

بهینه سازی حمام بمنظور کاهش ولتاژ در روش نیتروکربوره کردن الکترولیتی پلاسمایی فولاد ضد زنگ آستنیتی و بررسی زیست سازگاری آن در بدن خرگوش

نازنین افسرکازرونی^{۱*}، محمد حسین شریعت^۲، محمد ابراهیم بحر العلوم^۳، سیف الله دهقانی^۴، فاطمه محزون^۵ و تایماز جوزقی^۶

چکیده

بمنظور بهبود ویژگی‌های سطحی برای استفاده در کاشت‌های پزشکی، یک فرایند نیتروکربوره کردن الکترولیتی پلاسمایی روی فولاد ضد زنگ آستنیتی بکار گرفته شد. محلول پایه، اوره‌ای با ۱۰ درصد کلرید آمونیوم و ۳ درصد کربنات سدیم به عنوان حمام الکترولیت آماده شد. سپس نمونه‌ها با جریان مستقیم و کم‌ترین ولتاژ (۱۵۰ ولت) پوشش داده شدند. ریخت شناسی سطح و سطح مقطع نمونه‌ی پوشش داده شده به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. ریز ساختار و ترکیب شیمیایی نمونه‌ها به وسیله‌ی آنالیز تفرق اشعه‌ی ایکس (XRD) و پراکنش انرژی اشعه‌ی ایکس (EDX) مطالعه شد. ریز ساختار لایه‌ی بیرونی پوشش شامل اکسیدهای کروم و آهن می‌شود. برای بررسی زیست سازگاری نمونه‌ی نیتروکربور شده و مقایسه‌ی آن با فولاد ضد زنگ آستنیتی، دو گروه نمونه شامل نمونه‌ی بدون پوشش و نمونه‌ی پوشش داده شده، در استخوان درشت نی خرگوش قرار گرفت. پس از ۶ هفته پین‌ها از بدن خارج شدند و به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی و پراکنش انرژی اشعه‌ی ایکس (EDX) مطالعه شد. عکس‌ها نشان دهنده‌ی سطح نمونه هستند و با مقایسه‌ی آن با عکس‌های پیش از قرار گیری در بدن می‌توان به وجود لایه‌ای از بافت پی برد. آنالیز EDX نیز مقادیر قابل ملاحظه‌ای از فسفر و کلسیم و توزیع نایک‌نواخت آن‌ها را روی سطح نمونه نشان می‌دهد که نشان دهنده‌ی رشد بافت روی سطح به دلیل ساختار متخلخل است.

واژه‌های کلیدی: نیتروکربوره کردن الکترولیتی پلاسمایی، زیست سازگاری.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مواد، دانشگاه شیراز، nazanin.afsar.k@gmail.com

۲- استاد، مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

۳- استاد، مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

۴- استاد، دامپزشکی، دانشگاه شیراز

۵- دکترای مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

۶- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مواد، دانشگاه شیراز

پیشگفتار

فولاد ضد زنگ آستنیتی معمولا برای ساخت کاشت‌های ارتوپدی بکار می‌رود و کاربردهایی مانند پروتز استخوان لگن^۱، پیچ^۲، صفحات تثبیت^۳ و غیره دارند. این کاربرد گسترده از فولاد ضد زنگ آستنیتی بیش‌تر به دلیل مقاومت خوب آن در مقابل خوردگی یکنواخت است. با وجود این‌که روی فولاد ضد زنگ آستنیتی لایه‌های غیر فعال شکل می‌گیرند که مقاومت نسبتا خوبی نسبت به خوردگی یکنواخت دارند، این پوسته غیر فعال به شدت نسبت به خوردگی موضعی حساس است. در نتیجه، کاربرد فولاد ضد زنگ به عنوان یک ماده‌ی بیومتریال به وسیله‌ی خوردگی حفره‌ای^۴ که یکی از شدیدترین انواع حمله‌های سطحی موضعی روی فولاد ضد زنگ است، محدود شده است. به وسیله‌ی شیوه‌هایی که عموماً روی از بین بردن ناخالصی‌های سطحی تمرکز کرده‌اند، تغییر ویژگی‌های شیمیایی و توزیع عناصر در پوسته‌ی نافعال و یا با افزایش نسبت کرم به آهن در پوسته، پیشرفت‌هایی در بهبود مقاومت به خوردگی حفره‌ای بدست آمده است [۱]. فناوری تغییر دهی در سطح را می‌توان بمنظور بهبود سازش با بدن^۵، افزایش دادن پیوند با استخوان^۶، کاهش دادن سایش یا خوردگی و غیره بکار برد. این روش هم‌چنین می‌تواند سایش را کاهش داده و با وجود این‌که ویژگی‌های بهینه‌ی حجمی سطح زیری را حفظ می‌کند، رفتار اصطکاکی سطح را بهبود دهد. در نتیجه‌ی تغییر دهی در سطح، طول عمر مفید اجزا و قطعات به گونه‌ی قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد [۲]. برای کاهش خوردگی و واکنش‌های مضر در کاشت‌های مورد استفاده در ارتوپدی، پوششی ترکیبی از سیلیکا که شامل هیدروکسی آپاتیت، شیشه‌ی زیست فعال^۷ و شیشه- ذرات سرامیکی است، آماده شد و روی فولاد ضد زنگ آستنیتی به روش سل- ژل اعمال گردید [۳]. رشد بافت‌های بیولوژیکی بر روی کاشت‌هایی که خلل و فرج زیاد بر روی سطح دارند،

