

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



## تأثیر عملیات حرارتی بر خواص و ترکیب فازی پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت- نیوبیوم در شرایط مختلف فرآیند پاشش پلاسمایی

امیر زمردیان<sup>۱</sup>، احسان محمدی زهرانی<sup>۲</sup>، محمد حسین فتحی<sup>۳</sup>  
دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده:

از هیدروکسی آپاتیت به عنوان پوششی برای آلیاژهای با کاربرد ارتوپدی، مثل فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ال استفاده می شود. روش پاشش پلاسمایی یکی از روش های رایج برای ایجاد پوشش هیدروکسی آپاتیت است. در این پژوهش پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت شامل زمینه هیدروکسی آپاتیت و ۲۵ درصد نیوبیوم که به صورت ذرات فیلر در آن توزیع شده بود، به صورت پوشش کامپوزیتی بر روی سطح زیرلایه فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ال با تکنیک پاشش پلاسمایی نشانده شد. تأثیر عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت زمان های انتخابی ۱/۵ و ۳ ساعت و در دو اتمسفر آرگون و محیط مرطوب بر روی فازهای موجود در پوشش و مورفولوژی پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت نیوبیوم مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی مورفولوژی پوشش توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) صورت گرفت. ترکیب فازی و بلورینگی پوشش با استفاده از تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) تعیین گردید. نتایج نشان داد که پوشش هیدروکسی آپاتیت- نیوبیوم در شرایط عملیات حرارتی مناسب از کیفیت خوبی برخوردار است و می تواند برای کاربردهای پزشکی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت- نیوبیوم، پاشش پلاسمایی، عملیات حرارتی، زیرلایه فولاد زنگ نزن 316L.

### مقدمه

استفاده از پوشش های پاشش حرارتی از سال ۱۹۴۰ به بعد در صنعت متداول شد. در مهندسی پزشکی و برای کاربردهای پزشکی نیز برای مقابله با چالش های ناشی از کاربرد ایمپلنت ها در بدن، این گونه پوشش ها گسترش پیدا کرد [۱].

هیدروکسی آپاتیت با فرمول  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  دارای ترکیب شیمیایی مشابه بافت سخت و استخوان می باشد. نسبت اتمی کلسیم به فسفر در این ماده ۱/۶۷ است. این شباهت شیمیایی باعث تسریع استخوان سازی در حفرات اطراف این ماده می گردد. از این نظر هیدروکسی آپاتیت یک ماده حیاتی در معالجه استخوان و جراحی ارتوپدی است. این ماده دارای خاصیت همبندی با استخوان و زیست فعالی مطلوب می باشد [۲]. هیدروکسی آپاتیت می تواند به صورت فشرده یا به صورت پوشش برای ایمپلنت

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی مواد، دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه صنعتی اصفهان.  
(Amir\_Z@ma.iut.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه صنعتی اصفهان.  
(Ehsanmd2001@yahoo.com)

<sup>۳</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی مواد- دانشگاه صنعتی اصفهان.

های فلزی در پزشکی مورد استفاده قرار گیرد و باعث بهبود تثبیت ایمپلنت در بدن شود. هیدروکسی آپاتیت نسبت به سیمان استخوان که به منظور تثبیت کاشتی به کار می رود، این مزیت را دارد که علاوه بر نقش محافظت کننده از کاشتی، پس از مدتی باعث مرگ سلول های استخوانی اطراف خود نمی شود و حتی موجب ترویج رشد استخوان در حفرات موجود در پوشش می گردد. بنابر این تثبیت ایمپلنت توسط ایجاد پیوند های مکانیکی با استخوان صورت می گیرد [۳]. ایجاد پوشش هیدروکسی آپاتیت بر روی زیر لایه فلزی از آزاد شدن یون های فلزی در بدن تا حد زیادی جلوگیری می کند و فلز زیر لایه را از تماس با محیط بدن دور نگه می دارد [۴]. در پژوهش های گذشته از فلزات وایتالیم و تیتانیم و تانتالیم برای تهیه پوشش کامپوزیتی لایه ای هیدروکسی آپاتیت- فلز استفاده شده است [۵]. این فلزات علاوه بر اینکه دارای خاصیت سمی در بدن نیستند، انعطاف پذیری پوشش را افزایش داده و خود نیز به دلیل وجود پوسته اکسیدی در سطح به راحتی دچار خوردگی نمی شوند.

