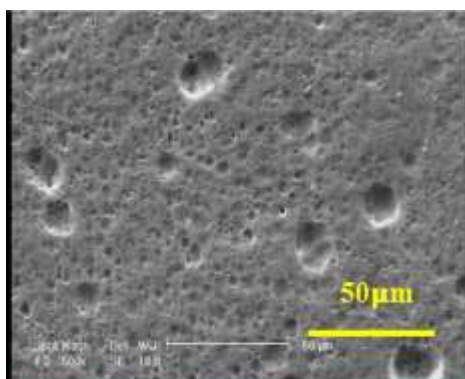


شکل (۵): تصاویر FESEM از (الف) مقطع و (ب) پشت پوشش اکسیدی نمونه A0545 آندایزینگ دو مرحله‌ای.

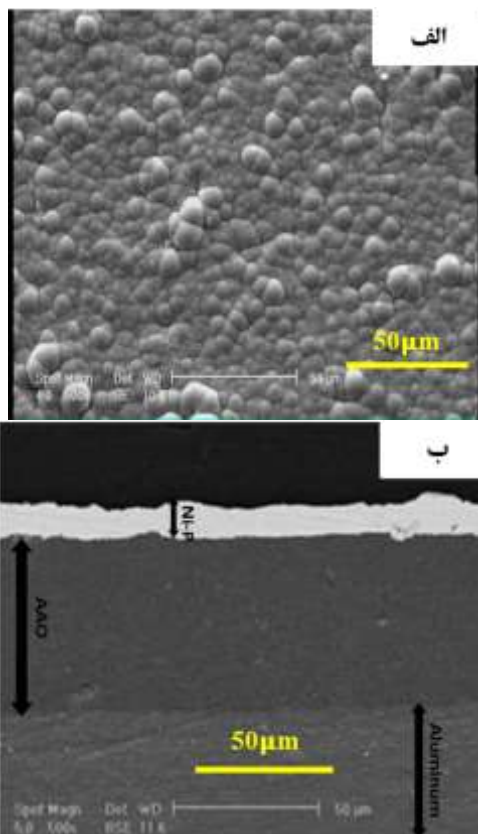


شکل (۶): شماتیک چگونگی تأثیر آندایزینگ دو مرحله‌ای [۸].

اکسیدی (آلومینا) است نشان‌دهنده وجود گوگرد در پوشش می‌باشد. گوگرد موجود در پوشش ناشی از یون‌های سولفات (SO_4^{2-}) است که در اثر آندایزینگ در الکترولیت حاوی اسیدسولفوریک در پوشش به دام افتاده‌اند [۸]. پوشش هیبریدی نهایی نیز حاوی ۹۱/۲۷ درصد وزنی نیکل و ۸/۷۳ درصد وزنی فسفر بوده است (شکل ۱۰-ب)؛ بنابراین پوشش جزء پوشش‌های الکترولس فسفر متوسط بوده است.



شکل (۷): تصویر SEM از سطح پوشش اکسیدی نمونه A0545.



