AMNC
available online @ amnc.ir
نشریه علمی پژوهشی مواد پیشرفته و پوشش‌های نوین- ۲۰ (۱۳۹۶) ۱۴۱۳- ۱۴۰۷

پوشش دهی نانو ذرات هیدروکسی آپاتیت بر روی زیرلایه آلیاژتیتانیوم به روش پلاسما اسپری

سعید صابر سمندری[1*]

۱ استادیار، پژوهشکده فناوریهای نو، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش ذرات پودری هیدروکسی آپاتیت بر روی زیرلایه آلیاژ تیتانیوم پوشش داده شد. روش پلاسما اسپری به علت ایجاد پوشش با خواص مکانیکی مناسب، کاربرد آسان و هزینه پایین‌تر، روش تجاری پوشش دهی هیدروکسی آپاتیت بر روی زیرلایه فلزی کاشتنی است. مشکل پوشش هیدروکسی آپاتیت تهیه‌شده به روش پلاسما اسپری، تجزیه هیدروکسی آپاتیت، تشکیل سایر فازهای کلسیم فسفاتی، چسبندگی ضعیف به زیر لایه و ایجاد میکرو ترک در پوشش به علت تنش‌های پسماند ناشی از دمای بالای فرایند است. به‌منظور بهبود خواص هیدروکسی آپاتیت، آلیاژ تیتانیوم پیش گرم شده و سپس پوشش هیدروکسی آپاتیت بر روی آن اعمال شد. نتایج نشان داد با پیش گرم کردن زیرلایه تنش‌های پسماند در فصل مشترک کاهش یافت و چسبندگی نیز بهبود یافت.

واژگان کلیدی

هیدروکسی آپاتیت، آلیاژ تیتانیوم پوشش دهی پلاسما اسپری، پیش گرم کردن زیر لایه، عملیات حرارتی

تاریخ دریافت:
۹۵/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش:
۹۵/۱۰/۱۸

عهده دار مکاتبات: saeedss@aut.ac.ir

۱) مقدمه

امروزه پیشرفت‌های چشمگیری در زمینه مواد زیستی صورت گرفته است. پیشرفت‌ها در ترکیب مواد، تکنیک‌های جراحی و روش‌های استریلیزه کردن، امکان استفاده مواد زیستی را در بسیاری از روش‌ها فراهم کرده است. امروزه عمل‌های پزشکی از تعداد وسیعی از دستگاه‌ها و کاشتنی‌ها استفاده می کنند. مواد زیستی در دو نوع کاشتنی و وسایل پزشکی هستند که به‌منظور جایگزینی یا بازسازی بافت‌ها و اعضاء و کمک به بهبود و عملکرد بیمار به کار می روند. با افزایش شاخص امید به زندگی در قرن‌ها پیش تا به امروز، تقاضا و نیاز به مواد زیستی افزایش یافته است.

مواد زیستی می‌بایست در محیط زیستی حساس و لحظه‌ای بدن مقاوم باشند. محققان کلمات مواد زیستی و زیست سازگاری را برای نشان دادن عملکرد زیستی مواد ابداع کردند. موادی که زیست سازگار هستند مواد زیستی نامیده می شوند و زیست سازگاری مفهوم سازگاری یا هماهنگی مواد زیستی با سیستم زنده را می رساند. زیست سازگاری در دو سطح بررسی می‌شود: زیست سازگاری سطحی و زیست سازگاری ساختاری. تقابل مطلوب بین مواد زیستی و بافت میزبان زمانی حاصل می شود که هم سازگاری سطحی و هم سازگاری ساختاری وجود داشته باشد. آزمایش‌های بالینی به‌وضوح نشان می دهند تمام موادی که به طورمعمول در مهندسی مواد استفاده می شوند، برای کاربردهای پزشکی مناسب نیستند. مواد دارای کاربردهای پزشکی در گروه‌های مختلفی از مواد جای می‌گیرند. بسیاری از فلزات به‌منظور جایگزینی بافت سخت مانند کاشتنی‌های استخوانی و دندانی به علت خواص مکانیکی مناسب و مقاومت به خوردگی استفاده می شوند؛ البته باید به این نکته اشاره کرد که یون‌های خروجی از بسیاری از فلزاتی که برای ساخت آلیاژ به‌منظور تولید کاشتنی استفاده می شوند؛ فقط در مقادیر کم توسط بدن تحمل می شوند. به همین علت زیست سازگاری کاشتنی‌های فلزی یک نگرانی قابل‌ملاحظه است; زیرا این کاشتنی‌ها در محیط زنده دچار خوردگی می‌شوند. نتیجه این خوردگی، تخریب خود به خودی ماده کاشتنی است که کاشتنی را ضعیف خواهد کرد و همچنین تاثیر مضری است که محصولات خوردگی روی بافت و اندام های اطراف می گذارد. از آلیاژهای تیتانیم که به‌طور وسیع در ساخت کاشتنی استفاده می شود آلیاژ تیتانیوم است. کاشتنی تیتانیمی به علت تشکیل لایه اکسیدی روئین بر روی سطح خود از وارد شدن محصولات خوردگی به بافت‌های اطراف جلوگیری می کند. این لایه اکسیدی خواص زیست شیمیایی مناسبی نیز دارد.