فلز نیوبیوم یک فلز زیست سازگار می باشد و مطالعات در بدن<sup>۱</sup> نشان داده که بدن هیچگونه واکنش التهابی نسبت به این فلز از خود نشان نمی دهد [۶]. بنابراین می توان از این فلز به عنوان یک فاز تقویت کننده که دارای ویژگی های مطلوب می باشد همراه با هیدروکسی آپاتیت استفاده کرد. میزان تخلخل موجود در پوشش و ویژگیهای پوشش از عوامل مهمی هستند که باعث تثبیت و افزایش عمر ایمپلنت در بدن می شود. بنابر این حصول میزان مشخصی از تخلخل و کیفیت پوشش برای تثبیت ایمپلنت اهمیت زیادی دارد. اضمحلال پذیری پوشش های هیدروکسی آپاتیت با گذشت زمان به درجه بلورینگی هیدروکسی آپاتیت بستگی دارد. به منظور افزایش بلورینگی پوشش و حذف فازهای ناخواسته ناشی از پاشش پلاسمایی، از عملیات حرارتی استفاده می کنند [۲]. تغییرات فازی و تبدیل آن به دیگر فاز های کلسیم فسفات و تجزیه ذرات پودر و تغییر میزان بلورینگی تحت تاثیر پارامترهای فرآیند پاشش پلاسمایی و شرایط عملیات حرارتی می تواند بر روی کیفیت پوشش ایجاد شده تاثیرات مهمی داشته باشد در این پژوهش تاثیر شدت جریان در حین پاشش پلاسمایی بر مورفولوژی پوشش و نیز تاثیر زمان و اتمسفر عملیات حرارتی بر روی فازهای موجود در پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت نیوبیوم در شدت جریان های مختلف پاشش پلاسمایی مورد ارزیابی قرار گرفت.

## مواد و روش ها

پودر هیدروکسی آپاتیت مرک با اندازه ذرات ۵ تا ۱۰ میکرومتر و نیوبیوم خالص تجاری ساخت شرکت نیوبیوم آلمان با اندازه ذرات ۱۵ تا ۲۰ میکرومتر به عنوان مواد اولیه برای تهیه پودر کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت/ نیوبیوم مورد استفاده قرار گرفت. برای بدست آوردن پودر کامپوزیتی از یک آسیاب گلوله ای سیاره‌ای استفاده شد. نسبت وزنی هیدروکسی آپاتیت به نیوبیوم ۴ به ۱ انتخاب گردید و نسبت وزنی گلوله به بار در آسیاب گلوله ای ۲۰ به ۱ مناسب تشخیص داده شد. مخلوط هیدروکسی

<sup>1</sup> In Vivo

آپاتیت-نیوبیوم به مدت زمان سه ساعت تحت عملیات فعال سازی مکانیکی قرار گرفت. زیر لایه از جنس فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ال توسط ذرات SiC تحت عملیات ذره پاشی واقع شد و پس از ذره پاشی، به مدت ده دقیقه در دستگاه آلتراسونیک و در محیط استن جهت تمیزکاری نهایی قرار گرفت. برای پوشش دادن فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ال از دستگاه پلاسما اسپری اتمسفری ساخت شرکت Metallization استفاده گردید. پارامترهای پاشش در جدول ۱ خلاصه شده است. بعد از عملیات لایه نشانی نمونه ها عملیات حرارتی شد. کوره مورد استفاده کوره تونلی مجهز به کنترل اتمسفر بود. اتمسفر مورد استفاده شامل گاز آرگون با خلوص تجاری و بخار آب بود. دمای مورد استفاده برای عملیات حرارتی نمونه ها ۶۰۰ درجه سانتیگراد و زمان های انتخابی ۱/۵ و ۳ ساعت بود. از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای بررسی و مطالعه مورفولوژی پوشش کامپوزیتی پس از پاشش پلاسمایی استفاده شد. برای بررسی آنالیز فازی پوشش از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) با تیوب مسی در ولتاژ ۴۰ kV و جریان ۳۰ mA استفاده گردید. زاویه ۲θ از ۲۰ تا ۸۰ درجه انتخاب شد.

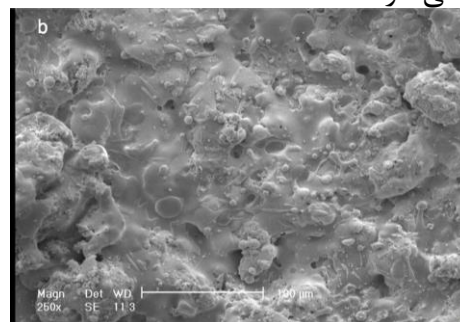
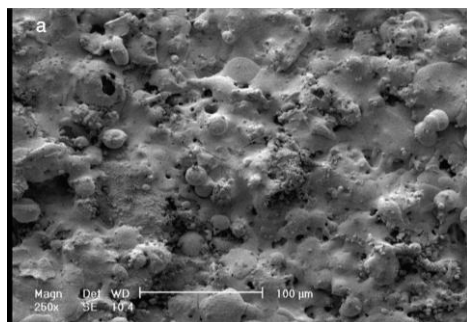
جدول ۱- پارامترهای پاشش

