مقایسه پلاسماهای اکسیژن ونیتروژن درتولیدلایه‌های نانو وکامپوزیت آلومیناوآلومینیوم

مهدی یوسف زاده بیرق*[۱] و صمد سبحانیان [۲]و حمید نقش آرا[۳]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۰۵/۰۳، ش.ص۶۶-۵۷، تاریخ پذیرش:۱۳۹۴/۱۰/۲۶)

چکیده

امروزه پلاسما کاربردهای وسیعی را در صنعت بخود اختصاص داده است. یکی از کاربردهای آن، لایه نشانی سطوح مواد مختلف به جهت بهبود و ایجاد خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی ویژه است . دراین پژوهش با استفاده از مشعل پلاسمایی و کاربرد گازهای اکسیژن و نیتروژن مورد استفاده به صورت عملی، پودر فلز آلومینیوم و اکسیدآلومینیوم (آلومینا) بروی قطعات استیل نسوز به روش اسپری پلاسمایی لایه نشانی گردیده است. نتایج پس از بررسی قطعات با دستگاه آنالیز اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی به موفقیت آمیز بودن این پروژه اذعان دارند. با توجه به تصاویر به دست آمده از میکرسکوپ الکترونی و اندازه ذرات لایه نشانی شده به این نکته می‌توان دست یافت که از این روش، در تولید قطعات ویژه صنعتی با لایه نشانی مواد نوین و روکش‌های نانومتری می‌توان استفاده نمود. همچنین با استفاده از دو نوع ماده، پودر فلز آلومینیوم و آلومینا که اکسید غیر فلزی است، لایه‌ای کامپوزیت متشکل از آلومینا و آلومینیوم به دست آمدو نیز برتری استفاده از مشعل پلاسمای اکسیژنی نسبت به مشعل پلاسمای نیتروژنی در این پروژه مشخص شد.

پوشش دهی آلیاژها، پرکاربردترین وگسترده‌ترین روش جلوگیری از تخریب مواد در دماهای بالا می‌باشد. با استفاده از مشعل پلاسمایی اکسیدهایی که دمای دیرگدازی بسیار بالایی دارند وتوسط روش‌های معمولی نمی‌توان آن‌ها را ذوب و اسپری کرد می‌توانند لایه نشانی شوند: مانند آلومینا وسیلیس وزیرکونیا.

واژه‌های کلیدی: پلاسما ، مشعل پلاسمایی ، اسپری پلاسمایی ، لایه نشانی ، پلاسمای اکسیژن ، پلاسمای نیتروژن ، لایه نشانی آلومینا، لایه نشانی آلومینیوم.

[۱]- گروه فیزیک ،دانشگاه آزاداسلامی، واحدعلوم وتحقیقات آذربایجان شرقی، تبریز-ایران

[۲] - گروه فیزیک ، دانشگاه آزاداسلامی، واحدتبریز، تبریز-ایران

[۳] - گروه حالت جامد، دانشکده فیزیک،دانشگاه تبریز، تبریز-ایران

*- نویسنده مسئول مقاله: mehdi55@ymail.com

پیشگفتار

باتوجه به پیشرفت‌های روز افزون علم و استفاده از فناوری‌های جدید در صنعت, فیزیک پلاسما یکی از شاخه‌های فیزیک است که کاربردهای وسیعی درصنعت نوین به خود اختصاص داده است. باتوجه به کاربردهای گسترده مشعل‌های پلاسمایی در صنعت، در این مقاله مورد بررسی و تحقیق قرار می‌گیرد. استفاده از مشعل پلاسمایی جهت لایه نشانی می‌باشد که به اسپری پلاسما یا جت پلاسما مشهور است[۱]. در سال ۱۹۱۰ اولین دستگاه اسپری حرارتی ساخته شد. و همچنین در سال ۱۹۷۵ اولین مشعل‌های اسپری پلاسما ساخته شده است.

