

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

پوشش دهی نانوذرات زیرکونیای پایدار شده با ایتریا بر روی سوپرآلیاژ اینکولوی ۸۲۵ با استفاده از رسوب دهی الکتروفور تیک

مجتبی احمدی^۱، علی گلشنی عجب شیر^۲، حسین آقاجانی^۳

گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

چکیده

سوپرآلیاژهای آهن- نیکل کاربرد وسیعی در موتورهای توربین گازی دارند. اعمال پوشش‌های سد حرارتی بر روی قسمت‌های داغ موتور باعث افزایش راندمان در این موتورها می‌شود. متداول‌ترین ماده برای تولید پوشش‌های سد حرارتی، زیرکونیای پایدار شده با ایتریا (YSZ) است که شامل زیرکونیای آلاینده شده با ایتریا می‌باشد. رسوب‌دهی الکتروفور تیک (EPD) یکی از روش‌های پوشش‌دهی نانوذرات YSZ است که شامل معلق‌سازی ذرات باردار در یک محیط مایع و رسوب‌دهی آن‌ها بر روی یک زمینه رسانا با بار مخالف در اثر اعمال میدان الکتریکی است. تهیه سوسپانسیون پایدار برای به دست آوردن پوشش مناسب ضروری است. هدف از این پژوهش پوشش‌دهی نانوذرات زیرکونیای پایدار شده با ایتریا بر روی سوپرآلیاژ اینکولوی ۸۲۵ با استفاده از رسوب‌دهی الکتروفور تیک است. بدین منظور ابتدا پایداری سوسپانسیون نانوذرات YSZ در استون بدون پراکنده‌ساز و در حضور مقادیر مختلف پراکنده‌ساز ید بررسی شد. پایداری سوسپانسیون‌های حاصل به وسیله تصاویر تهیه شده پس از گذشت زمان‌های مختلف و اندازه‌گیری مقادیر متوسط اندازه ذرات و پتانسیل زتا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سوسپانسیون نانوذرات YSZ در استون و در حضور ۱۲ درصد وزنی ید پایداری مناسبی دارد و اندازه متوسط ذرات و پتانسیل زتای آن به ترتیب برابر ۱۱۱/۶ نانومتر و ۵۰/۲ میلی‌ولت اندازه‌گیری شد. در ادامه به بررسی تأثیر پارامترهای ولتاژ و زمان رسوب‌دهی بر روی کیفیت پوشش به دست آمده از سوسپانسیون بهینه پرداخته شد. طبق نتایج به دست آمده، ولتاژ ۶ ولت و زمان رسوب‌دهی ۲ دقیقه برای ایجاد پوشش عاری از ترک و حفره مناسب است. کیفیت این پوشش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: YSZ - رسوب‌دهی الکتروفور تیک - استون - پتانسیل زتا - پایداری سوسپانسیون

مقدمه

سوپرآلیاژهای آهن- نیکل به خاطر ویژگی‌های ساختاری مطلوب و ضریب انبساط حرارتی کم در دماهای بالا برای استفاده در موتورهای توربین گازی مناسب هستند. کاربرد اصلی این سوپرآلیاژها در ساخت پره‌ها، دیسک‌ها و قطعات ریختگی موتورهای جت است. به منظور افزایش دمای موتور (دمای منبع گرم) و افزایش راندمان، قسمت‌های داغ موتور با

پوشش‌های سد حرارتی پوشش داده می‌شوند تا اتلاف حرارت کاهش یابد. متداول‌ترین ماده برای تولید پوشش‌های سد حرارتی، زیرکونیای پایدار شده با ایتریا (YSZ) است که شامل زیرکونیای آلاینده شده با ایتریا است [۱].

روش‌های مختلفی برای اعمال پوشش‌های YSZ به کار گرفته شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به رسوب‌دهی الکتروشیمیایی فاز بخار (Electrochemical Vapor Deposition) [۲]، رسوب‌دهی شیمیایی فاز بخار (Chemical Vapor Deposition) [۳]، رسوب‌دهی فیزیکی فاز بخار (Physical Vapor Deposition) [۴]، رسوب‌دهی پاششی الکترواستاتیک (Electrostatic Spray Deposition) [۵]، فرآیند سل ژل (Sol-gel) [۶] و رسوب‌دهی الکتروفور تیک (Electrophoretic Deposition) [۷] اشاره کرد.