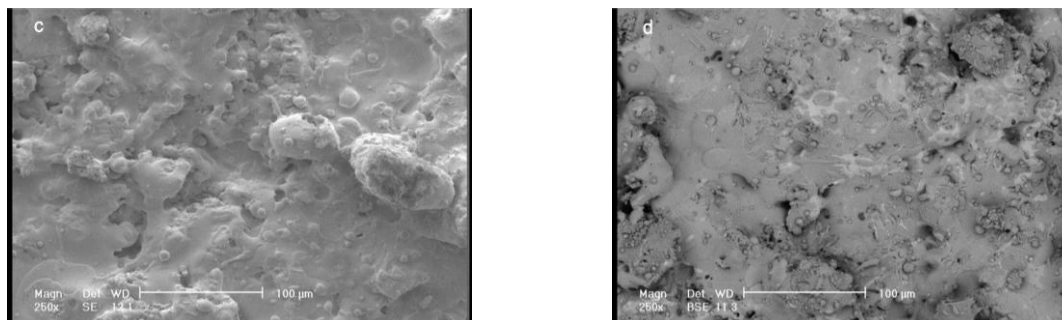
زاویه پاشش تفنگ تا نمونه	۹۰ درجه
فاصله پاشش تفنگ تا نمونه	۱۰-۱۲ سانتیمتر
گاز حامل	آرگون
جریان پاشش	۴۰۰ و ۶۰۰ و ۸۰۰ آمپر
سرعت حرکت تفنگ پاشش	۱۰ mm/s
سرعت تغذیه پودر	۸۰ rpm

### نتایج و بحث

#### تأثیر شدت جریان پاشش بر خواص پوشش قبل از عملیات حرارتی

بررسی سطح پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت- نیوبیوم نشان داد که با تغییر جریان پاشش مورفولوژی سطح به شدت دچار تغییر می شود. در جریان های بالاتر پاشش امکان ذوب شدن بیشتر و کامل تر ذرات فراهم می شود و از این نظر امکان بدست آوردن پوششی یکنواخت تر و دارای تخلخل کمتر فراهم می گردد.





شکل ۱. تصویر میکروسکوپ الکترونی SEM از پوشش هیدروکسی آپاتیت نیوبوم در جریان پاشش (a) ۴۰۰ آمپر (b) ۶۰۰ آمپر (c) ۸۰۰ آمپر (d) BSE از سطح پوشش.

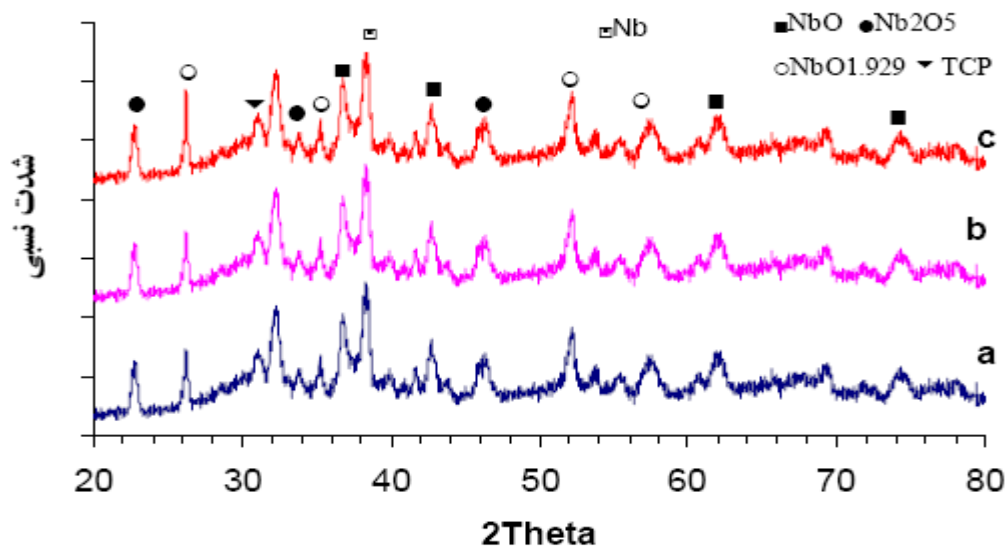
شکل ۱ تاثیر جریان پاشش بر مورفولوژی پوشش را نشان می دهد. پوشش به دست آمده در جریان ۸۰۰ آمپر دارای صافی سطح بیشتر و تخلخل ظاهری کمتری نسبت به پوشش ایجاد شده در شدت جریان ۴۰۰ آمپر می باشد. در شدت جریان ۴۰۰ آمپر ذرات پودر به صورت کامل ذوب نمی شوند و به صورت شبه مذاب و یا نیمه مذاب باقی می ماند. این گونه ذرات نمی توانند به صورت فشرده بر روی همدیگر قرار بگیرند. این رفتار ذرات باعث می شود که تخلخل بیشتری نسبت به پوشش ایجاد شده در شدت جریان ۸۰۰ آمپر ایجاد شود. در شدت جریان ۶۰۰ آمپر میزان تخلخل ظاهری پوشش نسبت به شدت جریان ۴۰۰ آمپر کاهش پیدا کرد. وجود مقدار مناسبی از تخلخل می تواند باعث تسريع رشد استخوان و همبندی بهتر آن با ایمپلنت شود. تصویر BSE میکروسکوپ الکترونی روبشی (قسمت d - شکل ۱) از سطح پوشش نشان می دهد که توزیع مناسبی از نیوبوم در پوشش وجود دارد به گونه ای که هیچ منطقه انباشته ای از نیوبوم و یا فقیر از نیوبوم وجود ندارد.