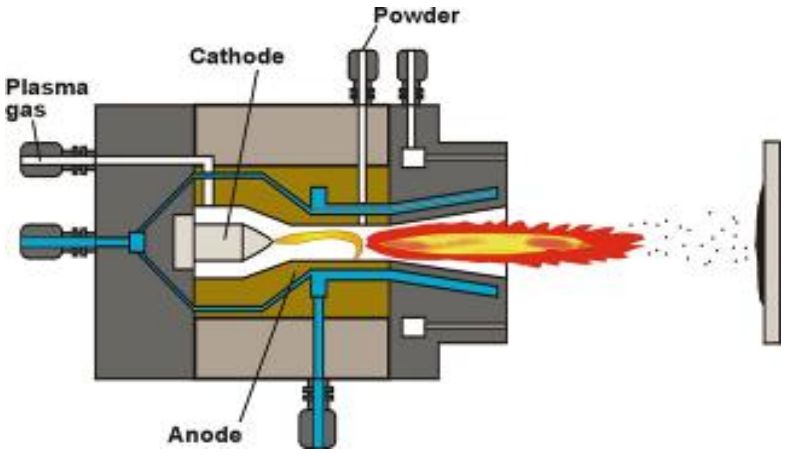
در روش پلاسما اسپری که در دهه ۱۹۷۰ توسعه یافت از یک جت پلاسما با دمای بالا استفاده می‌شود. جت پلاسما از طریق تخلیه الکتریکی ایجاد شده و می‌تواند دمایی بیش از ۱۵۰۰۰ درجه کلوین داشته باشد[۲]. به واسطه همین دمای بالا می‌توان مواد مقاوم و نسوز از قبیل اکسیدها، مولیبدن و تنگستن را نیز اسپری کرد.

در این روش انواع مختلف پودر مواد پیشرفته (سرامیکی، سرمتی، بین فلزی و ...) در درجه حرارت بین ۱۰ تا ۲۰ هزار درجه سانتیگراد ذوب و توسط گاز حامل به طور یکنواخت بر سطح قطعه پاشیده می‌شوند، با این حال سطح قطعه چندان گرم و دچار تنش‌های گرمایی نمی‌شود[۳] .به این ترتیب سطحی با پوشش یکنواخت و دارای چسبندگی و کیفیت بسیار عالی ایجاد خواهد شد و مقاومت قطعه را در برابر عوامل فرسودگی محیطی چندین برابر افزایش خواهد داد. از مزایای این روش، محدوده وسیع پوشش‌های قابل اعمال و همچنین کیفیت بسیارخوب این پوشش‌ها پس از پاشش می‌باشد[۴].

در فرآیند پلاسما اسپری ماده‌ای که باید نشانده شود وارد جت پلاسما می‌شود و از یک مشعل پلاسمایی خارج می‌شود. در این فرایند، مواد اولیه نخست به شکل پودر و به وسیله‌ی روش‌های حرارتی یا انفجاری به ذرات مذاب یا نیمه مذاب تبدیل می‌شود. سپس این ذرات پس از پاشش بر روی سطح مورد نظر چسبیده و به این ترتیب، پوشش سطحی به صورت لایه‌هایی بر روی هم تشکیل می‌گردد. از این روش پوشش دهی جهت تقو یت و افزایش مقاومت سطح در برابر خوردگی، سایش و همچنین ایجاد عایق حرارتی استفاده می‌شود.

خواص مهم یک پوشش عبارتند از ضخامت، زبری و میزان تخلخل وابستگی زیادی به شرایط فرایند پوشش دهی دارند. ذره هنگام برخورد با سطح می‌تواند مذاب ، نیمه مذاب و یا جامد باشد؛ بنابراین کیفیت پوشش حاصل به دینامیک برخورد این ذره با سطح و میزان پخش شدن آن بستگی دارد. این روش غالباً برای ایجاد پوشش روی مواد ساختاری به کار می‌رود. همچنین این پوشش‌ها در مقابل دمای زیاد، خوردگی و فرسایش مقاومت زیادی از خود نشان می دهند.

دراین پژوهش هدف، لایه نشانی قطعات با پودر آاومینیوم و آلومینا(اکسیدآلومینیوم) با استفاده از مشعل پلاسمایی به روش اسپری پلاسمایی می‌باشد. شکل (۱) نمایی از روش اسپری پلاسمایی را نشان می‌دهد [۵و۶] . مطالعه لایه‌های نشانده شده با این روش، تشکیل ساختارهای نانوئی را نشان می‌دهد [۷]. همچنین تشکیل پوشش‌هایی با دانه‌های میکرونی و زیر میکرونی توسط پاولوفسکی [۸] گزارش گردیده است.