روش EPD یکی از فرآیندهای کلونیدی در ساخت سرامیک‌هاست که در مقایسه با سایر روش‌ها دارای مزایایی از قبیل زمان کوتاه فرآیند پوشش‌دهی، نیاز به تجهیزات ساده، عدم محدودیت در شکل هندسی زمینه و امکان کنترل آسان ضخامت پوشش است [۸ و ۹]. این روش شامل معلق‌سازی ذرات باردار در یک محیط مایع و رسوب‌دهی آن‌ها بر روی یک زمینه رسانا با بار مخالف در اثر اعمال میدان الکتریکی است [۱۰]. تهیه سوسپانسیون پایدار برای به دست آوردن پوشش مناسب ضروری است [۱۱ و ۱۲]. در صورتی که ذرات در داخل سوسپانسیون به خوبی پایدار نشوند، ذرات آگلومره شده بر روی سطح زمینه تجمع کرده و ساختاری با پیوند ضعیف، چگالی خام کم و رفتار بد سینترینگ را تشکیل خواهند داد. همچنین تحقیقات نشان می‌دهد امکان به دست آوردن پوشش‌های سرامیکی متراکم با استفاده از ذرات با ابعاد نانومتری بسیار بیش‌تر از ذرات با اندازه درشت است [۱۳ و ۱۴]. بنابراین، به دست آوردن سوسپانسیون پایدار با استفاده از ذرات ریز سرامیکی برای فرآیند EPD مناسب خواهد بود. استفاده از آب به عنوان حلال در فرآیند EPD به دلیل کنترل‌پذیری و تولید حباب در سطح الکتروود محدودیت دارد. بنابراین معمولاً از حلال‌های آلی در این فرآیند استفاده می‌شود [۱۹-۱۵]. نیروی جاذبه واندروالسی موجود بین ذرات ماکروسکوپی باعث می‌شود که ذرات به هم چسبیده و ته‌نشین شوند. برای غلبه بر این مشکل باید بین ذرات نیروی دافعه ایجاد شود. این نیروی دافعه باید بتواند مانع از تجمع ذرات در کنار هم و افزایش پایداری سوسپانسیون شود [۲۰].

در این پژوهش به بررسی پایداری نانوذرات زیرکونیای پایدار شده با ایتریا (YSZ) در استون و با استفاده از پایدارکننده ید پرداخته شده است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۰۹۱۴۱۱۰۸۳۹۹

mojtaba1991@yahoo.com (نویسنده مخاطب)

۲- کارشناس ارشد

۳- عضو هیأت علمی

است. بنابراین کاهش یا افزایش بیش از اندازه مقدار ید باعث آگلومره شدن و ته‌نشینی ذرات YSZ در سوسپانسیون می‌شود.

شکل (۵) نمودار پتانسیل زتا بر حسب مقادیر مختلف ید را برای سوسپانسیون‌های YSZ در استون نشان می‌دهد. طبق این نمودار با افزایش مقدار ید تا ۱۲ درصد وزنی مقدار پتانسیل زتا افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده افزایش در بار سطحی ذرات است. اما در مقادیر بیش‌تر از ۱۲ درصد وزنی مقدار پتانسیل زتا و بار سطحی ذرات کاهش می‌یابد. دلیل این رفتار به تجمع یون‌های H^+ در سطح ذرات برمی‌گردد. در اثر افزودن ید به سوسپانسیون با حلال استون، یون‌های H^+ طبق واکنش زیر تولید می‌شوند.



معمولاً سطح ذرات YSZ دارای گروه‌های هیدروکسیل است که از رطوبت هوا جذب شده است. این گروه‌های هیدروکسیل، یون‌های H^+ را جذب می‌کنند و این امر باعث ایجاد بار مثبت در سطح ذرات YSZ می‌شود. با افزایش مقدار ید تعداد یون‌های H^+ تولید شده افزایش یافته و در نتیجه بار ایجاد شده در سطح ذرات YSZ افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش مقدار ید باعث کاهش آگلومره شدن و اندازه متوسط ذرات و افزایش بار سطحی و پتانسیل زتا می‌شود. اما وقتی تعداد این یون‌ها بیش از حد افزایش یابد، به دلیل به هم فشردگی لایه مضاعف الکتریکی، ذرات آگلومره شده و پتانسیل زتا کاهش می‌یابد [۲۱].

