

بررسی مقاومت به خوردگی و سایش پوشش سرامیکی آلومینا ایجاد شده با فرایند پلاسمای

الکترولیتی بر روی سطح فولاد ضدزنگ 316L

زهرا عفیفی طسوجی^{۱*}، محمود پاکشیر^۲، محمد جعفر هادیان فرد^۳

چکیده

پوشش سرامیکی آلومینا بر روی فولاد ضدزنگ 316L به منظور بهبود ویژگی های سطحی و افزایش مقاومت به خوردگی کاشتنی های مورد استفاده در بدن با بکارگیری فرایند پوشش دهی پلاسمای الکترولیتی ایجاد شد. حمام الکترولیت شامل کربنات سدیم و نیترات آلومینیوم آماده و سپس نمونه ها با جریان مستقیم و ولتاژ بهینه ۱۴۵ ولت پوشش داده شدند. ترکیب شیمیایی نمونه ها به وسیله آنالیز تفرق اشعه ی ایکس (XRD) و مورفولوژی سطح نمونه های پوشش داده شده به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مطالعه شد. خواص سایشی و سختی نمونه های پوشش داده شده و بدون پوشش در محلول رینگر بررسی شد نمونه های پوشش دار بهبود رفتار سایشی و سختی را نشان داد. رفتار خوردگی نمونه ها با اجرای آزمون های الکتروشیمیایی در محلول فیزیولوژیکی ارزیابی گردید تا تاثیر پوشش ها به عنوان عاملی برای افزایش مقاومت به خوردگی تعیین شود. نتایج آزمون های مکانیکی بهبود رفتار نمونه های با پوشش آلومینا را نسبت به نمونه بدون پوشش نشان می دهند. ریزساختار نشان می دهد که زمان بهینه پوشش دهی در ولتاژ ۱۴۵ ولت و جریان ۱۰۷ آمپر، ۱۰ دقیقه می باشد. آنالیز XRD تشکیل فاز α -Al₂O₃ را تایید می کند. مقاومت به خوردگی نمونه با پوشش آلومینا نسبت به نمونه بدون پوشش به دلیل کاهش جریان و مثبت شدن پتانسیل در آزمایش تافل افزایش یافته است.

واژه های کلیدی: فرایند پلاسمای الکترولیتی، آلومینا، فولاد ضدزنگ 316L

^۱ - دانشجو دانشگاه شیراز- بخش مهندسی مواد Afifi.zahra@yahoo.com

^۲ - دانشیار دانشگاه شیراز- بخش مهندسی مواد Pakshir@shirazu.ac.ir

^۳ - استاد دانشگاه شیراز- بخش مهندسی مواد hadianfa@shirazu.ac.ir

*- نویسنده مسوول مقاله: Afifi.zahra@yahoo.com

پیشگفتار

کاشت های پزشکی (کلینیکی) باید خواص مکانیکی عالی، زیست سازگاری خوب، و مقاومت به خوردگی در محیط فیزیولوژیکی را داشته باشد [۱]. در میان مواد فلزی، فولاد زنگ نزن 316L AISI بدلیل هزینه پایین آن و زیست سازگاری مناسب اغلب برای ابزار موقتی مانند، صفحات شکست، پیچ های استخوانی و میخ های (اتصالات) لگن به کار می رود. خوردگی ایمپلنت فولاد زنگ نزن، یون های فلزی مانند Fe^{2+} ، Ni^{2+} ، Cr^{3+} را آزاد می کند که اثرات موضعی اساسی را ایجاد می کند و در نتیجه آن در شل شدن عضو مصنوعی نقش ایفا می کند. از این رو علاقه اصلی در مطالعه فولاد زنگ نزن بر بهبود مقاومت به خوردگی (موضعی و مکانیزم کلی) و جلوگیری از نفوذ یون های فلزی به بافت های اطراف متمرکز شده است [۲].

اصلاح سطح مواد، سایش را بهبود، مقاومت به خوردگی را افزایش، آزاد سازی یون را کاهش و زیست سازگاری را ارتقا می بخشد [۳]. روش های گوناگون اصلاح سازی سطح مانند رسوب دهی فیزیکی فاز بخار^۱ و آندایزینگ^۲ [۴]، سل ژل [۵]، الکتروفوریتیک [۶]، برای بهبود مقاومت به خوردگی و زیست سازگاری کاشت های اورتوپدی استفاده شده است.

یکی از مهم ترین پارامترهای پوشش دهی استفاده از روش مناسب جهت ایجاد پوششی با تراکم و یکنواختی و چسبندگی مناسب می باشد [۷]. روش الکترولیتیک پلاسمای^۳ می تواند به عنوان تکنیکی برای ایجاد پوشش سرامیکی بر روی فلزات به کار رود. نتایج گزارش شده از تحقیقات حاکی از آن است که پوشش های ایجاد شده به این روش باعث ایجاد مقاومت به خوردگی عالی و خصوصیت ضد سایشی در سطح فلز می شود [۸]. این روش خواص سطحی فلزات مانند مقاومت به اکسیداسیون، مقاومت به خوردگی و پیوند بین سطح را بطور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد [۹].