سرامیک‌های زیستی نیز می توانند برای اتصال یا جایگزینی قسمت‌های مختلف بدن به‌خصوص استخوان مورد استفاده قرار گیرند. هیدروکسی آپاتیت از نوع سرامیک‌های زیستی کلسیم فسفاتی است. از کاربردهای مهم هیدروکسی آپاتیت پوشش دهی کاشتنی‌های فلزی است. در حین فرایند کاشت در بافت میزبان، سرامیک‌های سطح واکنشی، پیوندهای قوی با بافت‌های مجاور تشکیل می دهند. این پوشش، پیوند محکم‌تری با بافت اطراف برقرار می کند که برای کاشتنی بسیار حائز اهمیت است. هیدروکسی آپاتیت زیست سازگاری بسیار خوبی دارد و پیوند شیمیایی مستقیمی با بافت سخت برقرار می کند. استخوان طبیعی ماده‌ای کامپوزیتی است که شامل هیدروکسی آپاتیت و کلاژن است. کانال‌های باز ساختار هیدروکسی آپاتیت قادرند سایر یون‌ها را با جایگزینی کاتیون‌ها و آنیون‌ها و بدون اعوجاج زیاد در شبکه، ترکیب کنند. این قابلیت تغییر ترکیبی هیدروکسی آپاتیت سبب زیست سازگاری و استخوان‌سازی می شود. به علت دارا بودن نوع ساختار و ترکیب نزدیک به آپاتیت تشکیل‌دهنده استخوان، هیدروکسی آپاتیت به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان پوشش‌های پزشکی، اغلب برای کاشتنی‌های ریشه دندان و استخوان ران، مورداستفاده قرار می گیرد [۱-۵].

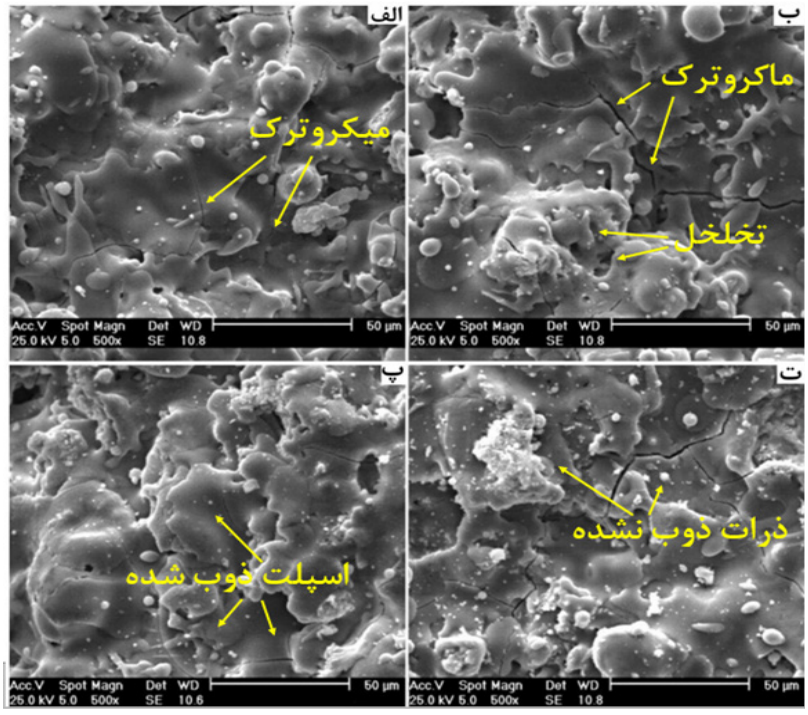
به‌منظور بهره‌گیری از خواص مکانیکی آلیاژ تیتانیم و خواص زیستی هیدروکسی آپاتیت بهترین راه، استفاده از کاشتنی با سیستمی متشکل از زیرلایه تیتانیمی و پوشش هیدروکسی آپاتیت است. سیستم مورد نظر باید پایداری زیستی کافی در مایعات بدن و نیز استحکام مکانیکی کافی برای تحمل تنش‌های وارده را داشته باشد. از دیگر ویژگی‌های موردنیاز، تطابق نظم بلوری پوشش با بافت استخوانی و نیز دارا بودن استحکام مناسب فصل مشترک هیدروکسی آپاتیت-تیتانیم است. تاکنون روش‌های بسیاری برای پوشش دهی هیدروکسی آپاتیت بر روی آلیاژ تیتانیم مورداستفاده قرارگرفته است. روش پلاسما اسپری متداول‌ترین روش پوشش دهی کاشتنی‌های فلزی است. در این پروژه به منظور رفع معایب روش پلاسما اسپری از دو عملیات حرارتی (پیش‌گرمایش زیرلایه و عملیات حرارتی پس از پوشش دهی) استفاده شد.