#### عملیات حرارتی پوشش در شرایط پاشش متفاوت

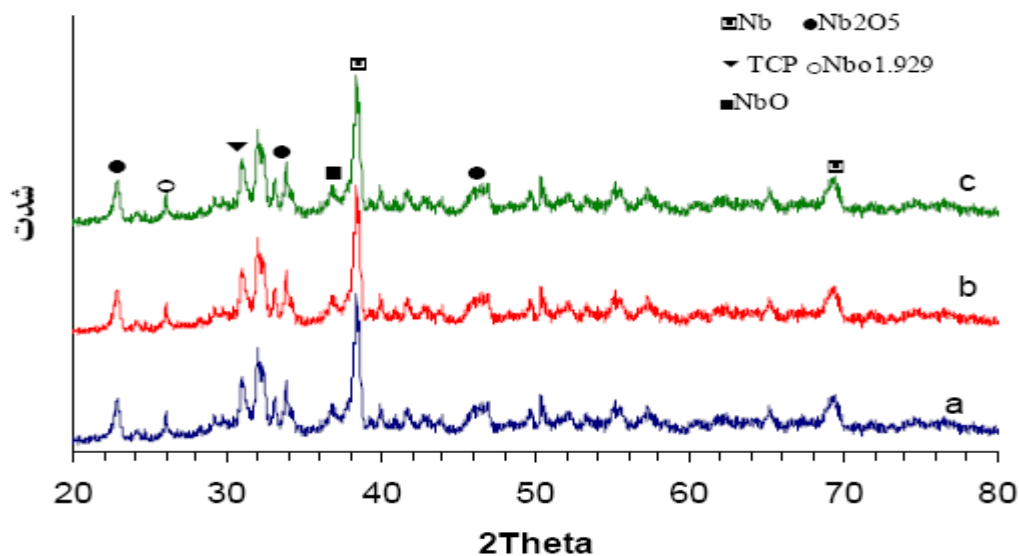
در این پژوهش با توجه به نتایج کارهای تحقیقاتی گذشته دمای مناسب برای عملیات حرارتی ۶۰۰ درجه سانتیگراد انتخاب شد [7,8,9]. زیرا در این دما علاوه بر تامین انرژی اکتیواسیون لازم برای انجام دگرگونی تاثیر مخربی هم بر زیر لایه ایجاد نمی شود. یکی از عیوبی که در دمای بالا برای فولادهای زنگ نزن اتفاق می افتد پدیده حساس شدن می باشد. در این پدیده با تشکیل کاربید کروم در مرز دانه ها، نواحی مجاور از کروم تخلیه شده و نواحی مستعدی را برای خوردگی فراهم می کند. مطالعات پژوهشگران نشان داده است که در دمای ۶۵۰ درجه و در مدت زمان ۲ ساعت هیچگونه کاربید کروم ( $Cr_{23}C_6$ ) و یا ( $Fe_2Mo$ ) تشکیل نشده است و اگر دما به ۶۰۰ درجه کاهش یابد تا مدت زمان ۱۶ ساعت هیچگونه کاربیدی و یا فازهای ناخواسته در فولاد زنگ نزن ۳۱۶ ال مشاهده نمی شود [۱۰ و ۱۱]. از این رو انتظار می رود که با عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه خواص خوردگی زیر لایه تحت تاثیر قرار نگیرد. تاثیر عملیات حرارتی در اتمسفر گاز آرگون در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱/۵ و ۳ ساعت بر روی فازهای موجود در پوشش کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت - نیوبوم در شدت جریان الکتریکی ۴۰۰ و ۶۰۰