تاکنون پوشش های زیادی با این روش ایجاد شده است. از جمله کرن و همکاران پوشش تیتانیا را برای

کاشت های پزشکی با روش پلاسمای الکترولیتی ایجاد کردند [۹]. در پژوهشی دیگر کامپوزیت سیلیکا آلومینا برای کاربردهای کاشتنی پوشش دهی شده است [۲]. Al_2O_3 به دلیل ترکیبی از مقاومت به خوردگی عالی، زیست سازگاری خوب، و مقاومت سایشی بالا، و استحکام بالای آن در پروتز های لگن تحمل کننده بار^۴ و کاشت-های دندانانی استفاده می شود [۱۰]. تاکنون پوشش های سرامیکی مختلفی مانند زیرکونیا [۵] و هیدروکسی آپاتیت [۱۱]، با روش های متنوعی بر فولاد ضدزنگ 316L اعمال شده است.

در سال ۲۰۰۵، باریک و همکاران پوشش Al_2O_3 را به روش پلاسمای الکترولیتی اکسیدی اعمال کردند و خواص خوردگی، سایشی و خوردگی-سایشی آن را بر آلیاژ آلومینیوم ۶۰۸۲ بررسی کردند [۱۲]. در سال ۲۰۰۷ سارافگ لو و همکاران پوشش Al_2O_3 بر فولاد ضدزنگ AISI 316 با روش پاشش اتمسفری پلاسمای کنترل شده را بررسی کردند [۱۳]. در سال ۲۰۱۳ مطالعات الکتروشیمیایی رفتار مقاومت به خوردگی پوشش های هیدروکسی آپاتیت بر روی فولاد ضدزنگ ایجاد شده به روش رسوب دهی الکتروفوریتیک بررسی شد [۱۴]. در سال ۲۰۱۳ خواص پوشش های هیدروکسی آپاتیت ایجاد شده با پاشش پلاسمای با تقویت ذرات Al_2O_3 بهبود داده شد [۱۵].

در این پژوهش، خواص سطحی پوشش اکسید آلومینیوم ایجاد شده به روش الکترولیتی پلاسمایی بر فولاد زنگ نزن 316L و ریخت شناسی سطح نمونه ها بررسی شد. رفتار خوردگی نمونه ها در دمای $37^{\circ}C$ در محلول رینگر بررسی شد. رفتار مکانیکی نمونه های بدون پوشش و پوشش داده شده بررسی شد.

روش کار

نمونه هایی از فولاد زنگ نزن 316L به ابعاد $15 \times 10 \times 2$ میلیمتر از ماده اولیه بریده و تهیه شد، که ترکیب آن در جدول ۱ آورده شده است. نمونه ها توسط کاغذ سنباده کاربید سیلسیم ۸۰ تا ۲۰۰۰ سنباده زده شد. پس از آماده سازی سطحی، نمونه ها با آب مقطر

¹ PVD

² Anodizing

³ Electrolytic Plasma Process (EPP)

⁴ Load-bearing

مقطر شسته شد. سطح نمونه پوشش گرفته بعد از عملیات پلاسما در شکل ۱ نشان داده شده است. سپس سطح نمونه پوشش گرفته بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به مورفولوژی، زمان بهینه پوشش دهی انتخاب شد و ترکیب آن توسط تفرق اشعه ایکس بررسی شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی، SEM، (Oxford S-360) برای مطالعه ریزساختار و ریخت شناسی سطح پوشش بکار رفت. تکنیک پراش پرتو ایکس، XRD، برای شناسایی ساختار و فازهای پوشش مورد استفاده قرار گرفت. زاویه پراش (2θ) از ۲۰ تا ۱۰۰ درجه انتخاب گردید. از طریق بررسی و مقایسه پیک های پراش و شدت آنها در منابع موجود فاز ها و اجزای سازنده آن مشخص و تعیین گردید. رفتار مکانیکی و همچنین خوردگی فولاد زنگ نزن بدون پوشش و فولاد زنگ نزن پوشش داده شده با آلومینا بررسی شد.

شسته شدند و با الکل چربی زدایی شده و خشک شدند. محلول در یک بشر دو لیتری آماده شد که ترکیب شیمیایی آن در جدول ۲ ذکر شده است.