۲) بخش تجربی

۲) ۱) مواد و تجهیزات

به منظور ایجاد پوشش هیدروکسی آپاتیت، پودر هیدروکسی آپاتیت از شرکت شیمیایی هلندی کام ایمپلنت خریداری و سپس الک شد. توزیع اندازه ذرات در محدوده ۳۰۰ نانومتر تا ۳۰ میکرومتر قرار گرفت. ۴ نمونه به‌صورت مکعب مستطیل‌هایی با ابعاد ۲×۰/۲×۰/۷ سانتی‌متر از جنس آلیاژ تیتانیوم برش زده شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، سطح زیر لایه توسط پولیش نیمه اتوماتیک با استفاده از صفحاتی از جنس کاربید سیلیسیوم با شماره ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۲۵۰۰ پولیش شد و سپس سطوح صاف حاصل به‌منظور پاک کردن هرگونه آلودگی باقی‌مانده، در حمام اولتراسونیک با استفاده از ایزوپروپیل الکل، قرارداده شدند. سپس نمونه‌ها توسط پلاسما اسپری با پوشش هیدروکسی آپاتیت پوشش داده شدند و پس از آن در مانت گرم در دمای ۱۸۰ درجه سانتی گراد قرارداده شدند. شرایط نگهداری و جابجایی نمونه‌ها به‌گونه‌ای رعایت شد که پوشش ایجاد شده کمترین تماس با دست و ضربه را داشته باشد؛ این مسئله در مورد آزمایش نانو سختی سنجی بسیار حساس است. بدین منظور نمونه‌ها در محیطی با رعایت جلوگیری از ایجاد تنش و ضربه نگه‌داری شدند. از چهار نوع نمونه موجود، دو نمونه در دمای اتاق یعنی ۲۵ درجه سانتی گراد پوشش بر روی آن‌ها اعمال شد (نمونه های RT) و دو نمونه با استفاده از کوره با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه بر دقیقه تا دمای ۳۰۰ درجه حرارت داده شدند (نمونه های ۳۰۰) و بلا فاصله پوشش توسط پلاسما اسپری بر روی آن‌ها اعمال شد.