و ۸۰۰ آمپر در شکل های ۲ و ۳ و ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود پس از عملیات حرارتی به مدت زمان ۱/۵ ساعت فاز تری کلسیم فسفات از پوشش حذف نشده است. حتی افزایش زمان عملیات حرارتی از ۱/۵ به ۳ ساعت نیز هیچگونه تاثیری بر حذف فاز تری کلسیم فسفات نگذاشته است. پوشش ایجاد شده در شدت جریان الکتریکی ۴۰۰ آمپر پس از عملیات حرارتی تغییر فازی در آن رخ نداده است و تنها برخی از پیک های مربوط به اکسید نیوبیوم اندکی افزایش شدت پیدا کرده است که این امر می تواند ناشی از اکسیداسیون جزئی نیوبیوم در کوره عملیات حرارتی باشد. به طور کلی تغییرات ایجاد شده در پوشش در حین عملیات حرارتی در اتمسفر گاز آرگون مستقل از شدت جریان الکتریکی پاشش می باشد. یکی از دلایل این امر وجود اتمسفر خنثی می باشد. به نظر می رسد وجود عاملی در اتمسفر محیط نقش بسیار تعیین کننده ای در انجام دگرگونی و تبدیل فاز آمورف و تری کلسیم فسفات به هیدروکسی آپاتیت بلورین بر عهده دارد. مطالعات محققین دیگر نیز نشان داده است که عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و به مدت زمان ۱ ساعت در محیط خلاء نیز نتوانسته است باعث حذف فاز تری کلسیم فسفات و یا فازهای آمورف به هیدروکسی آپاتیت بلورین شود و به نظر می رسد فازهای ذکر شده در محیط مورد اشاره به صورت کاملاً پایدار باقی مانده اند [۱۲]. به همین دلیل برای عملیات حرارتی پوشش های ایجاد شده در شرایط پاشش متفاوت از عملیات حرارتی در اتمسفر مرطوب استفاده شد. نتایج حاصل از این عملیات حرارتی در محیط مرطوب در شکل های ۶ و ۷ و ۸ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد اگر چه دما عامل بسیار مهمی می باشد که بر دگرگونی فاز آمورف به کریستالی تأثیر می گذارد ولی رطوبت نیز در این امر نقش تعیین کننده ای دارد. به گونه ای که بدون حضور  $H_2O$  امکان حذف فاز تری کلسیم فسفات و افزایش بلورینگی پوشش وجود ندارد. تبلور فاز آمورف به صورت کنترل نفوذی می باشد. ملکول های آب می تواند با فاز آمورف کلسیم فسفات واکنش داده و گروه های OH در ملکول آب می تواند جاهای خالی موجود در شبکه کریستالی فاز آمورف که در نتیجه دهیدراته شدن هیدروکسی آپاتیت در شعله پلاسما می باشد را پر کند و احتمالاً ملکول های آب باعث افزایش ضریب نفوذ اتم های موجود در فاز آمورف و تری کلسیم فسفات می شود.

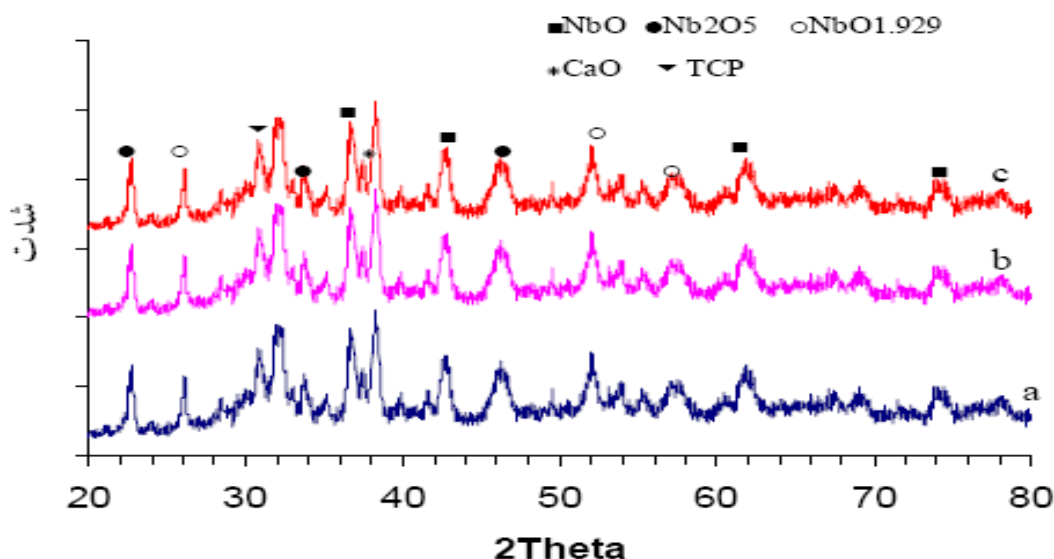




شکل ۲: مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس پوشش پاشش پلاسمایی شده در شدت جریان الکتریکی ۴۰۰ آمپر (a) بدون عملیات حرارتی (b) پس از ۱/۵ ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد (c) پس از سه ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد.