یک ورق فولاد زنگ نزن آستنیتی استوانه ای شکل که مساحت آن ۵۰ برابر مساحت سطح نمونه ها بود به عنوان آند استفاده شد، و به قطب مثبت منبع تغذیه جریان DC وصل شد. سپس نمونه به عنوان کاتد در محلول قرار گرفت. pH محلول بین ۹-۸ اندازه گیری شد. ولتاژ به تدریج اعمال شد، از کمترین مقادیر ممکن شروع و به تدریج تا ۱۵۰ ولت افزایش داده شد. در طی این فرایند، دمای درون محلول تا ۹۰ درجه سیلسیوس افزایش یافت. یک جریان بیشینه ۱۶ آمپر در ولتاژ ۹۰ ولت بدست آمد. همان گونه که انتظار می رفت آزاد شدن گاز در مراحل اولیه افزایش ولتاژ مشاهده شد. هنگامی که ولتاژ به ۱۴۵ ولت رسید، بسته ی پلاسما پایدار شد و یک نور زرد شروع به درخشش کرد و جریان تقریباً به ۱/۷ آمپر کاهش یافت. نمونه به مدت ۱۰، ۱۴، ۱۸ دقیقه تحت عملیات پوشش دهی قرار گرفت و سپس کونچ شد و با آب

جدول ۱- ترکیب فولاد زنگ نزن 316L.

عنصر	فسفر	سیلیسیم	گوگرد	منگنز	مولیبدن	نیکل	کروم	کربن	آهن
درصد وزنی	۰/۰۵	۰/۵۴	۰/۰۰۵	۱/۰۳	۲/۱۶	۱۰/۲	۱۶/۶	<۰/۱۶	بقیه

جدول ۲- ترکیب شیمیایی حمام.

نمونه	گلیسرین	کلرید آمونیوم	کربنات سدیم	نترات آلومینیوم	آب
(cc)	(cc)	(g)	(g)	(g)	(cc)
۱	۲۰	۳	۷	۱۰	۸۰۰

نتایج و بحث

شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح نمونه های پوشش داده شده به روش پلاسما الکترونی کاتدی در سه زمان ۱۰، ۱۴ و ۱۸ دقیقه را نشان می دهد. در تصویر دیده می شود که حفرات در زمان ۱۰ دقیقه کوچکتر و کمتر می باشد و سطح متراکم تری دیده می شود، در زمان های کمتر از آن ضخامت پوشش کم بوده و سطح یکنواختی لازم را نداشت، به همین دلیل زمان بهینه پوشش دهی ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد. این تصاویر نشانگر بر همکنش بین پلاسما الکترونی فشرده و سطح فلز می باشد. مورفولوژی خاص سطحی به

دلیل ترکیدن حباب های پلاسما و سریع سرد شدن آن ها به وجود می آید. این مورفولوژی به صورت ریز حفره ها^۱ و کره ها^۲ شرح داده می شود. می توان گفت این ریز حفره ها و کره ها مکان هایی بسیار خوبی برای ایجاد قفل های مکانیکی می باشند. با توجه به ریخت شناسی سطحی زمان بهینه پوشش دهی ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد. شکل ۳ ضخامت پوشش تصویری از سطح مقطع نمونه را نشان می دهد، ضخامت پوشش ۳۷.۵ میکرون بود. لایه پوشش ایجاد شده به روش پلاسما الکترونی کاتدی