شکل (۸): تصاویر SEM از (الف) سطح و (ب) مقطع پوشش هیبریدی

AAO/Ni-P

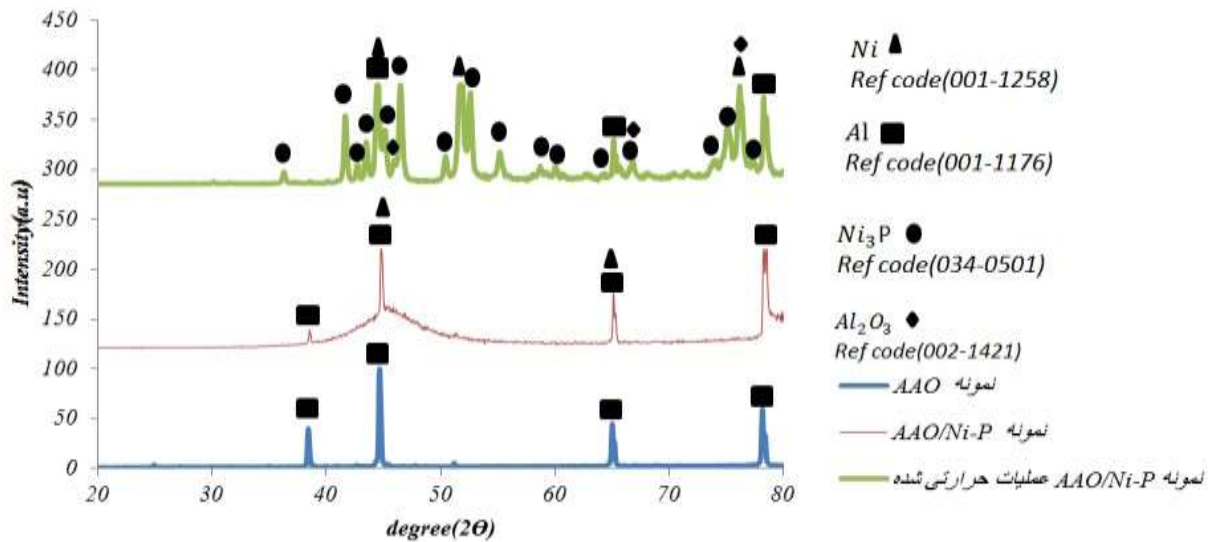
مورفولوژی سطح پوشش اکسیدی مربوط به نمونه A0545 در شکل ۷ نشان داده شده است. این پوشش همان‌طور که انتظار می‌رفت دارای ویژگی اصلی مربوط به پوشش‌های اکسیدی یعنی متخلخل بودن می‌باشد [۱۱].

در طی نشانیدن نیکل بر روی لایه آندایز که قبل از فرایند الکترولس انجام شد، اتم‌های نیکل در انتهای حفرات لایه اکسیدی رسوب می‌کنند. جوانه‌زنی پوشش نیکل-فسفر بر روی این نقاط به دلیل ساختار کریستالی مشابه آغاز می‌شود و سپس از کف تا بالای سلول‌های آندایزینگ رشد می‌کنند. در واقع به کمک فرایند الکتروکالرینگ در حمام کاتالیتیکی نیکل، یک سطح فعال برای رسوب نیکل-فسفر مهیا می‌شود [۲۶]. مورفولوژی گنبدی شکل پوشش هیبریدی نهایی (شکل ۸-الف) حاکی از تشکیل پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر روی آلومینیم آندایز شده می‌باشد [۲۷]. همچنین تصویر سطح مقطع این پوشش ضخامت ۶۰ میکرومتر این پوشش را تأیید می‌کند (شکل ۸-ب).