بسیار عالی است [۴]. در واقع، ویژگی‌های سطح و جذب سطحی پروتئین یا مواد میان بافتی^۸ که در نزدیکی سطح هستند، بر روی واکنش بین کاشت‌ها و بافت‌های زنده که در مقیاس نانومتری هستند، تاثیر می‌گذارند [۵]. در پژوهشی دیگر فصل مشترک بین پوشش‌های پلاسمای اسپری شده بر روی تیتانیوم (که به وسیله‌ی عملیات قلیایی کردن بهبود یافته‌اند) و استخوان مطالعه شده است [۶]. وجود خلل و فرج روی سطح کاشت‌های قلیایی شده بهبود یافته منجر به افزایش تشکیل استخوان جدید روی سطح می‌شود که با سرعت زیاد در خلل و فرج‌ها رشد می‌کند. آنالیز طیف سنجی پراکنش انرژی، اثر تیتانیوم، کلسیم و فسفر را نشان می‌دهد که در فصل مشترک بین استخوان و کاشت‌ها دیده شده‌اند [۶].

هم‌چنین، برای بهبود ویژگی‌ها از فرآیندهای نیتروکربوریزه کردن الکترولیتی پلاسمایی^۹ استفاده می‌شود. این روش از عملیات‌های الکتروشیمیایی است که یک لایه‌ی نیتروژن و کربن با عملکرد چسبندگی بین سطحی^{۱۰} و ویژگی‌های مکانیکی بهینه، بوجود می‌آورد [۷]. پژوهش‌های بسیاری در مورد انواع روش‌های الکترولیتی پلاسمایی به وسیله‌ی یروخین و همکارانش انجام گرفته است [۸] که شامل اکسیداسیون الکترولیتی پلاسمایی^{۱۱} با پالس جریان متناوب روی آلومینیوم، بمنظور ایجاد یک لایه‌ی سطحی چسبناک، سخت و ضخیم و هم‌چنین، اشباع سازی الکترولیتی پلاسمایی^{۱۲} با استفاده از انواع گوناگون روش‌های کربوریزه^{۱۳} و نیتروزه کردن^{۱۴} بمنظور ایجاد لایه‌های مقاوم به خوردگی با ویژگی‌های مکانیکی خوب می‌باشد. ریخت شناسی سطحی، زبری، ریزساختار و دیگر ویژگی‌های فولادی که تحت این روش قرار گرفته نیز به وسیله‌ی یروخین و همکارانش بررسی شده است [۹]. ترکیب شیمیایی الکترولیت نقشی مهم در نوع و مقدار عناصر آلیاژی مثل کربن، اکسیژن، نیتروژن، بور، ولتاژ اعمالی، دمای نهایی