شکل۱-لایه نشانی بااسپری پلاسمایی

پلاسما در داخل مشعل تولید می‌شود و جریان سریع گاز کاری آن را از داخل مشعل به بیرون هدایت می‌نماید. دمای چنین پلاسمایی تا ۱۰۰۰۰ درجه کلوین می‌رسد. لذا دور محفظه تولید پلاسما با آب خنک می‌شود. در مسیر خروجی پلاسما، پودری که می‌خواهیم اسپری شود را وارد پلاسما می‌نماییم. این پودر در داخل پلاسما به دمای بالا رسیده و بر روی قطعه کار می نشیند. مشعل، وسیله‌ای قابل حمل است و قطعه کار در داخل محفظه پلاسما نمی‌باشد و فشار محیط اطراف نیز همان فشار اتمسفر است. لذا این وسیله اخیرا بسیار مورد توجه قرار گرفته و در بسیاری از موارد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دستگاه تجربی

دستگاه اسپری پلاسمایی مورد استفاده در این پروژه قبلا با توجه به انجام طرح تحقیقاتی برای دانشگاه آزاد واحد تبریز توسط نویسندگان این مقاله طراحی و ساخت گردیده است واز قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

۱- مشعل پلاسمایی : شامل منبع تغذیه مورد نیاز برای تولید جت پلاسما با دمای کافی برای لایه نشانی می‌باشد. این منبع می‌تواند ولتاژ مناسب (۵۰-۶۰ ولت) با جریان ۶۵-۶۰ آمپر را تامین نماید.

سایر قسمت‌های مهم دیگر عبارتند از قطعات داخلی هدمشعل – الکترودنازل – پانل کنترل وشبکه آب برای خنک کردن؛

۲- ویبره و مخزن تغذیه پودر؛

۳- گیره نگه دارنده قابل تنظیم نمونه.

منبع تغذیه این مشعل از نوع سویچینگ با توان شش کیلووات می باشد. ولتاژ خروجی ترکیبی از پنجاه ولتی همراه با ولتاژ متناوب با فرکانس دو کیلو هرتز با دامنه ۵۰۰ولتی است. مقدار فشار گاز ورودی به سیستم حداقل باید پنج بار باشد. در ورودی دستگاه یک رگلاتور تعبیه شده است که این فشار را از بالای پنج بار به چهار بار که مقدار آن ثابت باشد تبدیل می‌نماید. درشکل(۲)تجهیزات سرنازل دستگاه اسپری پلاسمای مورد استفاده نشان داده شده است.

مراحل کار

در ابتدای کار پایه‌ها که از جنس استیل نسوز به ابعاد۲*۲ سانتیمتر می‌باشند، کاملا تمیز شده و به ترتیب بروی گیره نصب گردید. سیستم آب خنک کننده و مشعل پلاسمایی راه اندازی و گاز ورودی با فشار ۴بار تنظیم شد. ویبره محتوی پودر مصرفی شروع به کار کرد.

شکل۲- تجهیزات سرنازل دستگاه اسپری پلاسما

با روشن کردن مشعل پلاسمایی و ریزش پودر مواد از مخزن نگهداری پودر که با حرکت ویبراتور کنترل می‌شود، پودر توسط شعله پلاسمایی ذوب شده و به وسیله جت پلاسما حمل و روی مشعل سوار و برروی زیرلایه(پایه اصلی) که از جنس فولاد زنگ نزن بود انتقال می‌یابد. درشکل (۳) نحوه تولید نمونه‌ها نشان داده شده است. پس از تولید نمونه، قطعه استیل نسوز لایه نشانی شده از گیره نگهدارنده جدا و در محلی جهت خنک شدن قرار می‌گیرد و قطعه دیگر پس از تمیز کردن بروی پایه نگهدارنده نصب می‌گردد. پودر مورد نظر داخل مخزن محتوی پودر تخلیه ریخته شده و نیز برای تغییر گاز مصرفی طبق روند آزمایش، مخزن محتوی گاز از دستگاه جدا ومخزن گاز مورد نظر به دستگاه اسپری پلاسمایی نصب و فشار گاز ورودی روی ۴بار توسط رگلاتور موجود در دستگاه تنظیم می‌گردد. با تکرار روند آزمایش سه عدد نمونه تولید گردید.

گازهای مورد مصرف در مشعل پلاسمایی گاز نیتروژن واکسیژن است.

پودرهای آلومینا وآلومینیوم در نمونه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفتند .

تغییر گاز مشعل پلاسمایی و پودر مصرفی لایه نشانی در سه مرحله انجام پذیرفت و سه نمونه تولید و آماده گردیدند. .