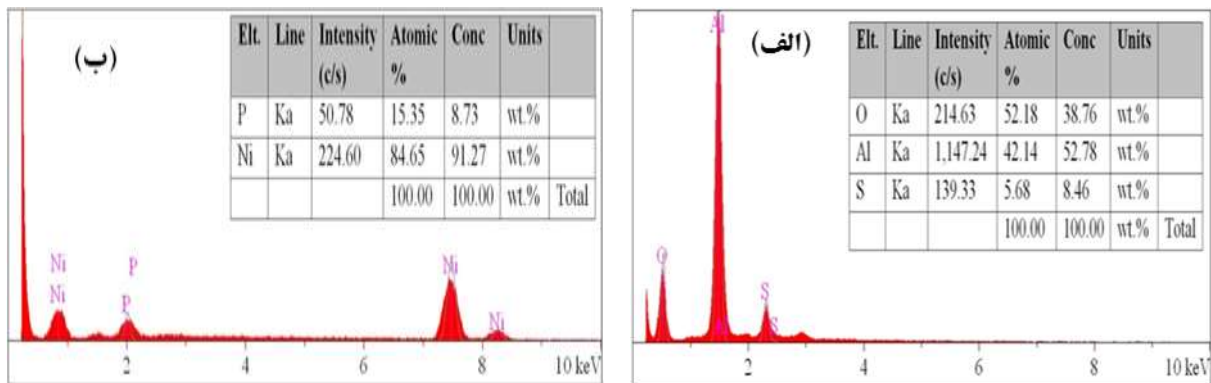
۵-۳- آنالیز پوشش‌ها

نتایج حاصل از آزمون XRD در شکل ۹ آورده شده است. همان‌طور که مشخص است، در هر دو پوشش AAO و AAO/Ni-P بیشتر پیک‌ها مربوط به زیر لایه آلومینیمی با ساختار FCC است. با رسوب پوشش الکترولس بر روی نمونه آندایز شده، تپه پهنی در الگوی مربوطه ظاهر می‌گردد که به خاطر حضور فاز غیر کریستالی Ni-P می‌باشد. همچنین لایه آندایز نیز ممکن است بر این موضوع اثرگذار باشد [۲۸]؛ اما از آنجا که در گراف پراش اشعه ایکس مربوط به نمونه آندایز شده اثری از ساختار آمورف زیر لایه نیست بنابراین احتمالاً این پیک پهن فقط مربوط به پوشش الکترولس نیکل-فسفر می‌باشد. چنین پیکی برای پوشش‌های الکترولس نیکل-فسفر متداول است [۲۷].

اطلاعات بیشتر بر روی پوشش‌ها به وسیله آنالیز EDS دست آمد. آنالیز EDS گرفته شده از سطح لایه اکسیدی نمونه A1035 در شکل ۱۰-الف نشان داده شده است. نتایج این آنالیز علاوه بر آلومینیم و اکسیژن که به خاطر پوشش



شکل (۹): نتایج آزمون تفرق اشعه ایکس.



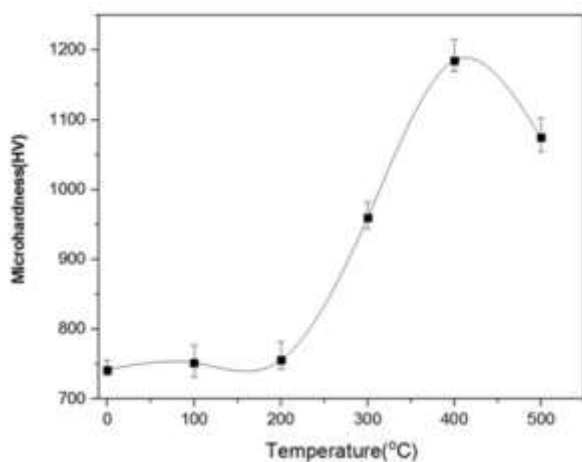
شکل (۱۰): نتایج آنالیز EDS از پوشش الف (AAO) و ب (هیبریدی AAO/Ni-P).

۶-۳- بررسی رفتار خوردگی

منحنی‌های پلاریزاسیون آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ بدون پوشش، با پوشش آندایزینگ و همچنین پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر آلیاژ آندایز شده در شکل ۱۱ نشان داده شده است. داده‌های به‌دست‌آمده از برون‌یابی تافل منحنی‌های پلاریزاسیون نظیر دانسیته جریان خوردگی (i_{corr})، پتانسیل خوردگی (E_{corr})، شیب‌های آندی و کاتدی (β_a و β_c) در جدول ۶ ارائه شده است. مقادیر مقاومت به خوردگی نمونه‌ها نیز توسط رابطه استرن-گری [۲۹] محاسبه و در جدول ۶ آورده شده است. مطابق جدول ۶، مقادیر E_{corr} پوشش‌ها نسبت به زیرلایه آلومینیمی بیشتر است و این مقدار برای پوشش AAO/Ni-P بسیار نجیب است که بیانگر پایداری آندی بالای پوشش در معرض محیط خورنده