⁸ - Extracellular Matrices

⁹ -PEN/C

¹⁰ - Interfacial Adhesion

¹¹ - PEO

¹² - PES

¹³ - PEC

¹⁴ -PEN

¹ -Hip Prosthesis

² - Screws

³ -Fixation Plates

⁴ -Pitting

⁵ - Biocompatibility

⁶ - Bone Bonding

⁷ - Bioactive Glass

روش کار

نمونه‌ها، با قطر ۲ و طول ۴۰ میلی متر از فولاد ضد زنگ آستینیتی، با ترکیب آورده شده در جدول ۱، آماده شد و به وسیله‌ی پولیش زدن، ناخالصی‌های سطحی آن پاک گردید سپس با آب مقطر و الکل شسته و خشک شد. محلول پایه‌ی اوره‌ای با ترکیب شیمیایی که در جدول ۲ موجود است، در یک بشر ۲ لیتری آماده شد. یک پوسته‌ی استوانه‌ای از جنس فولاد ضد زنگ با قطر داخلی ۱۵ سانتیمتر درون این بشر قرار گرفت و به پایانه‌ی مثبت یک منبع تغذیه‌ی برق جریان مستقیم به عنوان آند متصل شد. سپس نمونه به عنوان کاتد درون محلول قرار گرفت. ولتاژ اعمال گردید و رفته رفته از کمترین مقدار ممکن تا ۱۵۰ ولت افزایش داده شد. در طی این فرایند، یک جریان بیشینه‌ی ۱۸ آمپر در ولتاژ ۸۰ ولت بدست آمد. همان گونه که انتظار می‌رفت، آزاد شدن گاز و ایجاد شعله در مراحل اولیه‌ی افزایش ولتاژ مشاهده شد. هنگامی که ولتاژ به ۸۰ ولت رسید، یک بسته‌ی پلاسمای پیوسته شکل گرفت و جریان تقریباً به ۵ آمپر کاهش یافت. با افزایش ولتاژ تا ۱۵۰ ولت، بسته‌ی پلاسمای پایدار شد و با یک نور آبی تیره شروع به درخشش کرد. از یک ترموکوپل نوع k برای اندازه‌گیری دما استفاده شد و در نتیجه، 400°C بدست آمد. نمونه به مدت ۱۰ دقیقه تحت عملیات قرار گرفت و سپس کونچ شد و در آب شسته شد. سپس سطح نمونه و ترکیبات آن به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی^۳ و آنالیز پراکنش انرژی اشعه‌ی ایکس^۴ و تفرق اشعه‌ی ایکس^۵ مورد مطالعه قرار گرفت.

پس از پوشش دهی، پین‌ها درون اتوکلاو استریلیزه شدند. سپس برای بررسی فصل مشترک بین نمونه‌ها و بافت زنده و زیست سازگاری پین‌ها، نمونه‌ها به وسیله‌ی جراحی درون مدولای استخوان درشت نی خرگوش به مدت ۶ هفته قرار گرفتند. بمنظور بررسی ترمیم استخوان در اثر شکستگی شیاری عرضی، به وسیله‌ی اره‌ی برقی کوچکی روی استخوان ایجاد شد. برای مطالعه‌ی دقیق‌تر دو گروه خرگوش انتخاب گردید که به دو گروه پنج تایی

بدست آمده و هم‌چنین خواص نمونه دارد [۸]. برم دهی^۱ الکترولیتی پلاسمایی، بمنظور بهبود سختی سطحی روی فولاد ضد زنگ انجام شده است [۱۰]. تاثیر ولتاژ بر اشباع سازی الکترولیتی پلاسمایی نیز بررسی شده است [۱۱]. کربوریزه کردن پلاسمایی در مورد آلیاژهای تیتانیوم برای بررسی ریخت شناسی سطحی، ریزساختار، زبری، تنش فشاری به جای مانده، کار سختی، ریز سختی و هم‌چنین، بمنظور بهبود مقاومت به خستگی و سایش آلیاژهای تیتانیوم انجام شده است [۱۲]. کربوریزه کردن الکترولیتی پلاسمایی پالسی برای بمباران اتم‌های کربن روی سطوح آلومینیومی بکار رفته است [۱۳]. روی هم رفته، روش‌های الکترولیتی یک ساختار سطحی استثنایی بوجود می‌آورند که به دلیل مکانیزم‌هاست. با اعمال ولتاژی که به آرامی در حال افزایش است، ابتدا شدت جریان افزایش می‌یابد، سپس هنگامی که بسته‌ی^۲ پلاسمایی یکنواخت در اطراف کاتد تشکیل شد، شدت جریان کاهش می‌یابد. این محیط میانی که از گازهای یونیزه شده تشکیل شده‌اند، جرقه‌های الکتریکی تولید می‌کند. یک لایه‌ی بسیار نازک و مقاوم به خوردگی در مدت زمان کمی (معمولاً چندین دقیقه) روی فولاد شکل می‌گیرد [۴]. یکی از فراسنج‌های مهم در روش‌های الکترولیتی پلاسمایی ولتاژ اعمالی است. در چندین پژوهش، ولتاژهای اعمالی متفاوتی بکار گرفته شده است. برای مثال، ۱۶۰-۲۳۰ ولت [۷]، ۷۵-۱۷۵ ولت [۸]، ۱۲۰ ولت [۹]، ۶۰۰ ولت [۱۰]، ۵۰۰-۷۰۰ ولت کاتدی ۲۰۰-۴۰۰ ولت آندی [۱۱]، ۲۳۰ و ۲۵۰ ولت [۱۴] و ۱۸۰ ولت [۱۵] گزارش شده‌اند.