شکل ۳: مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس پوشش پاشش پلاسمایی شده در شدت جریان الکتریکی ۶۰۰ آمپر (a) بدون عملیات حرارتی (b) پس از ۱/۵ ساعت عملیات حرارتی (c) پس از سه ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد.

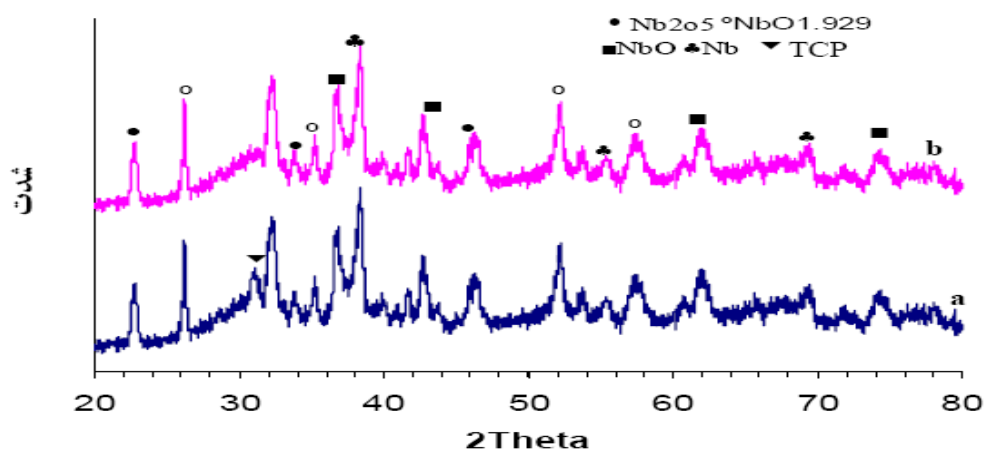


شکل ۴: مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس پوشش پاشش پلاسمایی شده در شدت جریان الکتریکی ۸۰۰ آمپر (a) بدون عملیات حرارتی (b) پس از ۱/۵ ساعت عملیات حرارتی (c) پس از سه ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد.

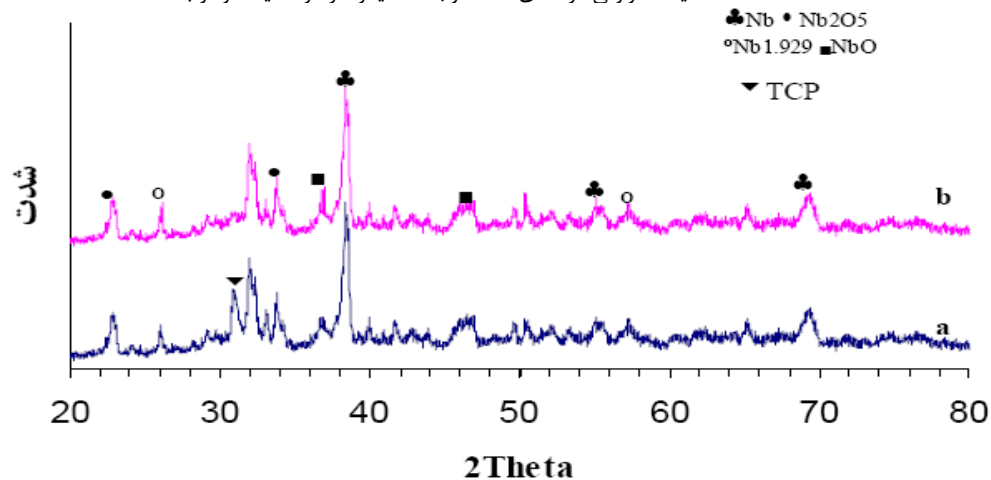
مطالعات دیگر پژوهشگران نشان داده است که با انجام عملیات حرارتی پوشش های هیدروکسی آپاتیت می توان ساختاری همگن به دست آورد [۱۳]. این امر را می توان به این صورت توضیح داد که با انجام عملیات حرارتی، اتم های موجود در پوشش از انرژی کینتیکی بیشتری بر خوردار می شوند که امکان نفوذ سریع تر را برای آن ها فراهم می کند. این نفوذ سریع باعث افزایش سرعت استحاله فازی و تسریع در همگن شدن پوشش می گردد [۱۴]. در مدت زمان عملیات حرارتی پوشش در اتمسفر مرطوب و در مدت زمان ۱/۵ ساعت شدت فاز تری کلسیم فسفات به مقدار بیشتری کاهش پیدا می کند به گونه ای که می توان گفت فاز تری کلسیم فسفات در اثر عملیات حرارتی در محیط مرطوب حذف شده است. مدت زمان حذف فاز تری کلسیم فسفات ۱/۵ ساعت می باشد این در حالی است که در محیط بدون رطوبت تا زمان سه ساعت نیز در دمای مشابه فاز تری کلسیم فسفات حذف نشده است.