می‌باشد [۳۰-۳۱]. همچنین مقایسه دانسیته جریان خوردگی و مقاومت به خوردگی نمونه‌ها نشان می‌دهد که فرایند آندایزینگ، رفتار خوردگی آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ را بهبود بخشیده و با اعمال پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر روی این پوشش کمترین نرخ خوردگی و بالاترین مقاومت به خوردگی حاصل می‌شود. به‌طور کلی ضخامت و ساختار (تخلخل‌ها) پوشش دو عامل مهم و تأثیرگذار بر رفتار خوردگی پوشش‌ها محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که هرچه ضخامت پوشش بیشتر و ساختار پوشش متراکم‌تر باشد، عملکرد خوردگی پوشش مطلوب‌تر می‌باشد [۳۲]؛ بنابراین همان‌طور که در بخش بررسی مورفولوژی توضیح داده شد، پوشش آندایزینگ زبر، متخلخل و دارای برجستگی و فرورفتگی‌های بسیاری بوده که از مشخصه‌های پوشش‌های

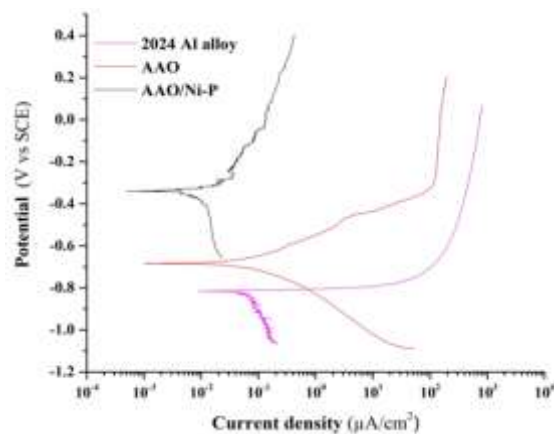
است. همان‌طور که در شکل مشخص است بیشترین سختی (۱۱۸۵ ویکرز) در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که این دما با نتایج پژوهش‌های دیگر مطابقت دارد [۳۴ - ۳۵]. الگوی پراش اشعه ایکس (شکل ۹) مربوط به عملیات حرارتی در این دما حاکی از تشکیل فاز سخت Ni₃P علاوه بر فاز نیکل می‌باشد [۳۶]. همچنین پیک‌هایی مربوط به Al₂O₃ کریستالی در این الگو وجود دارد که نشان می‌دهد، عملیات حرارتی موجب تبدیل مقداری فاز آلومینای آمورف به فاز کریستالی آن شده است [۲۸]. در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، پوشش نیکل-فسفر شروع به نرم شدن می‌کند که این به خاطر چسبیدن ذرات فسفید نیکل به یکدیگر و کاهش تعداد مناطق سخت شده است [۳۷]. در نهایت هم تأثیر زمان عملیات حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان داد (شکل ۱۳) که با افزایش زمان تا ۷۵ دقیقه سختی این پوشش هیبریدی افزایش می‌یابد اما پس از این زمان تأثیر ناچیزی روی سختی پوشش دارد.



شکل (۱۲): تأثیر دمای عملیات حرارتی بر روی سختی پوشش هیبریدی.

اکسیدی محسوب می‌شود که با اعمال لایه الکتروکلس نیکل-فسفر روی آن مورفولوژی متراکم گنبدی شکل حاصل می‌شود. ساختار متراکم و همچنین ضخامت بیشتر پوشش AAO/Ni-P منجر شده پوشش رفتار سدی مؤثرتری در مقابل هجوم یون‌های مخرب از خود نشان دهد و از زیرلایه به‌طور کامل محافظت کند.

قابل ذکر است، همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، با اعمال پوشش بر زیرلایه آلومینیمی، دانسیته جریان روئین شدن کاهش می‌یابد. دانسیته جریان روئین شدن کم پوشش‌ها نشان‌دهنده عملکرد حفاظتی خوب آن‌ها در برابر خوردگی حفره‌ای زیرلایه در شرایط انجام آزمون است [۳۳].



شکل (۱۱): منحنی‌های پلاریزاسیون زیرلایه و پوشش‌ها.