نمونه اول : لایه نشانی با استفاده از گاز نیتروژن و پودر آلومینا؛

نمونه دوم: لایه نشانی با استفاده از گاز اکسیژن و پودر آلومینا؛

نمونه سوم : لایه نشانی با استفاده از گاز اکسیژن و پودر آلومینیوم.

پس از انجام مراحل و تولید قطعات لایه نشانی شده نمونه‌ها تحت آزمایش آنالیزXRD و میکروسکوپ الکترونی قرار گرفتند که نتایج آن‌ها در بخش بعدی آورده شده است..

شکل۳ - تصویر تولیدنمونه

نتیجه گیری

با مقایسه طیف‌های ایجاد شده در نمونه‌های مختلف با طیف‌های شاخص نتایج ذیل حاصل می‌گردد.

طیف‌های ایجادی نمونه ۱در نمودار شکل۴وجود آلومینا در سطح مورد بررسی را نشان می‌دهد و در نمودار شکل ۵ نیز طیف‌های وجود آلومینا مشخص است؛ اما در نمودار شکل۶ طیف‌هایی از وجود آلومینیوم به همراه آلومینا وجوددارد.

به طور خلاصه این گونه از نمودارهای طیف‌های پراش پرتوایکس(XRD) می‌توان نتیجه گرفت که :

نمونه اول: دارای طیف‌هایی از آلومینا؛

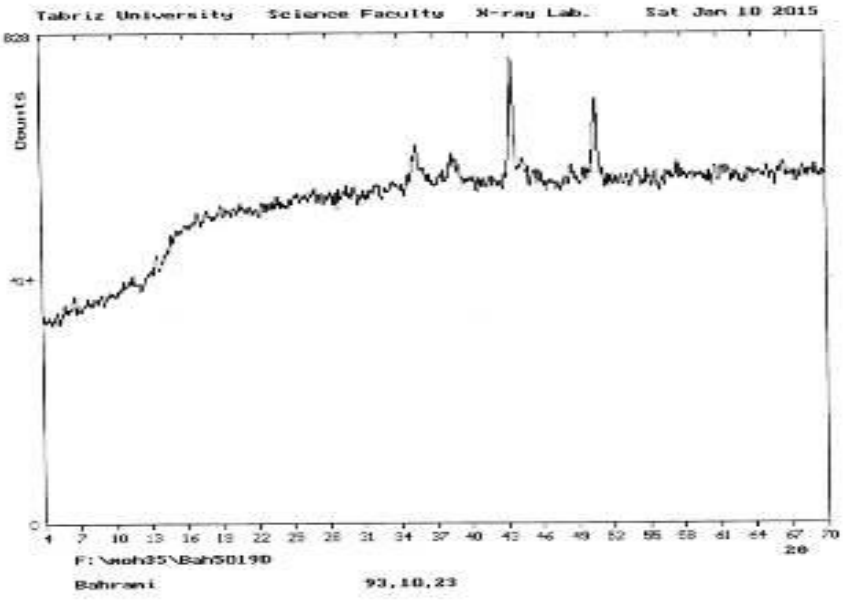
نمونه دوم: دارای طیف‌هایی از آلومینا؛

نمونه سوم: دارای طیف‌هایی از آلومینا و آلومینیوم.