در پوشش ایجاد شده در شدت جریان الکتریکی ۶۰۰ آمپر نیز مشاهده می شود که در مدت زمان ۱/۵ ساعت تری کلسیم فسفات حذف شده است. در حالی که در پوشش ایجاد شده در شدت جریان الکتریکی ۶۰۰ آمپر علاوه بر تری کلسیم فسفات فاز اکسید کلسیم نیز حذف شده است. به نظر می رسد در حضور رطوبت فاز تری کلسیم فسفات می تواند با اکسید کلسیم وارد واکنش شده و هیدروکسی آپاتیت تولید کند. این در حالی است که تری کلسیم فسفات و اکسید کلسیم در محیط بدون رطوبت کاملاً پایدار هستند و حتی با عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه و به مدت زمان سه ساعت نیز حذف نشده اند.

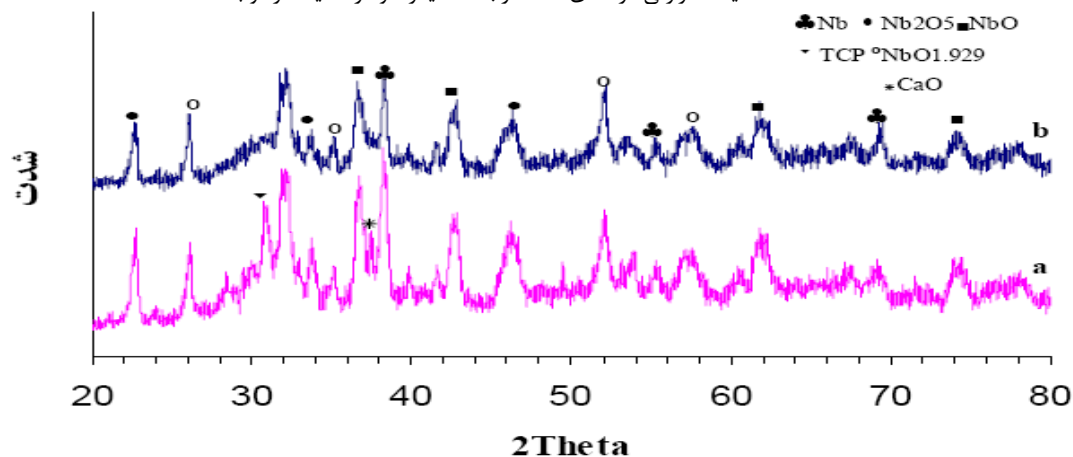




شکل ۵: مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس پوشش پاشش پلاسمایی شده در شدت جریان الکتریکی ۴۰۰ آمپر (a) بدون عملیات حرارتی (b) پس از ۱/۵ ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در محیط مرطوب.



شکل ۶: مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس پوشش پاشش پلاسمایی شده در شدت جریان الکتریکی ۶۰۰ آمپر (a) بدون عملیات حرارتی (b) پس از ۱/۵ ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در محیط مرطوب.



شکل ۷- مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس پوشش پاشش پلاسمایی شده در شدت جریان الکتریکی ۸۰۰ آمپر (a) بدون عملیات حرارتی (b) پس از ۱/۵ ساعت عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در محیط مرطوب.

### نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر زمان و اتمسفر عملیات حرارتی بر روی فازهای موجود در پوشش و نیز تأثیر جریان بر روی مورفولوژی پوشش نوین کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت- نیوبیوم مورد بررسی قرار گرفت. پوشش ایجاد شده در شدت جریان ۴۰۰ آمپر دارای حفرات زیادی در سطح خود می باشد و انتظار می رود این پوشش نتواند از فلز زیر لایه در برابر محیط به خوبی محافظت کند. پوشش ایجاد شده در شدت جریان ۶۰۰ آمپر ضمن آن که دارای حفره نمی باشد دارای مقدار مناسبی تخلخل و کیفیت سطح خوبی است. بنابراین شدت جریان ۶۰۰ آمپر می تواند به عنوان شدت جریانی مناسب برای پاشش پلاسمایی این نوع پودر مورد استفاده قرار گیرد. انجام عملیات حرارتی در اتمسفر آرگون با خلوص تجاری در دمای ۶۰۰ درجه و به مدت زمان ۱/۵ و ۳ ساعت هیچ تأثیری بر حذف فازهای نامطلوب نظیر تری کلسیم فسفات و اکسید کلسیم ندارد ولی با انجام عملیات حرارتی در دمای ۶۰۰ درجه و به مدت زمان ۱/۵ ساعت در محیط مرطوب فاز تری کلسیم فسفات در کلیه شدت جریان های پاشش حذف گردید.