جدول (۶): داده‌های به‌دست‌آمده از منحنی‌های پلاریزاسیون توسط

برون‌یابی تافل

نمونه	E_{corr} (mV vs. SCE)	i_{corr} (μA)	β_a (mV.d ec ⁻¹)	$-\beta_c$ (mV.de c ⁻¹)	R_p (Ω)
آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴	-۸۱۷/۲	۰/۰۷	۱۴/۲	۵۲۲/۷	۸۶۵۵/۳
پوشش AAO	-۶۸۳/۱	۰/۰۳	۶۰	۶۵	۴۳۷۰۲۳/۷
پوشش AAO/Ni-P	-۳۴۱/۱	۰/۰۰۵	۵۰	۱۹۰	۳۱۲۵۰۴۱/۱

۷-۳- عملیات حرارتی پوشش

رابطه دمای عملیات حرارتی بر روی سختی این پوشش هیبریدی برای مدت‌زمان ۱ ساعت در شکل ۱۲ آورده شده

نهایی به ترتیب به ۷۴۲ ویکرز و ۱/۰۳۰ میکرومتر افزایش یافت.

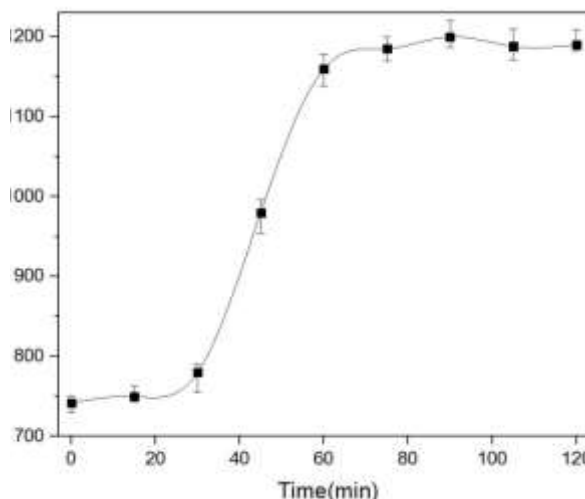
۶- با افزایش ضخامت و متراکم شدن ساختار در اثر اعمال پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر پوشش آندایزینگ، عملکرد خوردگی آلیاژ آلومینیم به طور قابل توجهی بهبود یافت.

۷- ماکزیمم سختی پوشش هیبریدی به کمک عملیات حرارتی در زمان یک ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد به دلیل تشکیل فازهای سخت مانند Ni_3P ، ۱۱۸۵ ویکرز به دست آمد.

۸- پس از ۷۵ دقیقه عملیات حرارتی پوشش هیبریدی در ۴۰۰ درجه سانتی گراد، افزایش زمان تأثیر محسوسی بر روی سختی این پوشش نخواهد داشت.

۵- مراجع

- [1] M. Shiota, "Recent trend of casting and die casting aluminum alloys for automotive parts [J]", J Jpn Inst Light Met, Vol. 55, pp. 524-528, 2005.
- [۲] ر. گیلاکجانی، ف. محبوبی و م. علیشاهی، "بررسی رفتار خوردگی و تریبولوژیکی پوشش الکترولس نانو کامپوزیتی Ni-P-SiC اعمال شده روی سطح آلومینیم Al6061"، فصلنامه علمی پژوهشی فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۳.
- [3] H. Bahri, I. Danaee, G. R. Rashed & A. Dabiri, A. R., "Scratch and wear resistance of nano-silica-modified silicate conversion coating on aluminium", Materials Science and Technology, Vol. 32, pp. 1346-1353, 2016.
- [4] W. Lee, K. Schwirn, M. Steinhart, E. Pippel, R. Scholz & U. Gösele, "Structural engineering of nanoporous anodic aluminium oxide by pulse anodization of aluminium", Nature nanotechnology, Vol. 3, pp. 234-239, 2008.
- [5] R. K. Choudhary, P. Mishra, V. Kain, K. Singh, S. Kumar & J. K. Chakravarty, "Scratch behavior of aluminum anodized in oxalic acid: effect of anodizing potential", Surface and Coatings Technology, Vol. 283, pp. 135-147, 2015.
- [6] Sh. Nakamura, M. Saito, L. M. Huang, M. Miyagi & K. Wada, "Infrared Optical Constants



شکل (۱۳): تأثیر زمان عملیات حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد بر روی سختی پوشش هیبریدی.