¹ Microcraters

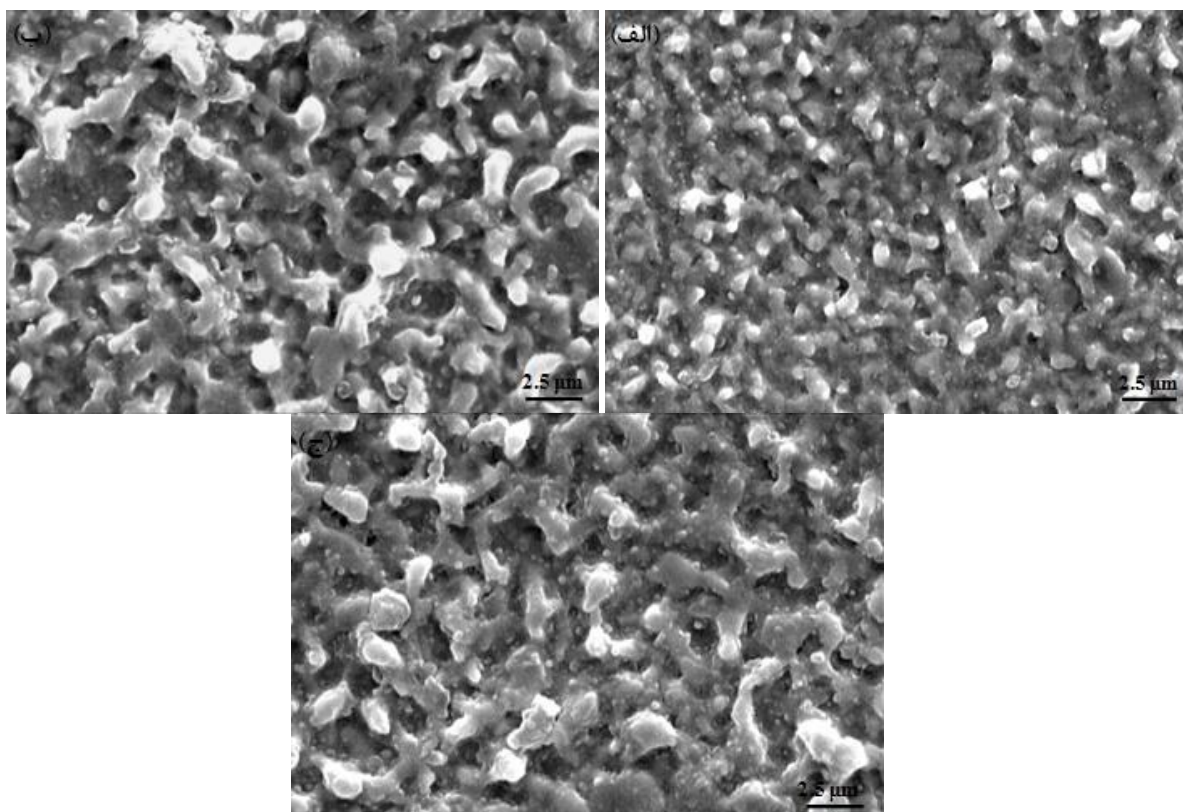
² Spheroids

زمینه و همچنین به دلیل نفوذی بودن پوشش حاصل از روش الکترولیتیک پلاسمای می باشد. بهادری و وانگ در پژوهش های خود تشکیل این ماده را تایید کرده اند [۱۶ و ۱۷].

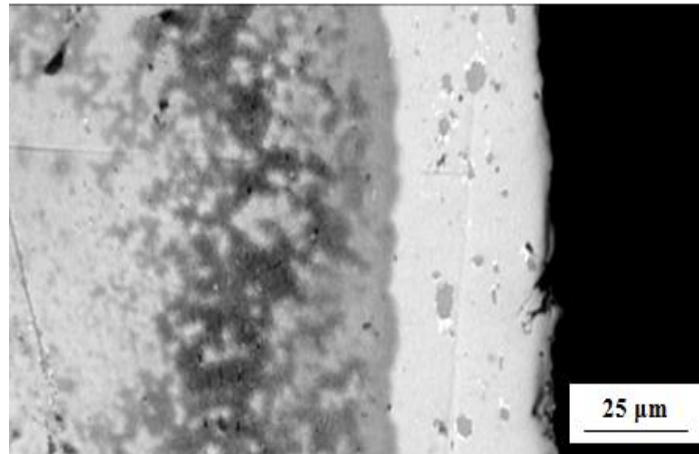
توسط آنالیز XRD بررسی شد. همانطور که انتظار می رفت سرامیک آلومینا $\alpha - Al_2O_3$ بر روی این فولاد تشکیل شده است (شکل ۴). پیک های مربوط به ترکیب $AlNi_3$ در آنالیز XRD مشاهده می شود که به دلیل تاثیر آلیاژ



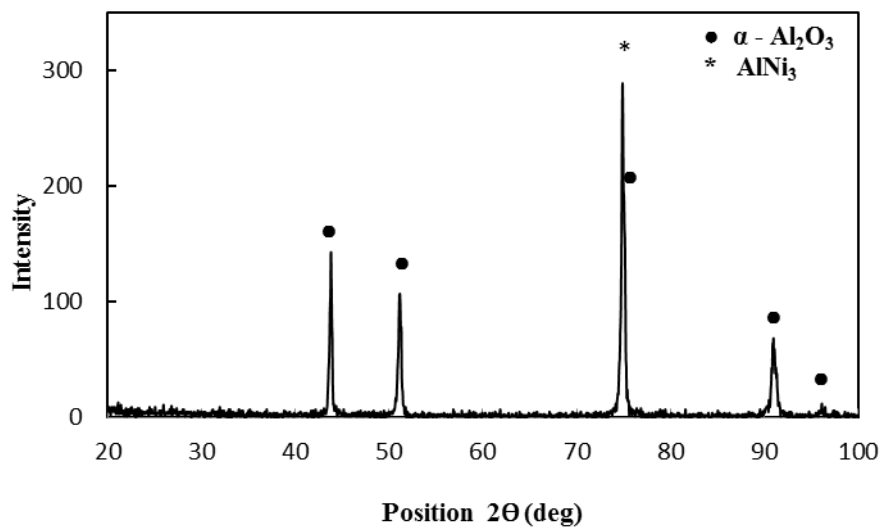
شکل ۱- تصویر از سطح نمونه با پوشش آلومینا



شکل ۲- تصویر SEM از مورفولوژی سطحی الف- ۱۰ دقیقه ب- ۱۴ دقیقه ج- ۱۸ دقیقه.