پوشش دهی با استفاده از دستگاه پلاسما اسپری مدل اس-جی-۱۰۰ساخت کشور آمریکا صورت گرفت. پلاسما اسپری با پلاسمای گازهای خنثی آرگون و هلیم به ترتیب با نرخ جریان ۳۰ و ۲۲ لیتر بر دقیقه و گاز حمل‌کننده آرگون با نرخ جریان ۱۰ لیتر بر دقیقه اعمال شد. فاصله ذرات خارج شده از پلاسما اسپری تا سطح زیرلایه ۱۲ سانتی‌متر و نرخ تغذیه پودر ۱۰ گرم بر دقیقه بود. از نمونه‌های دارای دمای زیرلایه ۲۵ درجه یک نمونه و از نمونه‌های دارای دمای زیرلایه ۳۰۰ درجه یک نمونه، با استفاده از کوره با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه بر دقیقه تا دمای ۷۰۰ درجه حرارت داده شدند، به مدت ۳۰ دقیقه در این دما قرار گرفتند و سپس با نرخ حرارت دهی ۱۰ درجه بر دقیقه تا دمای محیط سرد شدند (نمونه های RT-HT و ۳۰۰-HT). در این پژوهش از آزمایش نانو سختی سنجی برای تعیین سختی و مدول الاستیک پوشش هیدروکسی آپاتیت استفاده شد. از دستگاه آزمایش نانو سختی سنجی، آزمایشگاه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان، ساخت شرکت سی-اس-ام سویس با فروروندہ برکوویچ استفاده شد. جهت مشاهده مورفولوژی پوشش ایجاد شده بر روی نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس ایکس-ال-۳۰ با ولتاژ ۲۵ کیلو ولت استفاده شد. به‌منظور آماده‌سازی سطح موردبررسی نمونه‌ها در میکروسکوپ الکترونی روبشی، با استفاده از دستگاه پوشش‌دهنده کند و پاشی مدل بال-تک و با جریان ۶۹ میلی‌آمپر به مدت حدود ۶۰ ثانیه، ضخامتی از طلا در حدود ۳ نانومتر لایه نشانی شد.



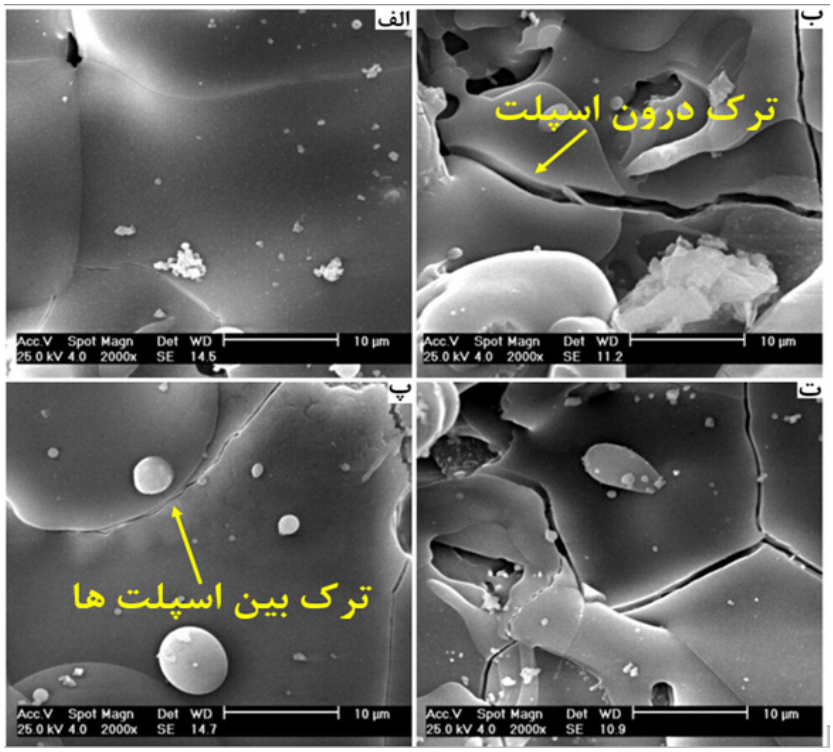
شکل ۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش هیدروکسی آپاتیت بزرگنمایی ۵۰۰ برابر. شکل الف مربوط به نمونه RT-RT، شکل ب مربوط به نمونه RT-HT، شکل پ مربوط به نمونه ۳۰۰-RT و شکل ت مربوط به نمونه ۳۰۰-HT است.

۳) نتایج و بحث

با استفاده از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی مورفولوژی پوشش هیدروکسی آپاتیت نمونه‌های مورد آزمایش و بررسی گردید. در شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی مربوط به بزرگنمایی ۵۰۰ برابر از سطح پوشش نشان داده شده است. شکل الف مربوط به نمونه RT-RT، شکل ب مربوط به نمونه RT-HT، شکل پوشش دهی مربوط به نمونه RT-۳۰۰ و شکل ت مربوط به نمونه HT-۳۰۰ است.