۴- نتیجه گیری

- ۱- با کنترل دقیق دما و ولتاژ در طی آندایزینگ آلیاژ آلومینیم ۲۰۲۴ می توان به پوشش اکسیدی با سلولهای منظم دست پیدا کرد. انجام آندایزینگ دومرحله ای نیز با کاهش فضای خالی بین سلولها و ایجاد مکانهای ترجیحی برای رشد سلولها منجر به افزایش هرچه بیشتر نظم سلولها می گردد.
- ۲- با کاهش هم زمان دما و افزایش ولتاژ ضخامت و زبری پوشش اکسیدی آندایزینگ افزایش یافت. بطوریکه بیشترین مقدار دو پارامتر در این تحقیق با انجام آندایزینگ در دمای ۵ درجه سانتی گراد و ولتاژ ۶۵ ولت حاصل شد.
- ۳- بین ولتاژ پوشش دهی و میکرو سختی در تمامی دماها مقداری بهینه وجود دارد که این به خاطر افزایش تخلخل پس از این ولتاژ می باشد؛ اما در هر ولتاژی با کاهش دما به دلیل کم شدن خوردگی محلول، سختی افزایش می یابد.
- ۴- ضخامت و سختی پوشش آندایزینگ در طی زمان ۳ ساعت آندایزینگ به طور خطی با زمان افزایش می یابد.
- ۵- اعمال پوشش الکترولس نیکل-فسفر بر روی زیرلایه اکسیدی آندایزینگ و تولید پوشش هیبریدی AAO/Ni-P بر روی زیرلایه آلومینیمی به کمک حمام الکتریکی نیکل امکان پذیر است. با اعمال این پوشش سختی و زبری پوشش