شکل ۳- تصویر SEM از سطح مقطع نمونه پوشش داده شده با Al_2O_3



شکل ۴- الگوی پراش پرتو ایکس پوشش آلومینا بر روی فولاد زنگ نزن 316L.

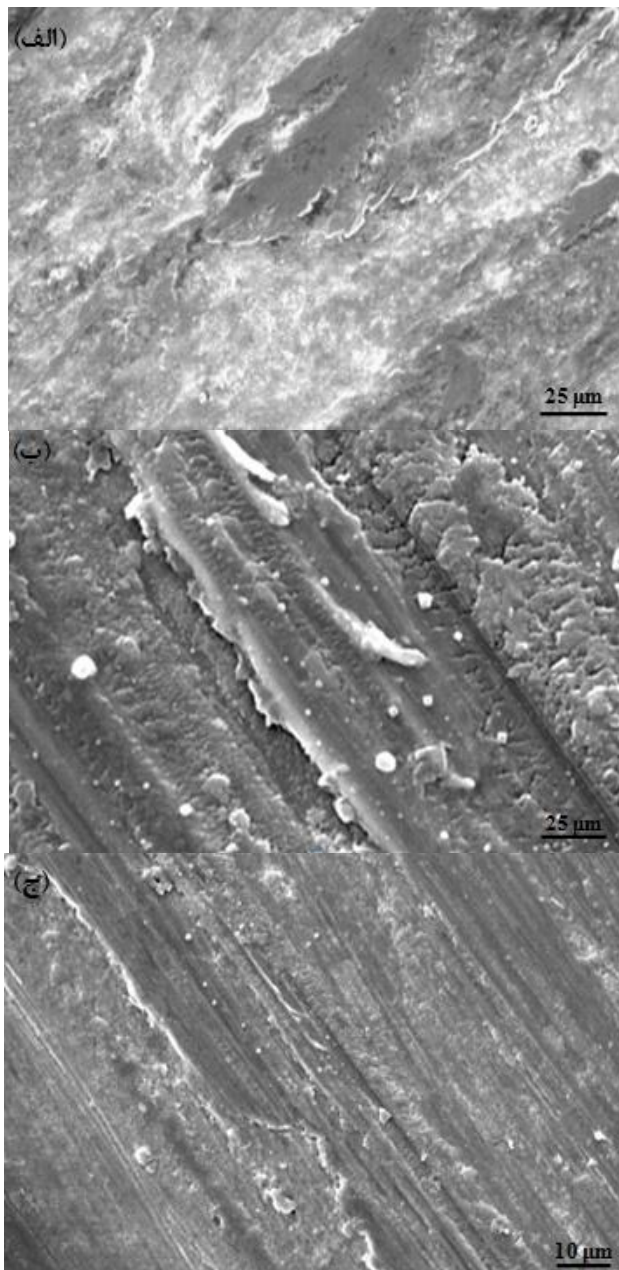
میکروسختی

برای اندازه گیری سختی پوشش ها از یک دستگاه ریزسختی سنج ویکرز مدل MHI (ساخت شرکت کوپا پژوهش) استفاده شد. سختی در این حالت با استفاده از وزنه ۵۰ گرمی و زمان اعمال بار ۱۵ ثانیه بر روی سطح مقطع اندازه گیری شد. شکل ۵ یک پروفایل سختی از سطح قطعه بدون پوشش و قطعه پوشش دار را نشان می دهد، پوشش ایجاد شده یک توزیع تقریباً یکنواختی از سختی دارد. میانگین سختی فولاد زنگ نزن تقریباً ۱۸۸ HV و میانگین سختی اندازه گیری شده برای سطح پوشش داده شده ۲۳۲/۵ HV بود. اندازه گیری ها بهبود

مناسبی از سختی سطح پوشش داده شده را نشان می دهد.

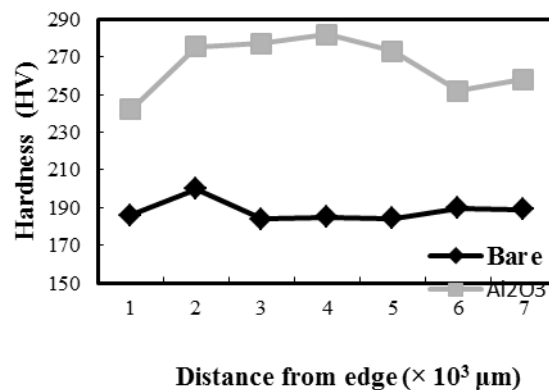
سایش

در جهت ارزیابی مقاومت به سایش نمونه های پوشش داده شده تست سایشی پین روی دیسک چرخان طبق استاندارد ASTM G99 انجام شد. در این تست از بار عمودی ۱/۵ N و سرعت خطی ۰/۰۳ متر بر ثانیه استفاده گردید. طول مسیر سایش ۲۰۰ متر انتخاب شد. در حین سایش محلول رینگر بر روی سطح اعمال شده است و پین سایش SAE52100 بود. شکل ۵ به تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مسیر سایش نمونه های بدون پوشش و



شکل ۶- تصاویر SEM از مکانیزم سایش در محلول رینگر بر الف- فولاد ضد زنگ 316L ج- و د- فولاد ضد زنگ 316L با پوشش آلومینا در محلول رینگر.