در این پژوهش، پوشش دهی لایه‌ی نیتروکربوره به روش الکترولیتی پلاسمایی در مورد فولاد ضد زنگ آستینیتی و ریخت شناسی سطح نمونه‌ها بررسی شد. هم‌چنین، با قرار دادن این نمونه‌ها در بدن خرگوش زیست سازگاری و رشد بافت زنده بر روی آن‌ها نیز مطالعه گردید.

³- SEM

⁴-EDX analysis

⁵-XRD analysis

¹- Boronising

²- Envelope

شکل ۴ نشان داده شده است. در شکل (۴-a) نمونه‌ی بدون پوشش و در شکل (۴-b) و شکل (۴-c) نواحی گوناگون نمونه‌ی نیتروکربوره شده است. همان گونه که در عکس‌های میکروسکوپ الکترونی (شکل ۱ و ۴) مشاهده می‌شود، با مقایسه‌ی ریخت شناسی سطح پین‌ها پیش و پس از قرارگیری در بدن خرگوش، لایه‌ای روی سطح پین‌ها تشکیل شده است. پلاسمای متمرکز بوجود آمده با سطح پین واکنش می‌دهد و ویژگی‌های سطح این نمونه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ترکیب‌های پلاسما و ذوب شدن موضعی لایه‌ی سطحی منجر به تشکیل گودال‌های کوچک^۲ و کره‌هایی^۳ می‌شود [۱۵]. لایه‌ای که روی نمونه پوشش داده شده وجود دارد، یکنواخت است، ولی روی پین بدون پوشش بافت‌های تشکیل شده بسیار کم و نایک‌نواخت است، هم‌چنین، روی نمونه‌ی بدون پوشش خوردگی حفره‌ای دیده می‌شود. در حقیقت، این لایه‌ی یکنواخت به دلیل وجود این پستی و بلندی‌ها می‌باشد. این‌ها مکانی برای رشد بافت‌های نرم و هم‌چنین، استخوانی می‌شوند [۶]. در شکل ۵ آنالیز پراکنش انرژی اشعه‌ی ایکس مقادیر قابل ملاحظه‌ای از فسفر و کلسیم را نشان می‌دهد که بیانگر ترکیبات لایه‌ی بافتی می‌باشد. هم‌چنین، آنالیز خطی پراکنش انرژی اشعه‌ی ایکس (شکل ۶) نشانگر توزیع نایک‌نواخت این عناصر روی سطح است، تقریباً توزیع این دو عنصر با یک روند می‌باشد، هم‌چنین، توزیع عناصر دیگری مانند نیتروژن، کربن و آهن نیز دیده می‌شود [۶].

نتیجه گیری

افزودن کلرید آمونیوم بیش‌تر به حمام، باعث کاهش بیش‌تر در ولتاژ از ولت ۱۸۰ به ولت ۱۵۰، بدون کاهش در دمای موضعی بدست آمده شد. هم‌چنین، در مورد نمونه‌ی نیتروکربوره، به دلیل وجود ناهمواری‌های روی سطح در مقایسه با فولاد ضد زنگ آستنیتی، براحتی بافت رشد می‌کند و لایه‌ای نسبتاً یکنواخت تشکیل می‌دهد. این لایه شامل عناصری مانند کلسیم، فسفر، نیتروژن، کربن و آهن می‌باشد که توزیعی نایک‌نواخت دارند. در نهایت، می‌توان

تقسیم شدند. یک گروه به عنوان نمونه‌های کنترل و یک گروه شامل نمونه‌های نیتروکربوره بود. پس از پایان شش هفته، پین‌ها از بدن خرگوش‌ها خارج و سطح آن‌ها به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه قرار گرفت. هم‌چنین، ترکیبات تشکیل شده‌ی روی سطح به وسیله‌ی آنالیز پراکنش انرژی اشعه‌ی ایکس بررسی شدند.