شکل ۱ با بزرگنمایی ۵۰۰ برابر تصویر کلی‌تری از پوشش هیدروکسی آپاتیت را نشان می‌دهد. در این شکل، اسپلت ها، ذرات ذوب نشده، تخلخل و ترک با پیکان مشخص شده‌اند است. این مناطق در هر چهار نمونه وجود دارند. در تصاویر، اسپلت ها با رنگ خاکستری و ذرات ذوب نشده دارای رنگ سفید هستند؛ در شکل ۱- ت این مناطق مشخص‌شده‌اند. اغلب ذرات پودر هیدروکسی آپاتیت خروجی از پلاسما اسپری ذوب شده‌اند و در اثر برخورد با سطح زیرلایه اسپلت ها را تشکیل داده‌اند؛ این مسئله از تفاوت میزان اسپلت ها در مقایسه با میزان ذرات ذوب نشده استنتاج می‌شود.

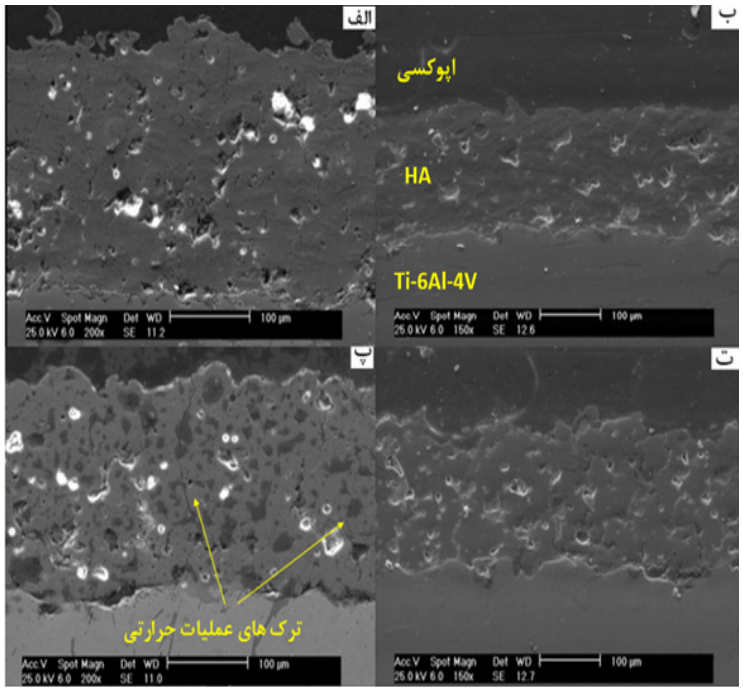
همان‌طور که تصاویر نشان می‌دهند این ذرات هم بر روی سطح پوشش و هم در درون پوشش قرارگرفته‌اند. این ذرات به علت نبود زمان کافی، در هنگام قرارگیری در شعله پلاسما ذوب نشده‌اند؛ زیرا مدت زمان قرارگیری ذرات در طی فرایند کوتاه است. اندازه ذرات ریز کروی در محدوده کمتر از یک میکرون تا حداکثر ۱۰ میکرون است و همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد اندازه پودر ذرات اولیه هیدروکسی آپاتیت حداکثر ۳۰ میکرون بود؛ بنابراین این پدیده به فاصله زمانی حرارت دهی در مشعل پلاسما تا قرارگیری بر روی سطح زیرلایه ارتباط دارد. در هنگام ذوب شدن و یا پس از آن، به علت سرعت بالای جت پلاسما، قسمت‌هایی از قطرات خروجی به تعداد بسیار زیادی قطره ریز تبدیل می‌شود؛ این قطرات ریز قبل از برخورد با زیرلایه به علت داشتن ظرفیت گرمایی کمتر (به علت داشتن جرم کمتر)، سرد و منجمد می‌شوند و قطرات بزرگ‌تر اسپلت ها را تشکیل می‌دهند. ذرات ریز ذوب نشده در سطح و در درون پوشش باقی می‌مانند. حضور این ذرات در پوشش هیدروکسی آپاتیت مطلوب نیست زیرا این ذرات به‌صورت منفرد در ساختار ظاهر می‌شوند و این علت عدم اتصال با اسپلت های تشکیل‌دهنده سبب کاهش پیوستگی ساختاری در پوشش می‌شود.