نمونه‌های پوشش داده شده در حضور محلول رینگر را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۶- الف مشاهده می‌شود سطح نمونه بدون پوشش دچار سایش شدیدی شده است که یک سطح بسیار زبر با ترک‌های ریز و ذرات بریده شده ریز ایجاد کرده است. این پدیده مشخص‌کننده مد چسبنده^۱ سایش می‌باشد که در گروه فولاد های زنگ نزن بسیار رایج می‌باشد [۱۸]. و شکل ۶- ب و ج بیانگر آن است که مکانیزم سایش در محیط رینگر در فولاد زنگ نزن 316L با پوشش آلومینا متفاوت می‌باشد و مکانیزم آن بیشتر به خاطر تغییر فرم پلاستیک است و از نوع خراشی است و اثر سایش نسبت به فولاد ضدزنگ 316L بدون پوشش کم شده است. بعد از انجام تست، نمونه با دقت با آب و الکل شسته شد و کاهش وزن نمونه‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت چهار رقم اعشار اندازه‌گیری شد. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود کاهش وزن نمونه بدون پوشش 10^{-3} گرم بود در حالیکه نمونه با پوشش آلومینا کاهش وزن 10^{-4} گرم داشت این دو عدد نشان‌دهنده خواص بهتر سایشی نمونه‌ی پوشش‌دار نسبت به نمونه‌ی بدون پوشش می‌باشد.

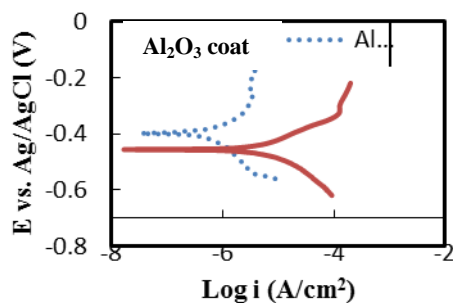


شکل ۵- پروفایل سختی از سطح نمونه‌ها.

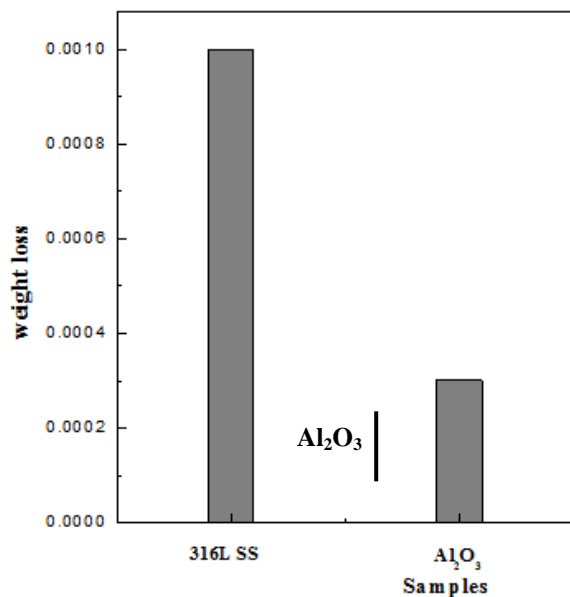
¹ Adhesive

استفاده قرار گرفت. به منظور ارزیابی و مقایسه رفتار خوردگی، نمونه های فولاد زنگ نزن بدون پوشش و فولاد زنگ نزن پوشش داده شده با آلومینا با استفاده از دستگاه پتانسیواستات Autolab Microlab با سیستم مجهز به نرم افزار GPES تحت آزمون الکتروشیمیایی پلاریزاسیون قرار گرفت. جهت انجام تست پلاریزاسیون تافل، آزمایش در محدوده پتانسیل -0.2 تا $+0.2$ ولت نسبت به OCP و با نرخ 0.001 V/s انجام شد.

پوشش به عنوان مانعی برای انتقال الکترون ها و یون ها بین سطح فلز و الکترولیت عمل می کند بنابراین نرخ واکنش های شیمیایی را کاهش می دهد و مقاومت به خوردگی بهتری را فراهم می کند. جریان خوردگی و پتانسیل خوردگی نمونه فولاد زنگ نزن بدون پوشش و فولاد زنگ نزن با پوشش Al_2O_3 در جدول ۴ آورده شده است. با مقایسه نتایج، در شکل ۸ مشاهده می شود که چگالی جریان خوردگی فولاد زنگ نزن 316L بدون پوشش در محلول رینگر بیشتر از فولاد زنگ نزن پوشش داده شده با آلومینا است. به عبارت دیگر فولاد زنگ نزن 316L بدون پوشش در محلول رینگر، مقاومت به خوردگی بسیار کمتری دارد ولی مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن با پوشش فولاد زنگ نزن با پوشش Al_2O_3 به شدت بهبود یافته است (جدول ۴). کیون جین و همکاران نیز در تحقیقات خود افزایش مقاومت به خوردگی پوشش Al_2O_3 را گزارش کرده اند [۱۹].