نتایج

شکل (۱-a) ریخت شناسی سطح و شکل (۱-b) ریخت شناسی سطح مقطع نمونه‌ی پوشش داده شده را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار کافی کلرید آمونیوم و کربنات سدیم، ساختار سطحی منحصر به فردی تشکیل می‌شود که می‌تواند به دلیل تشکیل پلاسما و ذوب موضعی سطح فلز و در ادامه، سریع سرد کردن باشد [۸]. مقدار اضافی کلرید آمونیوم که به حمام اضافه شده است، در مقایسه با پژوهش پیشین [۱۵]، باعث کاهش ۳۰ ولت در ولتاژ اعمالی می‌شود. همان گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود، لایه‌ی بیرونی پوشش حاوی اکسیدهای کروم و آهن است، با اندازه‌ی ضخامت ۲۰ میکرومتر که در شکل ۱ دیده می‌شود. هم‌چنین، نمودار آنالیز XRD نشان دهنده‌ی وجود Fe_2C و Fe_2N است که همان آستنیت گسترده^۱ است. وجود اکسیدهای آهن و کروم باعث ایجاد سختی سطحی زیاد می‌شوند. نتایج مشابه به وسیله‌ی ایکس. نای و همکاران گزارش شده است [۱۴]. آنالیز EDX در شکل ۳ نشان می‌دهد که عنصر اصلی در لایه‌ی سطحی کروم است. در حالی که نیتريد کروم در لایه‌ی سطحی دیده نمی‌شود. این ممکن است به این دلیل باشد که دمای سطح نمونه کم‌تر از $450^{\circ}C$ بوده که این دمای بحرانی برای رسوب نیتريد کروم می‌باشد. سریع سرد کردن نمونه پس از عملیات پوشش دهی از نفوذ کربن و نیتروژن برای تشکیل رسوب به صورت نیتريد و کاربید در مرز دانه‌ها، جلوگیری می‌کند و آن‌ها را به صورت محلول جامد نگه می‌دارد [۱۴]. وجود نداشتن نیتريد کروم منجر به بهبود خواص سایشی می‌شود [۱۶].

ریخت‌شناسی سطح پین نیتروکربوره شده و پین بدون پوشش پس از بیرون آوردن از درون بدن خرگوش، در

2 - Microcraters

3 - Spheroids

1 - Expanded Austenite

قدردانی می‌کنند. همچنین، از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز و دانشکده‌ی مهندسی که هزینه‌های این پروژه را از راه گرانته 89-GR-ENG-62 به دکتر بحرالعلوم و گرانته 89-GR-ENG-8 به دکتر شریعت پرداخت نمودند، قدردانی می‌شود.

منابع

- 1- A. Shahryari., S. Omanovic., and J. A. Szpunar., "Electrochemical formation of highly pitting resistant passive films on a biomedical grade 316LVM" *Materials Science and Engineering C*, Vol. 28, pp. 94–106, 2008.
- 2- H. Liang., B. Shi., A. Fairchild., and T. Cale., "Applications of plasma coatings in artificial joints: an overview", *Journal of Vacuum*, Vol. 73, pp. 317–326, 2004.
- 3- C. Garcí'a., S. Cere'., A. Dura'n., "Bioactive coatings prepared by sol-gel on stainless steel 316L", *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 348, pp. 218–224, 2004.
- 4- Amit Bandyopadhyay, Felix Espana, Vamsi Krishna Balla, Susmita Bose, Yusuke Ohgami, Neal M. Davie, "Influence of porosity on mechanical properties and in vivo response of Ti6Al4V implants", *Acta Biomaterialia*, Vol. 6, pp. 1640–1648, 2010.
- 5- Y. Oshida., *Bioscience., and Bioengineering of Titanium Materials*, 1st edition, Chapter 8, p. 217-245, Elsevier, Oxford, 2007.
- 6- W. Xue., X. Liu., X. Zheng., Ch. Ding., "In vivo evaluation of plasma-sprayed titanium coating after alkali modification", *Biomaterials*, Vol. 26, 3029–3037, 2005.
- 7- A. L. Yerokhin., A. Leyland., C. Tsotsos., A. D. Wilson., X. Nie., and A. Matthews., "Duplex surface treatments combining plasma electrolytic nitrocarburising and plasma-immersion ion-assisted deposition", *Surface and Coating Technology*, Vol. 142–144, pp. 1129–1136, 2001.
- 8- A. L. Yerokhin., X. Nie., A. Leyland., A. Matthews., and S. J. Dowey., "Plasma Electrolysis for surface engineering ", *Surface and Coating Technology*, Vol. 122, pp. 73–93, 1999.
- 9- P. Gupta., G. Tenhundfeld., E.O. Daigle., D. Ryabkov., "Electrolytic plasma technology:

به این نتیجه رسید که پوشش‌های نیتروکربوره باعث افزایش رشد بافت روی سطح و زیست سازگاری می‌شوند.

قدردانی

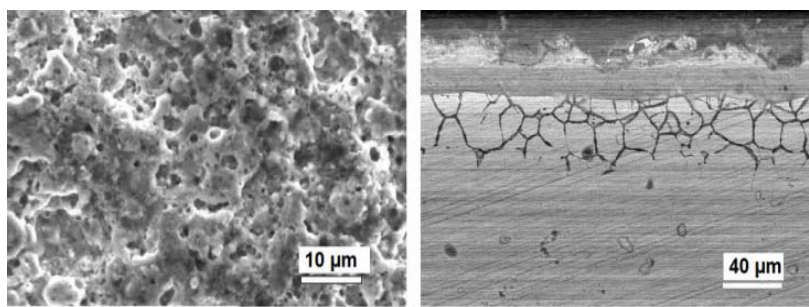
در نهایت، نویسندگان این مقاله از مسئولان آزمایشگاه بخش مهندسی مواد و گروه جراحی دانشکده‌ی دامپزشکی که مسئولیت جراحی خرگوش‌ها را بر عهده داشتند،

- Science and engineering—An overview", *Journal of Surface and Coating Technology*, Vol. 201, pp. 8746–8760, 2007.
- 10- M.A. Béjar., R. Henriquez., "Surface hardening of steel by plasma-electrolysis boronizing", *Journal of Material and Design*, Vol. 30, pp. 1726–1728, 2009.
 - 11- M. Aliofkhaezaei., A. Sabour Rouhaghdam., A. Heydarzadeh., and H. Elmkhaha., "Nanostructured layer formed on CP-Ti by plasma electrolysis (effect of voltage and duty cycle of cathodic/anodic direction)", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 113, pp. 607–612, 2009.
 - 12- N. Tsuji., S. Tanaka., and T. Takasugi., "Effects of combined plasma-carburizing and shot-peening on fatigue and wear properties of Ti–6Al–4V alloy", *Surface and Coating Technology*, Vol. 203, pp. 1400–1405, 2009.
 - 13- M. Aliofkhaezaei., C. Morillo., R. Miresmaeili., and A. Sabour Rouhaghdam., "Carburizing of low-melting-point metals by pulsed nanocrystalline plasma electrolytic carburizing", *Surface and Coating Technology*, Vol. 202, pp. 5493–5496, 2008.
 - 14- X. Nie., C. Tsotsos., A. Wilson., A.L. Yerokhin., A. Leyland., and A. Matthews., "Characteristics of a plasma electrolytic nitrocarburising treatment for stainless steels", *Surface and Coating Technology*, Vol. 139-142, pp. 135-142, 2001.
 - 15- F. Mahzoon., M. E. Bahrololoom., and S. Javadpour., "Optimization of a novel bath for plasma electrolytic nitrocarburizing of 316L stainless steel and study of tribological properties of the treated steel surfaces", *Surface Engineering*, Vol. 25 (8), pp. 628-633, 2009.
 - 16- G. Jiang., Quian Peng., Cong Li., Ying Wang., Jian Gao., Shu Yuan Chen., Jun

Wang., Bao-luo Shen., "Effect of DC plasma nitriding temperature on microstructure and dry-sliding wear

properties of 316L stainless steel", Surface and Coating Technology, Vol. 202, pp. 2749-2754, 2008.