پوشش‌دهی الکتروفورتیک

با توجه به شکل‌های (۳)، (۴) و (۵) سوسپانسیون نانوذرات YSZ در استون و در حضور ۱۲ درصد وزنی ید به عنوان سوسپانسیون بهینه انتخاب شد و فرآیند پوشش‌دهی از این سوسپانسیون مورد بررسی قرار گرفت. پوشش‌دهی در ولتاژهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ولت و در زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه بر روی زمینه انجام شد. شکل (۶) تصاویر نمونه‌های پوشش داده در ولتاژ ۳ ولت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشخص است، در ولتاژ ۳ ولت حتی در زمان‌های طولانی نیز سطح زمینه به طور کامل پوشش داده نشده است. نمونه‌های پوشش داده شده در ولتاژ ۶ ولت وضعیت بهتری داشتند. همچنین، در ولتاژهای ۹ و ۱۲ ولت پوشش در تمام سطح زمینه تشکیل شد اما حفره‌های ریزی بر روی سطح پوشش‌ها قابل مشاهده بود. بنابراین ولتاژ ۶ ولت به عنوان ولتاژ بهینه انتخاب شد. در بین پوشش‌های ایجاد شده در ولتاژ ۶ ولت، پوشش تشکیل شده در زمان رسوب‌دهی ۲ دقیقه در بررسی چشمی فاقد ترک و حفره بود، ولی در بقیه نمونه‌ها حفره‌های ریزی مشاهده شد. بنابراین پوشش اعمال شده با ولتاژ ۶ ولت و زمان ۲ دقیقه به عنوان پوشش بهینه انتخاب شد. شکل (۷) تصویر SEM از سطح و مقطع عرضی این نمونه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشخص است، سطح این پوشش فاقد هرگونه ترک است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، ابتدا پایداری نانوذرات YSZ در حلال استون بدون پایدارکننده و در حضور مقادیر مختلف پراکنده‌ساز ید مورد بررسی قرار گرفت و سپس پوشش‌دهی بر روی سوپراکلیاز اینکولوی ۸۲۵ در ولتاژها و زمان‌های مختلف بررسی شد که نتایج به دست آمده به صورت زیر است:

همچنین تأثیر پارامترهای ولتاژ و زمان رسوب‌دهی بر کیفیت پوشش به دست آمده از سوسپانسیون بهینه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نانوذرات YSZ (3 mol% Y_2O_3) با میانگین اندازه ذرات کم‌تر از ۵۰ نانومتر و خلوص ۹۹ درصد (Neutrino Co. Ltd.)، ید با خلوص ۹۹/۸ درصد (Carlo Erba) و حلال استون با خلوص ۹۹ درصد استفاده شده است. شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نانوذرات YSZ را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی پایداری نانوذرات YSZ در استون، سوسپانسیون‌هایی با غلظت پودر ۱۰ g/L و در حضور مقادیر ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد وزنی پراکنده‌ساز ید تهیه شد. برای تهیه سوسپانسیون‌ها، ابتدا نانوذرات YSZ و ید در مقادیر مشخص به حلال اضافه شده و به مدت ۱ ساعت روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند. سپس سوسپانسیون‌ها به مدت ۴۵ دقیقه در داخل حمام التراسونیک قرار گرفتند. در ادامه سوسپانسیون‌های به دست آمده در داخل استوانه مدرج ریخته شدند و پایداری آن‌ها پس از گذشت زمان‌های مشخص مورد بررسی قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری مقادیر اندازه متوسط ذرات و پتانسیل زتا برای سوسپانسیون‌ها از دستگاه زتامتر (Microtrac, Nanotracer Wave, USA) استفاده شد.

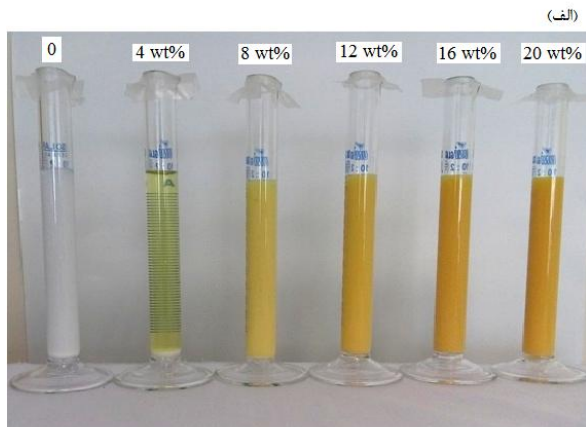
در فرآیند پوشش‌دهی، از قطعات سوپراکلیاز اینکولوی ۸۲۵ با ابعاد $10 \times 10 \times 3$ میلی‌متر که قبلاً توسط دستگاه وایرکات برش داده شده بود، به عنوان زمینه و از ورق فولاد زنگ‌نزن با ابعاد $30 \times 20 \times 1$ میلی‌متر به عنوان الکترود با بار مخالف استفاده شد. زمینه به صورت موازی و به فاصله ۱ سانتی‌متر در بین دو الکترود فولاد زنگ‌نزن قرار گرفت. شکل (۲) طرح‌واره‌ای از سیستم پوشش‌دهی را نشان می‌دهد. پوشش‌دهی از سوسپانسیون بهینه با غلظت ۱۰ g/L در ولتاژهای ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ولت و زمان‌های رسوب‌دهی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه انجام گرفت. نمونه‌های پوشش داده شده به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه خشک شدند و سپس کیفیت آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سطح و مقطع عرضی پوشش بهینه توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM, Mira3) Tescan مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