شکل ۸- پلاریزاسیون تافل نمونه های پوشش دار و بدون پوشش در محلول رینگر و در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد.



شکل ۷- نمودار کاهش وزن

خوردگی

به منظور انجام آزمون های الکتروشیمیایی پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی، تعداد کافی از نمونه های تخت فولاد زنگ نزن 316L، به سیم مسی روکش دار اتصال داده شد. اطراف هر نمونه به گونه ای با لاک پوشانده شد که فقط یک سطح 7×7 میلی-متر مربع از آن آزاد بماند. نمونه های بدون پوشش آماده سازی سطحی شد. که به این منظور از سنباده کاربرد سیلیسیم ۸۰ تا ۱۲۰۰ استفاده شد. سپس با آب مقطر شسته و با استون چربی زدایی و خشک شد. هر نمونه بلافاصله پس از آماده سازی سطحی و خشک کردن در الکترولیت مذکور در دمای 37 ± 1 °C به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت تا با آن به تعادل برسد. نمونه های پوشش داده شده بدون هیچگونه آماده سازی سطحی دیگر و پس از شستشو با الکترولیت مورد نظر، در الکترولیت قرار گرفت تا با آن به تعادل برسد.

یک سل آزمون الکتروشیمیایی برای اجرای آزمون های پلاریزاسیون پتانسیودینامیکی مورد استفاده قرار گرفت. پلاتین به عنوان الکتروود شمارنده (کمکی) بکار رفت و الکتروود مرجع یک الکتروود Ag/AgCl بود. محلول فیزیولوژیکی، رینگر با ترکیب ذکر شده در جدول ۳ مورد

جدول ۳- ترکیب شیمیایی محلول رینگر (درصد وزنی).

Water	NaCl	KCl	CaCl ₂
بقیه	۰/۸۶	۰/۰۳	۰/۰۳۳

جدول ۴- مقادیر جریان خوردگی و پتانسیل خوردگی فولاد زنگ نزن 316L بدون پوشش و پوشش داده شده با آلومینا در محلول رینگر در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد.

نمونه مورد آزمایش	پتانسیل خوردگی (V)	چگالی جریان خوردگی ($\frac{A}{cm^2}$)
فولاد زنگ نزن بدون پوشش	-۰/۴۵۵	۱/۵۴۹E-۵
فولاد زنگ نزن با پوشش Al ₂ O ₃	-۰/۳۹۸	۹/۳۲۶E-۷

نتیجه گیری

پوشش سرامیکی آلومینا به روش نسبتاً جدید پلاسمای الکترولیتی کاتدی (Cathodic Plasma Electrolytic deposition) با موفقیت بر روی فولاد ضدزنگ 316L اعمال شد. میکروساختار نشان می دهد که زمان بهینه ی پوشش دهی ۱۰ دقیقه می باشد. آنالیز XRD تشکیل فاز α -Al₂O₃ را در پوشش نشان می دهد. آزمون های مکانیکی بهبود رفتار نمونه با پوشش آلومینا را نسبت به نمونه بدون پوشش نشان می دهند. داده های مربوط به کاهش وزن و تصاویر SEM بهبود مقاومت به سایش نمونه پوشش دار را نشان می دهد و سختی نمونه های پوشش دار نیز افزایش یافته اند. مقاومت خوردگی پوشش آلومینای ایجاد شده به روش پلاسمای الکترولیتی کاتدی در مقایسه فولاد ضد زنگ 316L بدون پوشش، به دلیل کاهش جریان خوردگی و همچنین مثبت شدن پتانسیل افزایش یافته است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مسئولان آزمایشگاه بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز قدردانی می کنند.