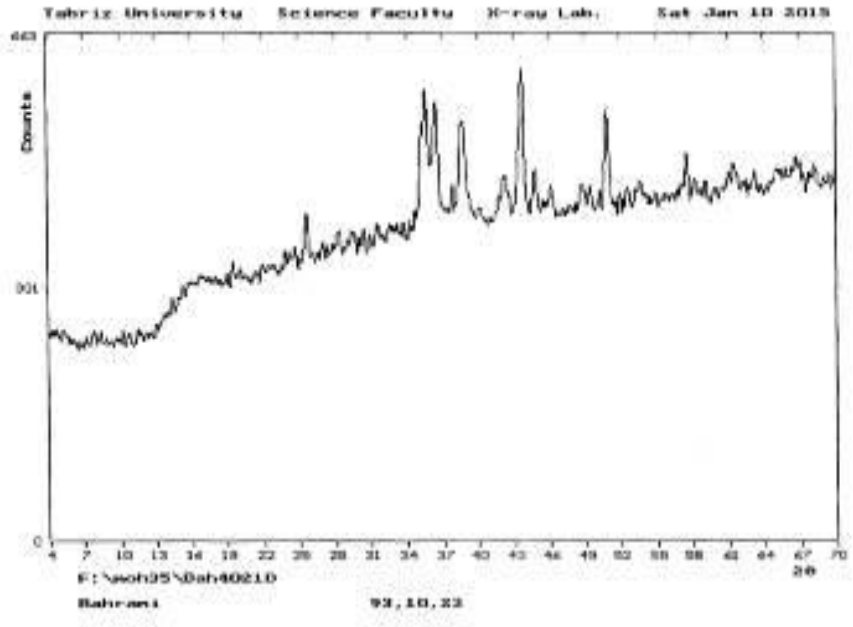
البته باید توجه داشت درنمونه ۲نسبت به نمونه ۱طیف‌های آلومینا مشهودتر است که نشان دهنده برتری گاز مصرفی اکسیژن به نیتروژن در این آزمایش می‌باشد؛ یعنی با استفاده از گاز اکسیژن در مشعل پلاسمایی بازده لایه نشانی آلومینا بروی استیل نسوز افزایش بیش‌تری یافته است. برای تهیه نمونه ۲ گاز مورد استفاده در مشعل پلاسمایی از گاز نیتروژن در تولید نمونه۱ به گاز اکسیژن تغییر یافت. همان گونه که اشاره گردید و در نمودار طیف‌ها در شکل ۵ نسبت به شکل ۴مشخص است، در نمونه دوم به دلیل بازدهی مناسب و ایجاد دمای بیش‌تر و ذوب بهتر، طیف وجود آلومینا شاخص‌تر است.

با بررسی نمودار طیف XRD شکل ۶ مربوط به نمونه ۳ طیف‌های آلومینیوم و آلومینا هر دو مشاهده می‌شود.

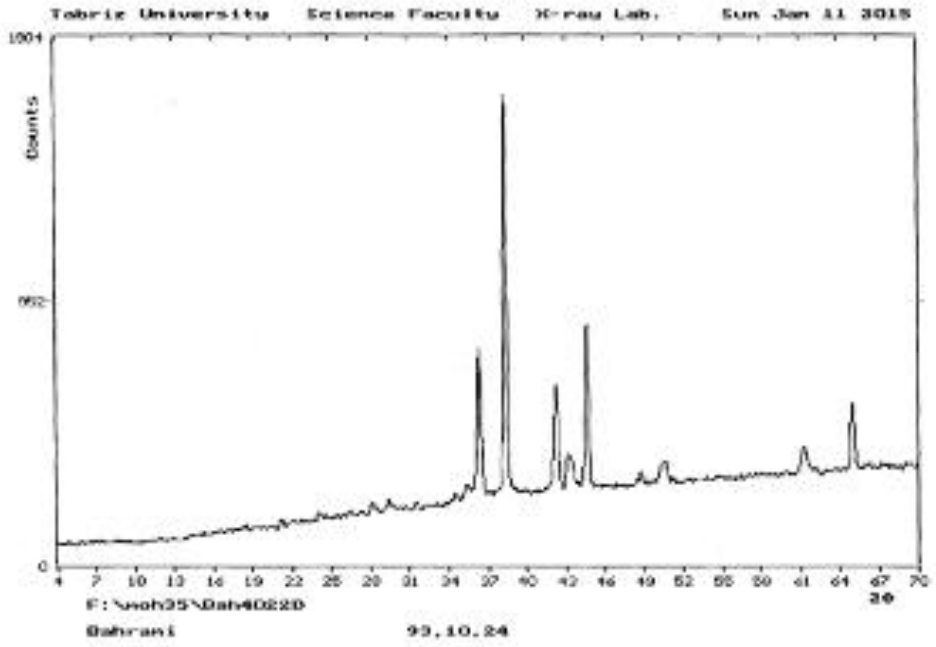
با توجه به استفاده از پودر فلز آلومینیوم و کاربرد گاز اکسیژن در مشعل پلاسمایی و تولید نمونه سوم و نتایج حاصله به این نکته می‌توان دست یافت که ماده آلومینا یک اکسید غیر فلزی است و خواص کاملا متفاوتی با فلز آلومینیوم از لحاظ دمای ذوب، خواص فیزیکی و شیمیایی دارا می‌باشد. در این آزمایش، تولید و لایه نشانی شد و در نهایت کامپوزیتی از آلومنیوم و آلومینا به وجود آمد. این مسئله نشان دهنده این موضوع می‌باشد که مقداری از پودر آلومینیوم مورد استفاده ذوب و اکسید گردیده و به آلومینا (اکسیدآلومینیوم) تبدیل شده است و ما بقی لایه نشانی شده فقط ذوب گردیده و با انتقال اسپری پلاسمایی بروی استیل نسوز نشسته است.