شکل ۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش هیدروکسی آپاتیت بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر. شکل الف مربوط به نمونه RT-RT، شکل ب مربوط به نمونه RT-HT، شکل پ مربوط به نمونه RT-۳۰۰ و شکل ت مربوط به نمونه HT-۳۰۰ است.

در شکل ۲ با توجه به بزرگنمایی بالاتر تصویر، میکروترک ها و ماکروترک ها بهتر مشخص‌شده‌اند. شکل ۲- ب و ۲-ت، دارای ترک‌های با ابعاد بزرگ‌تر و عمق بیشتر هستند. این ترک‌ها در پوشش‌های هیدروکسی آپاتیت وجود ندارند. در اثر عملیات حرارتی این ترک‌ها ایجاد می‌شوند. ترک‌های موجود در نمونه‌های ۲-الف و ۲-پ در مرز بین اسپلت تشکیل‌شده است. وجود این ترک‌ها در پوشش‌های اسپری حرارتی اجتناب ناپذیر است و با تغییرات شرایط پلاسما (ذوب‌شدگی بیشتر ذرات در اثر افزایش دمای پلاسما) و بهبود چسبندگی اسپلت ها می‌توان میزان آن را کاهش داد. در شکل ۲-ب و ۲-ت شاهد پیدایش ماکرو ترک‌ها هستیم. همچنین ترک‌های ریز که قبل از عملیات حرارتی در نمونه‌ها وجود داشت بزرگ‌تر و عمیق‌تر شده‌اند. تغییر ایجادشده در ترک‌ها پس از عملیات حرارتی به سبب آزاد شدن تنش پسماند موجود در پوشش است، این تنش‌ها در اثر اختلاف ضرایب انبساط حرارتی هیدروکسی آپاتیت و زیرلایه تیتانیمی به وجود آمده است. با انجام عملیات حرارتی در اثر استحاله فاز آمورف به کریستالی، این تنش‌های پسماند رهاشده منجر به رشد ترک‌ها می‌شود. در اثر رهایش تنش پسماند علاوه بر افزایش میزان اندازه میکرو ترک‌ها، با رشد میکرو ترک‌ها از مسیر اسپلت، ترک‌های درون اسپلتی نیز ایجاد می‌شود. در شکل ۲-ب این ترک‌ها مشخص‌شده‌اند.

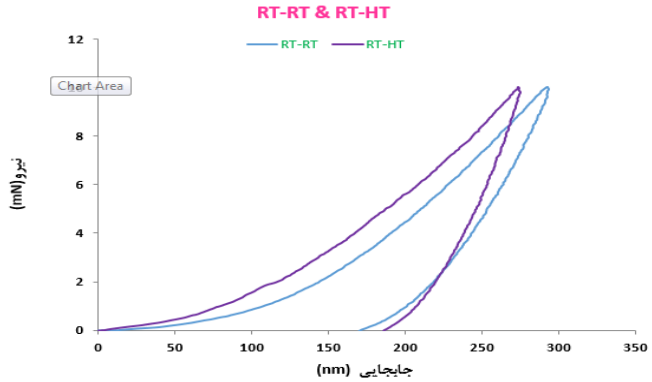
این رهایش تنش قبل از قرارگیری کاشتنی در محیط زیستی به افزایش ثبات مکانیکی و زیستی آن کمک می‌کند زیرا در صورت رهایش این تنش‌ها در محیط زیستی و ایجاد ترک در پوشش علاوه بر کاهش خواص مکانیکی پوشش، کانال‌هایی برای انتقال یون‌های آزادشده از آلیاژ تیتانیوم می‌شود که برای بدن مضر است. جهت بررسی چسبندگی پوشش هیدروکسی آپاتیت به زیرلایه تیتانیمی و تاثیر عملیات حرارتی، تصاویر سطح مقطع از نمونه‌ها گرفته شد و مورد بررسی قرار گرفت. مزیت تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع، مشاهده تغییرات در راستای ضخامت پوشش است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع نمونه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل الف مربوط به نمونه RT-RT، شکل ب مربوط به نمونه RT-۳۰۰، شکل پ مربوط به نمونه RT-HT و شکل ت مربوط به نمونه HT-۳۰۰ است. ناحیه پایین در تصاویر، زیرلایه ناحیه میانی پوشش هیدروکسی آپاتیت و ناحیه بالا مربوط به مانت نمونه‌ها است. به منظور بررسی تاثیر پیش گرم کردن زیرلایه بر روی ریزساختار، شکل ب را نسبت به شکل الف مقایسه می‌کنیم. در شکل الف نقاط ناپیوستگی زیادی در فصل مشترک پوشش زیرلایه وجود دارد. بین پوشش و زیر لایه اتصال کافی برقرار نشده است. همچنین تجمعی از تخلخل‌ها در نزدیکی فصل مشترک وجود دارد.