Reference

- International, Vol. 39, pp. 245-253, 2013.
- S.K. Tiwari, T. Mishra, M.K. Gunjan, A.S. Bhattacharyya, T.B. Singh, and R. Singh "Development and Characterization of Sol-Gel Silica-Alumina Composite Coatings on AISI 316L for Implant Applications", Surface & Coatings Technology, Vol. 201, pp. 7582-7588, 2007.
- S. Nagarajan, N. Rajendran "Sol-Gel Derived Porous Zirconium Dioxide Coated on 316L SS for Orthopedic applications", J Sol-Gel Sci Technol, Vol. 52, pp. 188-196, 2009.
- W. Zhen-Jun, H. Li-ping, Ch. Zong-zhang, "Fabrication and Characterization of Hydroxyapatite/AL2O3 Biocomposite Coating on Titanium", Trans Nonferrous Met. Soc. China, 16, pp. 259-266, 2006.
- A. Balmorgan, G. Balossier, S. Kannan, J. Michekl, J. Faure, S. Rajeswari, "Electro- chemical and Structural Characterization of Zirconia Reinforce Hydroxyapatite Bio-ceramic Sol-Gel Coatings on Surgical Grade 316L SS for Biomedical Applications", Ceramic International, Vol. 33, pp. 605-614, 2006.
- Zh.Ch. Wang, Y.J.C. Huang, "Fabrication and Characterization of HAp/Al2O3 Composite Coating on Titanium Substrate", J. Bio-medical
1. Y. Hung, Y. Yan, and X. Pang "Electrolytic Deposition of Fluorine-Doped Hydroxy-apatite/ZrO₂ Films on Titanium for Biomedical Applications", Ceramics

- Atmosphere Plasma Spraying (CAPS)", Surface & Coating Technology, Vol. 202, pp. 155-161, 2007.
14. K. Kh. Chew, Sh. H. Sh. Zein, A. L. Ahmad, D. S. Mcphail, M. F. Abdullah, "The Electrochemical Studies of the Corrosion Resistance Behavior of Hydroxyapatite Coatings on Stainless Steel Fabricated by Electrophoretic Deposition", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 19, pp. 1123-1129, 2013.
 15. M. Mittal, S.K. Nath, S. Prakash, "Improvement in Mechanical Properties of Plasma Spray Hydroxyapatite Coatings by Al₂O₃ Reinforcement", Material Science and Engineering C, Vol. C 33, pp. 2838-2845, 2013.
 16. E. Bahadori, S. Javadpour, M.H. Shariat, F Mahzoon, "Preparation and Properties of Ceramic Al₂O₃ Coating TBCs on MCrAlY Layer Applied on Inconel Alloy by Cathodic Plasma Electrolytic Deposition", Surface & Coating Technology, Vol. 228, pp. s611-s614, 2013.
 17. Y. Wang, Zh. Jiang, X. Liu, Z. Yao, "Influence of Treating Frequency on Microstructure and Properties of Al₂O₃ Coating on 304 Stainless Steel Cathodic Plasma Electrolytic Deposition", Applied Surface Science, Vol. 255, pp. 8836-8840, 2009.
 18. G. Jiang, Q.A. Peng, C. Li, Y. Wang, J. Gao, S.Y. Chen, J. Wang and B.L. Shen "Surface Microstructure of 316L Austenitic Stainless Steel by the Salt Bath Nitrocarburizing and Post-Oxidation Process Know QPQ", Surface & Coating Technology, Vol. 202, pp. 2865-2870, 2008.
 19. Q. Jin, W. Xue, X. Li, Q. Zhu, X. Wu, "Al₂O₃ Coating Fabricated on Titanium by Cathodic Microarc Electrodeposition", Journal of Alloy Science and Engineering, Vol. 1, pp. 190-194, 2008.
 7. P. Gupta, G. Tenhundfeld, E.O. Daigle, D. Ryabkov, "Electrolytic Plasma Technology: Science and Engineering- an Overview", Surface & Coatings Technology, Vol. 201, pp. 8746-8760, 2007.
 8. Zh. Yao, Y. Jiang, Zh. Jiang, F. Wang, Zh. Wu, "Preparation and Structure of Ceramic Coatings Containing Zirconium Oxide on Ti Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 205, pp. 303-307, 2008.
 9. P. Kern, P. Schwaller, J. Michler, "Electrolytic Deposition of Titania Films as Interface Coatings on Biomedical Implants: Microstructure, Chemistry and Nano-Mechanical Properties", Thin Solid Films, Vol. 494, pp. 279-286, 2006.
 10. N. R. Patel, P. P. Gohil, "A Review on Biomaterials: Scope, Applications & Human Anatomy Significance", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2, Issue 4, 2012.
 11. D.T.M. Thanh, Ph. T. Nam, N. T. Phuong, L. X. Que, N. V. Anh, Th. Hoang, T. D. Lam, "Controlling the Electrodeposition, Morphology and Structure of Hydroxy-apatite Coating on 316L Stainless Steel" Materials Science and Engineering C, Vol. 33, pp. 2037-2045, 2013.
 12. R. C. Barik, J. A. Wharton, R. J. K. Wood, K. R. Stokes, R. L. Jones, "Corrosion, Erosion and Erosion-Corrosion Performance of Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) Depositon Al₂O₃ Coatings", Surface & Coating Technology, Vol. 199, pp. s158-s167, 2005.
 13. Ch. I. Sarafoglou, D. I. Pantelis, S. Beauvais, M. Jeandin, "Study of Al₂O₃ Coatings on AISI 316 Stainless Steel Obtained by Controlled

and Compounds, Vol. 476, pp. 356-359, 2009.

|