شکل۴ - طیف آلومینا نمونه۱تولیدبا گازنیتروژن



شکل۵- طیف آلومینا نمونه۲ تولیدبا گاز اکسیژن



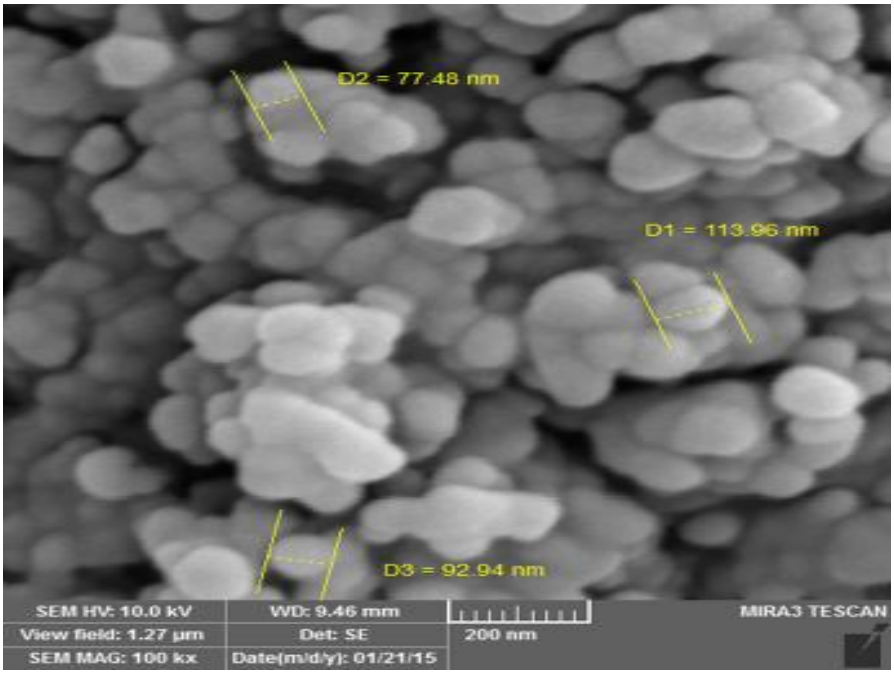
شکل۶- طیف‌های آلومیناوآلومینیوم نمونه۳ تولید با گازاکسیژن

در تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM که از نمونه‌های تولیدی حاصل گردیده، ذرات آلومینا در حدود نانومتر مشخص شده است. در تصویر SEM مربوط به نمونه سوم ذرات آلومینا و ذراتی از آلومینیوم به صورت میله‌ای مشخص هستند که این میله‌ای بودن تشکیل کامپوزیتی از مواد را تایید می‌کند. طیف‌های پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌های لایه نشانده شده توسط دستگاه اشعه X دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز گرفته شده‌اند. مقایسه این طیف‌ها با طیف‌های استاندارد Al_2O_3-α تشکیل فیلم‌هایی از این ترکیبات را روی زیر لایه استیل نسوز تایید می‌کنند.