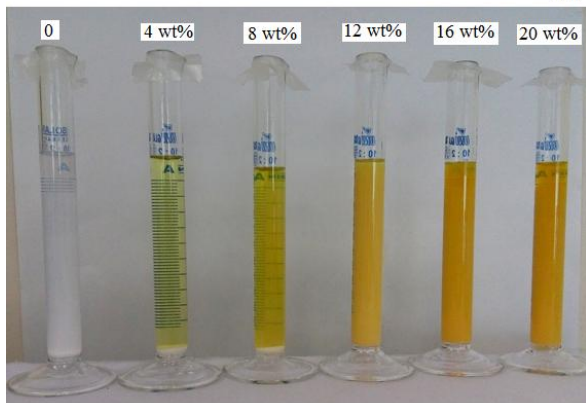
بررسی پایداری سوسپانسیون‌ها

شکل (۳) تصویر سوسپانسیون‌های نانوذرات YSZ در استون و در حضور مقادیر مختلف پایدارکننده ید را پس از گذشت مدت زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشخص است با افزایش مقدار ید تا ۱۲ درصد وزنی پایداری سوسپانسیون‌ها بهبود یافته است. سوسپانسیون‌های حاوی ۰ و ۴ درصد وزنی ید پایداری خوبی نداشته و پس از گذشت ۱ ساعت ته‌نشین شده‌اند. سوسپانسیون حاوی ۸ درصد وزنی ید تا ۲۴ ساعت و سوسپانسیون حاوی ۱۲ درصد وزنی ید تا ۷۲ ساعت پایدار مانده است. اما با افزایش بیش‌تر مقدار ید، پایداری سوسپانسیون‌ها افت پیدا کرده و سوسپانسیون‌های حاوی ۱۶ و ۲۰ درصد وزنی ید ته‌نشین شده‌اند.

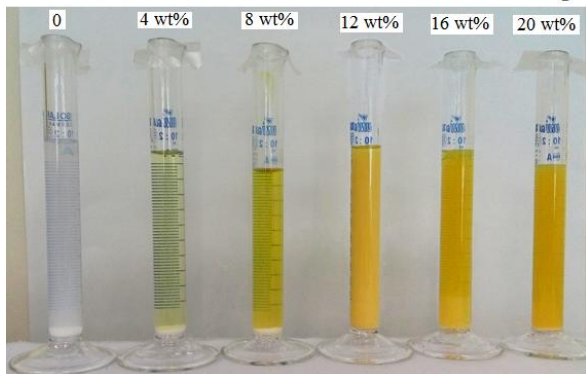
شکل (۴) نمودار اندازه متوسط ذرات پودر YSZ در استون را بر حسب مقادیر مختلف ید نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، با افزایش مقدار ید تا ۱۲ درصد وزنی اندازه ذرات به طور قابل توجهی کاهش یافته است، اما با افزایش بیش‌تر مقدار ید اندازه ذرات در سوسپانسیون‌ها افزایش یافته



(الف)

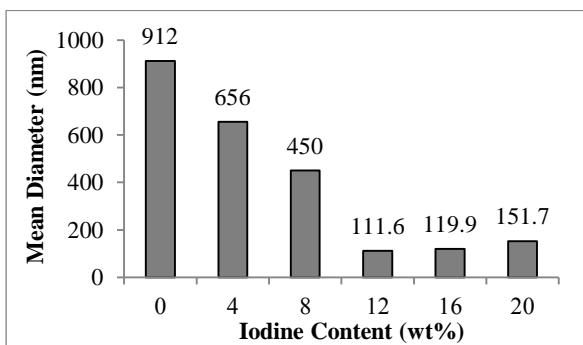


(ب)



(ج)

شکل (۳) - تصویر سوسپانسیون‌های نانوذرات YSZ در استون و در حضور مقادیر مختلف پایدارکننده ید پس از گذشت (الف) ۱ ساعت، (ب) ۲۴ ساعت و (ج) ۷۲ ساعت.