### مراجع

- [1]- K.A. Khor. P. Cheang, " InFLuence of processing parameters in the plasma spraying of hydroxyapatite/Ti-6Al-4V composite coatings", Journal of Materials Processing Technology 89-90, 1999, 550-555.
- [2]- Z.L. Dong. K.A. Khor, "TEM and STEM analysis on heat-treated and in vitro plasma-sprayed hydroxyapatite/Ti-6Al-4V Composite coatings", Biomaterials 24, 2003, 97-105.
- [3]- David C.greenspan "bioactive ceramic implant materials" current opinion in solid state and material science, 4, 1999, 387-393
- [4]- M.H.Fathi" IN Vitro corrosion behavior of bioceramic, metallic ,bioceramic-metallic coated stainless steel dental implants" dental material 19, 2003, 188-198.
- [5]- M.H. Fathi. F. Azam, "Novel hydroxyapatite/tantalum surface coating for metallic dental implant", Materials Letters, 14, 2006, 3572-3576.
- [6]- Hironobu Matsuno "Biocompatibility and osteogenesis of refractory metal implants,titanium, hafnium, niobium, tantalum and rhenium", Biomaterials, 22, 2001, 1253-1262.
- [7]- Yi-Pang Lee, Chih-Kuang Wang, Tsui-Hsien Huang, " In vitro characterization of postheat-treated plasma-sprayed hydroxyapatite coatings", Surface & Coatings Technology 197 , 2005, 367-375.
- [8]- Y.C Tsui, C.Doyle , "Plasma sprayed hydroxyapatite coating on titanium substrates Part 2: optimization of coating properties", Biomaterials, 19, 1998, 2031-2043.
- [9]- KleinCPAT, WolkeJGC, "Calcium phosphate plasma-sprayed coating and their stability: an in vivo study",. J Biomed Mater Res., 28, 1994, 909-917.

- [۱۰]- H.Sahlaui, "Effects of ageing conditions on precipitates evolution, chromium depletion and intergranular corrosion susceptibility of AISI316L :experimental and modeling results, Materials Science and Engineering: A, 372, 2004, 98-108.
- [۱۱]- M. Matuala, L. Hyspecka, "Intergranular corrosion of AISI316L steel", Materials Characterization, 46, 2001, 203-210.
- [۱۲]- Q. Zhang, J. ChenJiaming, Y. Cao, C. Deng, " Dissolution and mineralization behaviors of HA coatings", Biomaterials 24 , 2003, 4741–4748.
- [۱۳]- Yu-Peng, "Microstructural inhomogeneity in plasma- sprayed hydroxyapatite coating and effect of post-heat treatment", Applied surface science, 18, 2005, 114-121.
- [۱۴]- J.Chen, W.Tong , J Biomed. Mater. Res., 34, 1997, 15-19.

## The Effect of Heat Treatment Parameters on Morphology and Phase Composition of HA- Nb Composite Coating

A.Zomorodian<sup>۱</sup>, E.Mohammadi Zahrani<sup>۲</sup>, M.H.Fathi<sup>۳</sup>

First Author E-Mail: [Amir\\_Z@ma.iut.ac.ir](mailto:Amir_Z@ma.iut.ac.ir)

### Abstract

Biomaterials, especially the ceramic once, have been widely utilized in defects of bone in recent years. In most cases, such materials are expected to show an acceptable durability as implants. Also hydroxyapatite can be used as alloy coating, like, 316L stainless steel, for the use in orthopedic applications. HA is a bioceramic with no detrimental and poisonous effects in the body. Niobium is also recognized as a biocompatible metal.

Plasma spray technique is one of the common techniques to create HA coating. However, the coating parameters always affect on the coating properties which cause different results in “in vivo” and “in vitro” tests. In the present study, the influence heat treatment parameters was studied on the properties and morphology of HA-Nb composite coating. Composite coating consists of matrix of HA as well as 25% niobium in the form of filler particles distribute within the matrix. This composite was coated on the substrate by plasma spray technique. To do so, scanning electron microscopy (SEM) was used. The phase structure and crystalline of the coating were determined by x-ray diffraction (XRD). The obtain results showed that HA-Nb coating, in appropriate plasma spray conditions enjoyed a suitable quality and is applicable in medical usage.

**Key words:** HA-Nb coating; heat treatment parameters; morphology; phase composition.

<sup>۱</sup> M.SC, Department of Material Engineering, Isfahan University Of Technology.

<sup>۲</sup> M.SC Student, Department of Material Engineering, Isfahan University of Technology.

<sup>۳</sup> Associate Professor, Department of Material Engineering, Isfahan University of Technology.