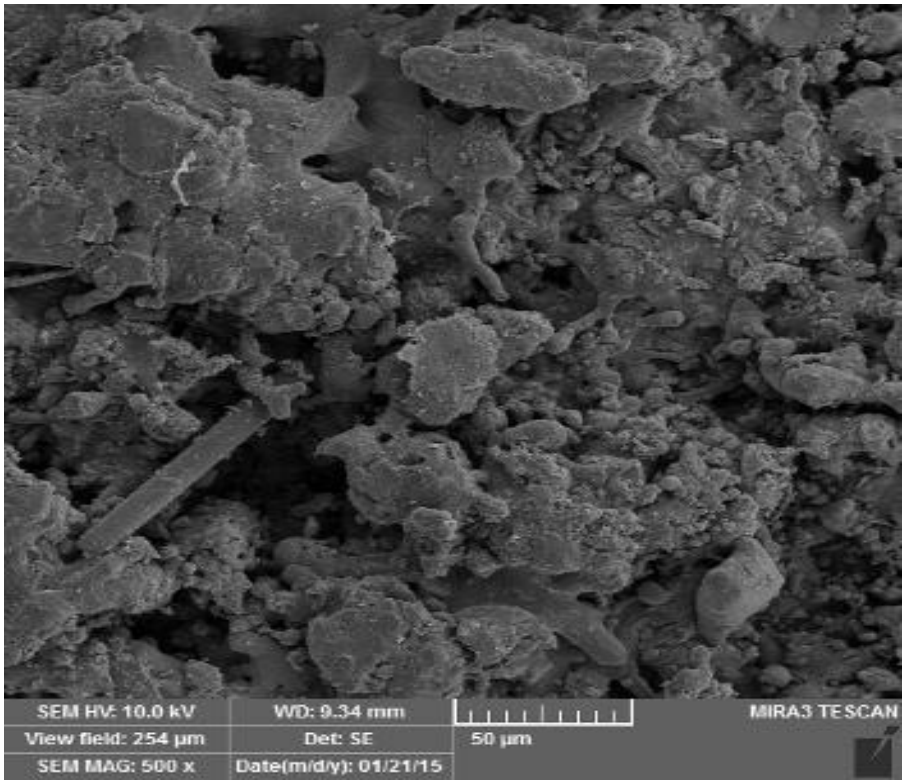
در شکل ۴ ، طیف‌های XRD نمونه ۱ و در شکل۵ طیف‌های مربوط به نمونه ۲ و در شکل ۶ طیف‌های مربوط به نمونه۳ دایر بر تشکیل Al_2O_3 داده شده‌اند. مورفولوژی سطح نمونه‌های پاشش شده (اسپری شده) به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) دانشگاه تبریز (مدل Mira 3 TESCAN) مشخص گردیده‌اند. شکل‌های ۷ و ۸ عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی لایه آلومینا که توسط جت‌های پلاسمای نیتروژن و اکسیژن تهیه شده‌اند را نشان می‌دهند. همچنین ملاحظه می‌شود که در حالت استفاده از اکسیژن و فلز آلومینیوم (بجای پودر آلومینا و نیتروژن) نتیجه قابل توجه است و آن تشکیل کامپوزیت آلومینا-آلومینیوم می‌باشد. همچنین موثر بودن پلاسمای اکسیژنی نسبت به پلاسمای نیتروژنی در لایه نشانی آلومینا از پودر فلز آلومینیوم، نیز از نتایج تصاویر SEM و XRD مشهود می‌باشد. در مورد نمونه شماره ۳ نتایج نشان می‌دهد که لایه آلومینا که یک ماده غیر فلزی با خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت از آلومینیوم فلزی است، روی زیر لایه تشکیل می‌شود. تشکیل کامپوزیت $Al2O_3 - Al$ (سرامیک – فلز) ناشی از این موضوع است که پوشش‌های سطح از ذراتی تشکیل می‌شوند که یا کاملا اکسید شده‌اند و یا به طور جزیی ذوب شده اند.

در شکل۸ ، شکل میله گونه (مربوط به نمونه ۳) نشانه‌ای از تشکیل نوعی کامپوزیت می‌باشد. در آزمایش‌های ما میانگین قطر ذرات نانو آلومینا حدود nm۷۹ بود. به علاوه نتایج نشان داده‌اند که در حالت استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی، اشکال غیر منظمی با ابعاد گوناگون (nm۱۰۰-۱۰) وجود دارد. همچنین تشکیل کلاسترهایی از این مولکول‌ها با ابعاد nm۵۰-۵ نیز می‌تواند تشخیص داده شود.