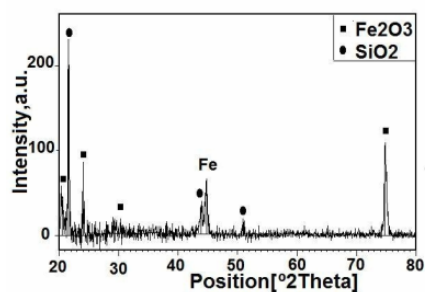
پیوست‌ها



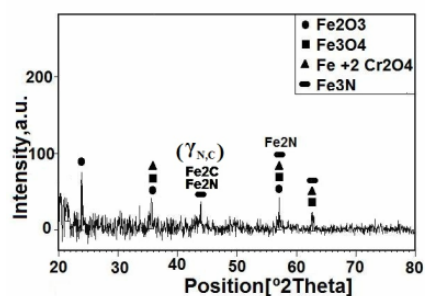
(1 - a)

(1 - b)

شکل ۱- a- ریخت‌شناسی سطح نمونه‌ی نیتروکربور شده، b: ریز ساختار سطح



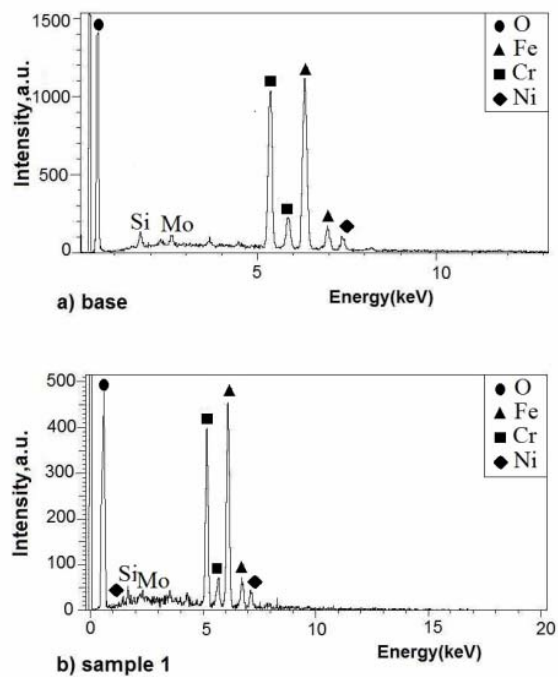
a) base



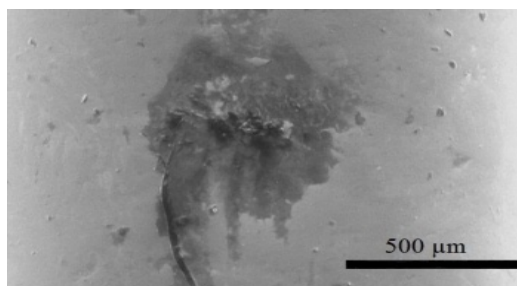
b) sample 1

مقطع.

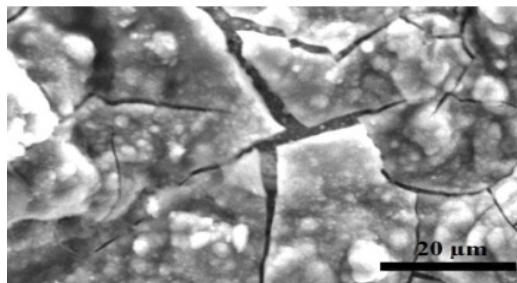
شکل ۲- طیف‌های XRD، a: نمونه‌ی بدون پوشش، b: نمونه‌ی نیتروکربور شده.



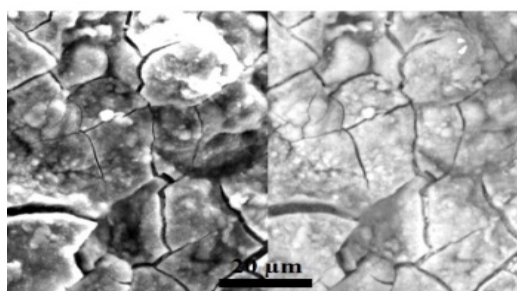
شکل ۳- طیف‌های EDX، a: نمونه‌ی بدون پوشش، b: نمونه‌ی نیتروکربور شده.