- [15] J. Wang, C. W. Wang, Y. Li & W. M. Liu, "Optical constants of anodic aluminum oxide films formed in oxalic acid solution", *Thin Solid Films*, Vol. 516, pp. 7689-7694, 2008.
- [16] R. K. Choudhary, K. P. Sreeshma & P. Mishra, "Effect of Surface Roughness of an Electropolished Aluminum Substrate on the Thickness, Morphology, and Hardness of Aluminum Oxide Coatings Formed During Anodization in Oxalic Acid", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 26, pp. 3614-3620, 2017.
- [17] D. Raps, T. Hack, J. Wehr, M. L. Zheludkevich, A. C. Bastos, M. G. S. Ferreira & O. Nuyken, "Electrochemical study of inhibitor-containing organic-inorganic hybrid coatings on AA2024", *Corrosion Science*, Vol. 51, pp. 1012-1021, 2009.
- [18] K. R. Pirota, D. Navas, M. Hernández-Vélez, K. Nielsch & M. Vázquez, "Novel magnetic materials prepared by electrodeposition techniques: arrays of nanowires and multi-layered microwires", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 369, pp. 18-26, 2004.
- [۱۹] م. علیشاهی، م. ح. بیبا و س. م. منیرواقفی، "تشکیل و بررسی اثر درصد CNT بر رفتار خوردگی پوشش الکتروکولس کامپوزیتی Ni-P-CNT"، فصلنامه علمی پژوهشی فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲.
- [20] J. H. Zhou, J. P. He, P. He, H. X. Zhang, M. Tang, Y. J. Ji & W. J. Dang, "Ternary alloy Ni-W-P nanoparticles electroless deposited within alumina nanopores", *Materials Science and Technology*, Vol 24, pp.1250-1253, 2008.
- [۲۱] م. ح. بیدرام، ک. امینی، ع. شفیع و م. ح. بیبا، "ایجاد پوشش کامپوزیتی نیکل-بور-کاربید تنگستن نانو کریستالی به روش الکتروکولس و بررسی خواص تریبولوژیکی آن"، فصلنامه علمی پژوهشی فرایندهای نوین در مهندسی مواد، سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲.
- [22] R. C. Agarwala & V. Agarwala, "Electroless alloy/composite coatings: A review", *Sadhana*, Vol. 28, pp. 475-493, 2003.
- [23] S. Theohari & Ch. Kontogeorgou, "Effect of temperature on the anodizing process of aluminum alloy AA 5052", *Applied Surface Science*, Vol. 284, pp. 611-618, 2013.
- [24] M. T. Wu, I. C. Leu & M. H. Hon, "Effect of polishing pretreatment on the fabrication of of Anodic Alumina Films with Micropore Arrays", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 31, pp. 3589-3593, 1992.
- [7] T. Aerts, T. Dimogerontakis, I. De Graeve, J. Fransaer & H. Terryn, "Influence of the anodizing temperature on the porosity and the mechanical properties of the porous anodic oxide film", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 201, pp. 7310-7317, 2007.
- [8] L. Bouchama, N. Azzouz, N. Boukmouche, J. P. Chopart, A. L. Daltin & Y. Bouznit, "Enhancing aluminum corrosion resistance by two-step anodizing process", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 235, pp.676-684, 2013.
- [9] L. E. Fratila-Apachitei, J. Duszczuk & L. Katgerman, "Voltage transients and morphology of AlSi (Cu) anodic oxide layers formed in H₂ SO₄ at low temperature", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 157, pp. 80-94, 2002.
- [10] L. Sobotova, M. Badida, J. Kmec, M. Gombar & D. Kucerka, "The Simulation of the Electrolyte Temperature Effect on the Value Change of the Microhardness of Anodic Alumina Oxide Layers", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 752, pp. 30-34, 2015.
- [11] L. E. Fratila-Apachitei, J. Duszczuk & L. Katgerman, "Vickers microhardness of AlSi (Cu) anodic oxide layers formed in H₂ SO₄ at low temperature", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 165, pp. 309-315, 2003.
- [12] Y. Goueffon, L. Arurault, S. Fontorbes, C. Mabru, C. Tonon & P. Guigue, "Chemical characteristics, mechanical and thermo-optical properties of black anodic films prepared on 7175 aluminium alloy for space applications", *Materials Chemistry and physics*, Vol. 120, pp. 636-642, 2010.
- [13] C. H. Voon, M. N. Derman, U. Hashim, K. R. Ahmad & K. L. Foo, "Effect of temperature of oxalic acid on the fabrication of porous anodic alumina from Al-Mn alloys", *Journal of Nanomaterials*, Vol. 40, pp. 160-168 2013.
- [14] G. D. Sulka & W. J. Stępniewski, "Structural features of self-organized nanopore arrays formed by anodization of aluminum in oxalic acid at relatively high temperatures", *Electrochimica Acta*, Vol. 54, pp. 3683-3691, 2009.