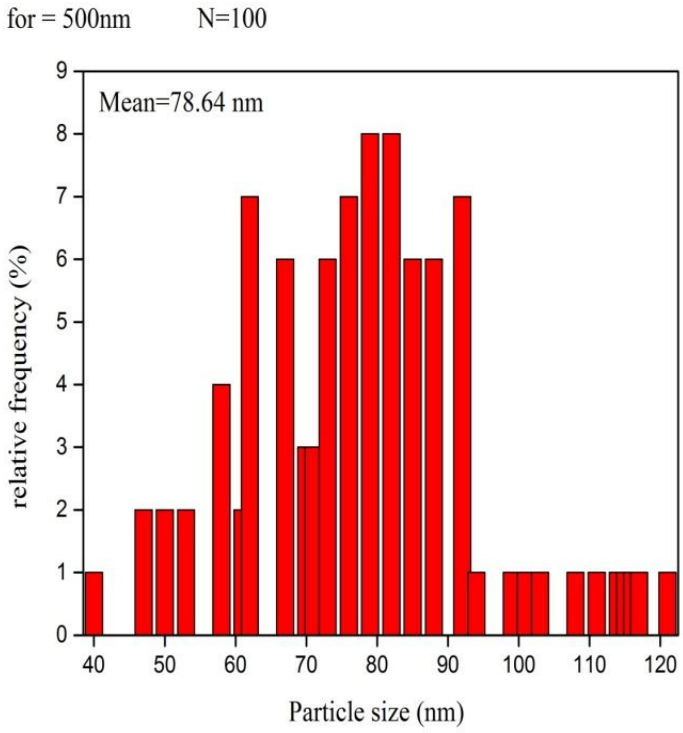
به عنوان نمونه توزیع ابعاد دانه‌ها و قطعات بروی استیل در شکل۹ نشان داده شده است. با بررسی نمودار شکل ۹ به این نکته می‌توان دست یافت که توزیع دانه بندی ذرات لایه نشانی با این روش بیش‌تر در محدوده ۷۰تا ۹۰نانومتر می‌باشد.



شکل۷- تصویر SEM مربوط به نمونه لایه نشانی شده با آلومینا



شکل۸ - تصویر SEM مربوط به نمونه لایه نشانی شده با آلومینا وآلومینیوم



شکل۹- توزیع ابعاد دانه‌ها و قطعات تشکیل یافته روی استیل نسوزمربوط به لایه نشانی باآلومینا

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز تحت عنوان: طراحی و ساخت تورچ پلاسمایی برای لایه نشانی می‌باشد.

بدین وسیله از اداره پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز که در تحقق این کار پژوهشی ما را مساعدت و پشتیبانی کرده‌اند، سپاسگزاری می‌کنیم.

References:

1-J. ReeceRoth, Industrial Plasma Engineering-IOP.Publishing,London, 2001.

2- P. Fauchais..; "Understanding Plasma Spraying"; J Phys D: Appl Phys; 37:R86-R108, 2004.

3- C.E Mancini.,C.C Berndt,L. Sun,A. Kucuk; "Porosity determinations in thermally sprayed hydroxyapatite coatings"; J. Mat. Sci.; 36: 3891-96,2001.

.

4- L. Sun.,C.C Berndt.,C.P. Grey.; "Phase, structural and microstructural investigations of plasma sprayed hydroxyapatite coatings"; Materials Science and Engineering: A360: 70-84, 2003.

5- F. Nadeau,L. Pouliot andJ. Blain Thermal Spray: Surface Engineering via Applied Research ed C C Berndt (Ohio, USA: ASM International Materials Park) pp. 1131–7, 2000.

6- T. Haure, ADenoirjean, P.Tristant, H.Hidalgo, S.Koram andP. Fauchais 2004 Alumina splat on alumina substrate Proc. ITSC (Osaka, Japan,) at press, 2004.

7- Sobhanian S.,Low Temperature Plasma Sources, Workshop On low Temperrature Plasma And Their Applicatins,Tabriz university.

8- Farancies,F.chen.1994.Industrial Applaication of Low Temperature Plasma Physics.Part A.Unive.california.

9- Pfender,E., Fincke,J.R. and R. Spores, "Entrainment of Cold Gas into thermal PlasmaJets," Plasma Chem. Plasma Process. 11, 529-543,1991.

10- Mauer,G., Vasen,R., Stover ,D., "Atmospheric plasma spraying of yttria-stabilized zirconia coatings with specific porosity" , Surface & Coatings Technology 204, 172–179,2009.

11- Leal-Quiros,Ed bertho,Plasma Processing of Municipal Solid Waste,Brazilian Journal of Physics34(2004)

12- Rointan,F.Bunshah.2001.Handbook of preposition Technologies for Film and Coating.

13- Smagorinski, M.E., and Tsanrizos, P.G., "Production of Spherical Titanium Powder by PlasmaAtomization", Proceedings of PM2TEC Conference, Orlando, USA, p.3-248 – 3-260, 2002.

14- Indian Journal of Engineering & Materials Sciences Vol.17,June2010,pp199-207.