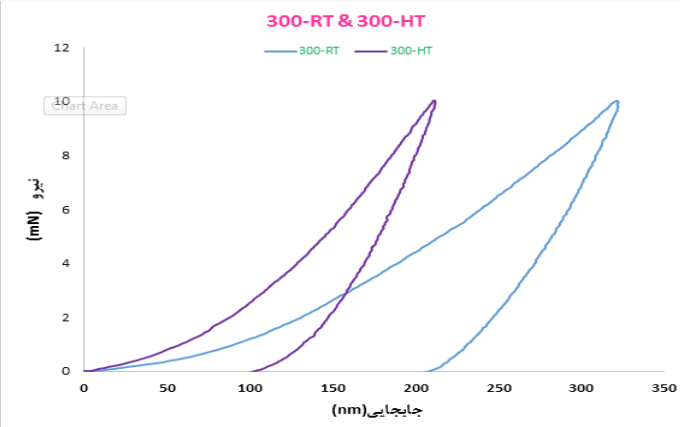
شکل ۳. شکل الف مربوط به نمونه RT-RT، شکل ب مربوط به نمونه RT-۳۰۰، شکل پ مربوط به نمونه RT-HT و شکل ت مربوط به نمونه HT-۳۰۰ است.

همان طور که در قبل درباره آن صحبت شد حضور این تخلخل‌ها در نزدیکی فصل مشترک نامطلوب است. قسمت ب تصویر مربوط به نمونه دارای دمای زیرلایه ۳۰۰ درجه است. در این حالت نقاط انفصال در پوشش کمتر از حالت الف است; همچنین میزان تخلخل‌های نزدیک به فصل مشترک کمتر از تصویر الف است. کاهش تخلخل‌های نزدیک به نقاط فصل مشترک مربوط به تاثیر پیش گرم کردن زیر لایه است که از طریق فراهم کردن نفوذ اتمی می‌تواند شرایط را برای تشکیل فاز بین فلزی تیتانیمی در نزدیکی فصل مشترک فراهم کند. در شکل ت نسبت به پ ناپیوستگی موجود در فصل مشترک کاهش یافته است. درواقع دمای زیرلایه این اجازه را به اسپلت های هیدروکسی آپاتیت می‌دهند تا با تنش حرارتی کمتری بر روی سطح قرار بگیرند و اتصال مناسب‌تری با زیرلایه ایجاد کنند. در پوشش‌های اسپری حرارتی همواره میکرو ترک‌ها حضور دارند. در شکل ۳ پ و ت که نمونه‌های عملیات حرارتی شده در دمای ۷۰۰ درجه هستند، در مقایسه با الف و ب، ماکرو ترک‌های حاصل از رهایش تنش پسماند وجود مشاهده می‌شود. این ترک‌ها به موازات ضخامت پوشش رشد می‌کنند و به سطح می‌رسند و آزاد می‌شوند.