- [33] Y. Zuo, P.H. Zhao & J. M. Zhao, "The influences of sealing methods on corrosion behavior of anodized aluminum alloys in NaCl solutions", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 166, pp. 237-242, 2003.
- [34] M. Yan, H. G. Ying & T. Y. Ma, "Improved Microhardness And Wear Resistance Of The Asdeposited Electroless Ni-P Coating", *Surface & Coatings Technology* Vol. 202, pp. 5909-5913, 2008.
- [35] K. H. Krishnan, S. John, K. N. Srinivasan, J. Praveen, M. Ganesan & P. M. Kavimani, "An overall aspect of electroless Ni-P depositions- a review article", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 37, pp. 1917-1926, 2006.
- [36] T. Rabizadeh, S. R. Allahkaram & A. Zarebidaki, "An investigation on effects of heat treatment on corrosion properties of Ni-P electroless nano-coatings", *Materials & Design*, Vol. 31, pp. 3174-3179, 2010.
- [37] K. Parker, "The formation of electroless nickel baths", *Plating and Surface Finishing*, Vol.74, pp. 60-63, 1981.
- ordered nanopore arrays on aluminum foils by anodization", *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, Vol. 20, pp. 776-782, 2002.
- [25] J. M. Montero-Moreno, M. Sarret & C. Müller, "Influence of the aluminum surface on the final results of a two-step anodizing", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 201, pp. 6352-6357, 2007.
- [26] L. Li & B. Liu, "Study of Ni-catalyst for electroless Ni-P deposition on glass fiber", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 128, pp. 303-310, 2011.
- [27] Y. S. Huang & F. Z. Cui, "Effect of complexing agent on the morphology and microstructure of electroless deposited Ni-P alloy", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 201, pp. 5416-5418, 2007.
- [28] S. S. Yazdi, F. Ashrafizadeh & A. Hakimizad, "Improving the grain structure and adhesion of Ni-P coating to 3004 aluminum substrate by nanostructured anodic film interlayer", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 232, pp. 561-566, 2013.
- [29] M. Stern & A. Geary, "A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves", *Journ of Electrochem So*, Vol. 56. Pp. 68-69, 1957.
- [30] A. Lugovskoy, M. Zinigrad, A. Kossenko & B. Kazanski, "Production of ceramic layers on aluminum alloys by plasma electrolytic oxidation in alkaline silicate electrolytes", *Applied Surface Science*, Vol. 264, pp. 743-747, 2013.
- [31] D. Raps, T. Hack, J. Wehr, M. L. Zheludkevich, A. C. Bastos, M. G. S. Ferreira & O. Nuyken, "Electrochemical study of inhibitor-containing organic-inorganic hybrid coatings on AA2024", *Corrosion Science*, Vol. 51, pp. 1012-1021, 2009.
- [32] R. O. Hussein, D. O. Northwood & X. Nie, "The influence of pulse timing and current mode on the microstructure and corrosion behaviour of a plasma electrolytic oxidation (PEO) coated AM60B magnesium alloy", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 541, pp. 41-48, 2012.

Effect of Temperature, Voltage, Time of Anodizing and Applying Nickel-Phosphor Electro less Coating on Hardness and Corrosion Behavior of 2024 Aluminum Alloy

Masoud Soltani^{1*}, Ali Shafyei², Reihane Aliramezani¹, Saeed Akhavan¹

1- M.Sc., Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2- Professor, Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

*Corresponding author: Masoud.soltani@ma.iut.ac.ir

Abstract

In order to improve the surface properties and the greater use of aluminum and its alloys in various industries, especially aerospace, different coating methods have been introduced. Anodizing and electroless plating are the most widely used methods for this purpose. In this research, the effect of temperature and voltage of anodizing on the surface properties of anodic aluminum oxid (AAO), produced on 2024 aluminum, was investigated. The results showed that with increasing voltage and decreasing temperature, the thickness and roughness of coatings increased. An optimal voltage (45 V) was obtained to achieve the highest hardness at all temperatures. The study of the thickness and hardness of the optimum sample also showed an increase in these two parameters with increasing time. FESEM studies also revealed that by carefully controlling on the anodizing conditions, a structure with regular nano-cells could be obtained. The two step anodizing significantly increased the order of the oxide layer cells. SEM, EDS, and XRD results indicated that the possibility of Ni-P electroless coating applying on anodized aluminum in SLOTONIP 70A solution is well established. To investigate and compare the corrosion behavior of AAO and AAO/Ni-P coatings with aluminum substrate, the polarization method and tafel extrapolation was used. The results indicated that the high corrosion resistance of 2024 aluminum alloy was achieved in the presence of Ni-P electroless coating on anodized alloy. The heat treatment of the samples at different temperatures showed that the highest hardness of the final coating (1185 vickers) would be achieved at 400 °C, and the heat treatment time at this temperature after 75 minutes would not have much effect on the hardness.

Keywords: 2024 Aluminum, Anodizing, Hardness, Ni-P, Corrosion.

Journal homepage: ma.iaumajlesi.ac.ir

Please cite this article using:

Masoud Soltani, Ali Shafyei, Reihane Aliramezani, Saeed Akhavan, Effect of Temperature, Voltage, Time of Anodizing and Applying Nickel-Phosphor Electro less Coating on Hardness and Corrosion Behavior of 2024 Aluminum Alloy, *New Process in Material Engineering*, 2020, 14(3), 27-40.