(4 - a)

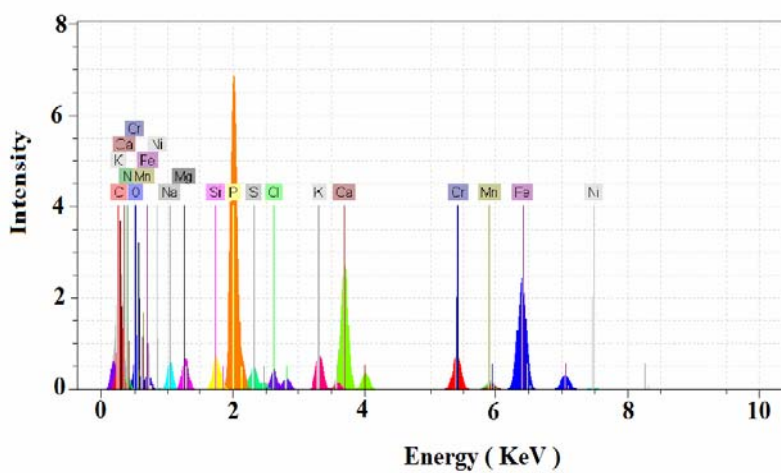


(4 - b)

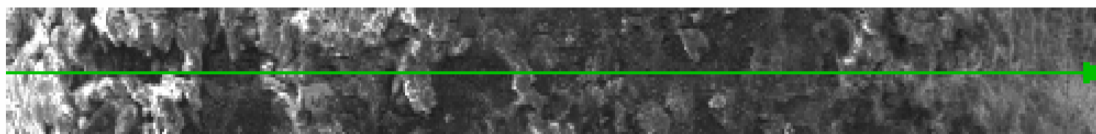
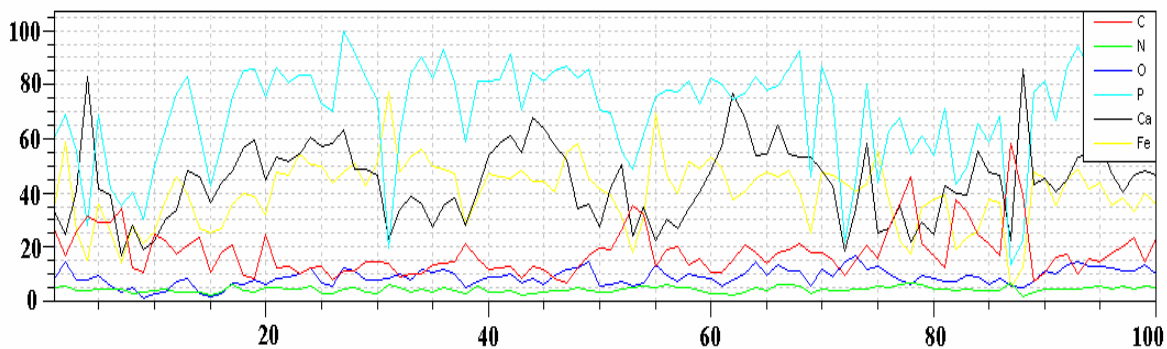


(4 - c)

شکل ۴- ریخت شناسی سطح پس از بیرون آوردن از بدن خرگوش، a: نمونه‌ی بدون پوشش، b و c: نمونه‌ی نیتروکربور شده.



شکل ۵- طیف EDX، نمونه‌ی پوشش داده شده پس از بیرون آوردن از بدن خرگوش.



شکل ۶- طیف روبش خطی EDX، نمونه‌ی پوشش داده شده پس از بیرون آوردن از بدن خرگوش.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد ضد زنگ 316L

عنصر	فسفر	سیلیسیم	گوگرد	منگنز	مولیبدن	نیکل	کروم	کربن	آهن
درصد وزنی	<0/045	<1	<0/03	<2	3-2	14-10	18-16	<0/03	بقیه

جدول ۲- ترکیب شیمیایی حمام

نمونه	گلیسرین (درصد وزنی)	کلرید آمونیوم (درصد وزنی)	کربنات سدیم (درصد وزنی)	آب (درصد وزنی)	اوره
۱	۳	۱۰	۳	۷	بقیه