مقایسه شکل پ با الف نشان می‌دهد پس از عملیات حرارتی در دمای ۷۰۰ درجه، تخلخل‌های موجود در پوشش کاهش‌یافته است. علاوه بر این که ابعاد این تخلخل‌ها کاهش پیدا کرده است; تمرکز و تجمع آن‌ها کم شده است و در ساختار پراکنده شده‌اند. از بین رفتن تمرکز تخلخل‌ها درنتیجه نفوذ اتم‌ها در حین حرارت اعمالی به سبب نفوذ اتم‌ها است. جهت بررسی تغییرات در اثر تکنیک‌های به‌کاررفته ابتدا تغییرات حاصل‌شده در پیش گرم کردن بر روی نمودارهای نانو سختی و سپس تغییرات نمودارها در اثر عملیات حرارتی بررسی می‌شود. نمودار نمونه RT-HT در مسیر بازگشت و کاهش نیرو، شیب بیشتری دارد، بنابراین سختی و مدول الاستیک آن بالاتر است. تفاوت این نمونه‌ها در عملیات حرارتی پس از پوشش دهی است. در شکل بعدی نمودار نیرو-جابجایی حاصل از آزمایش نانو سختی سنجی نمونه‌های HT-۳۰۰ و RT-۳۰۰ رسم شده است. در این حالت نمونه‌ها در ۳۰۰ درجه پیش گرم شدند. در این حالت نمونه HT-۳۰۰ انتقال بیشتری به سمت محور نیرو نسبت به RT-HT داشته است (جابجایی کمتری در بیشینه بار داشته است). در این حالت هم عملیات حرارتی و هم پیش گرم کردن زیرلایه به سبب کاهش تنش‌های پسماند از نوع کششی، در این افزایش میزان سختی دخالت دارند.



شکل ٤) نمودار نیرو-جابجایی حاصل از آزمایش نانو سختی سنجی نمونه‌های RT-HT و RT-RT



شکل ٥) نمودار نیرو-جابجایی حاصل از آزمایش نانو سختی سنجی نمونه‌های HT-۳۰۰ و RT-۳۰۰

به منظور بررسی تکنیک‌های اعمالی و مقایسه خواص مکانیکی ایجادشده در نمونه‌ها، سختی و مدول الاستیک نمونه‌ها در نقاط سختی سنجی شده در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۱) مدول الاستیک و سختی نمونه‌ها

نمونه	سختی (MPa)	مدول الاستیک (GPa)
RT-RT	6334.5	92.694
RT-HT	6660.7	134.07
300-RT	5265.9	81.276
300-HT	12027	164.23

در مقایسه اعداد سختی و مدول الاستیک نمونه‌ها در جدول۱، بیشترین میزان سختی متعلق به نمونه HT-۳۰۰ است. این موضوع تاثیر مثبت دو رژیم حرارتی القا شده در نمونه HT-۳۰۰ قبل و پس از عملیات حرارتی بر روی خواص مکانیکی پوشش دهی هیدروکسی آپاتیت را نشان می‌دهد.

٤) نتیجه گیری

در این تحقیق پوشش هیدروکسی آپاتیت با استفاده از روش پلاسما اسپری بر روی زیرلایه آلیاژ تیتانیوم پوشش داده شد. دمای بالای اسپلت در برخورد با زیرلایه دارای دمای پایین سبب ایجاد تنش‌های پسماند کششی در پوشش هیدروکسی آپاتیت می‌کند که سبب می‌شود استحکام چسبندگی پوشش به زیرلایه کاهش یابد و درنهایت سبب جدایش پوشش می‌شود. بدین منظور زیر لایه قبل از فرایند پوشش دهی در دمای ۳۰۰ درجه تحت حرارت دهی قرار گرفت. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد نقاط ناپیوستگی در فصل مشترک کاهش و اتصال و چسبندگی به زیرلایه بهبود یافته است. نتایج حاصل از آزمایش نانو سختی سنجی نشان داد پیش گرم کردن زیرلایه و تواما اعمال عملیات حرارتی پس از پوشش دهی، بیشترین سختی و مدول الاستیک را در نمونه ایجاد خواهد کرد.

٥) مراجع

[1] Saber-Samandari S, Gross K. Nanoindentation on the surface of thermally sprayed coatings. Surface and Coatings Technology 2009;203:3516-20.

[2] Saber-Samandari S, Gross K. Nanoindentation reveals mechanical properties within thermally sprayed hydroxyapatite coatings. Surface and Coatings Technology 2009;203:1660-4.

[3] Gross K, Saber-Samandari S. Revealing mechanical properties of a suspension plasma sprayed coating with nanoindentation. Surface and Coatings Technology 2009;203:2995-9.

[4] Gross K, Saber-Samandari S, Heeman K. Evaluation of commercial implants with nanoindentation defines future development needs for hydroxyapatite coatings. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials 2010;93:1-8.

[5] Saber-Samandari S, Gross K. Amorphous calcium phosphate offers improved crack resistance A design feature from nature. Acta Biomaterialia 2011;7:4235-41.