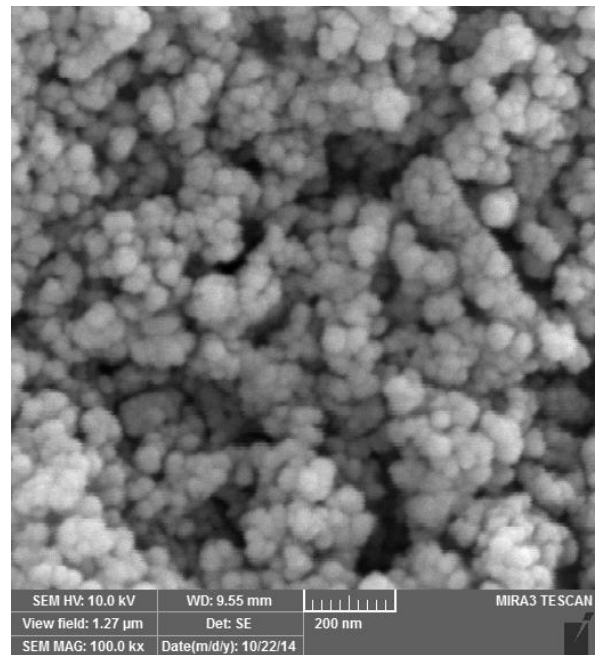
شکل (۴) - نمودار اندازه متوسط ذرات پودر YSZ در استون بر حسب مقادیر مختلف ید.

(۱) افزودن ید به سوسپانسیون نانوذرات YSZ در استون تا ۱۲ درصد وزنی باعث بهبود پایداری می‌شود ولی افزودن بیش‌تر از ۱۲ درصد وزنی باعث کاهش پایداری سوسپانسیون می‌شود.

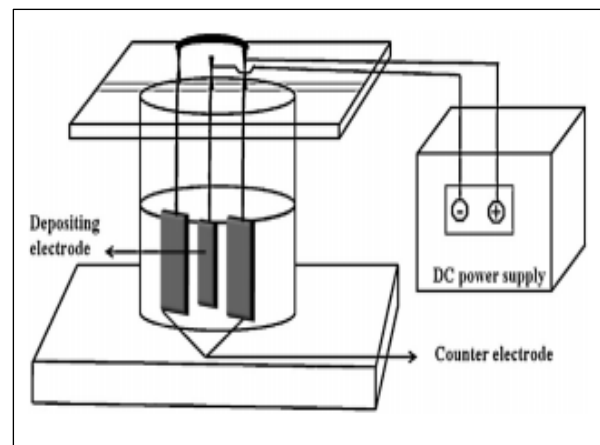
(۲) سوسپانسیون نانوذرات YSZ در استون حاوی ۱۲ درصد وزنی ید علاوه بر پایداری مناسب، دارای پتانسیل زتای $50/2 \text{ mV}$ است که برای فرآیند رسوب‌دهی الکتروفوریتیک مناسب است.

(۳) پوشش ایجاد شده با استفاده از سوسپانسیون نانوذرات YSZ در استون حاوی ۱۲ درصد وزنی ید در ولتاژ ۶ ولت و زمان ۲ دقیقه از کیفیت مطلوبی برخوردار است.

(۴) علی‌رغم سرعت زیاد تبخیر استون، ایجاد پوشش‌های بدون ترک با استفاده از حلال استون میسر است.



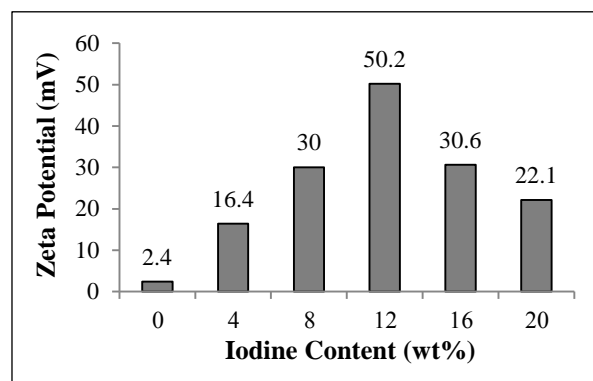
شکل (۱) - تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نانوذرات YSZ مورد استفاده.



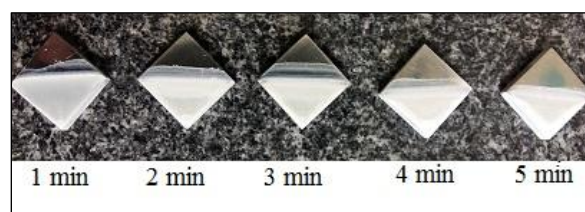
شکل (۲) - طرح‌واره‌ای از سیستم پوشش‌دهی EPD [۱۵].

مراجع

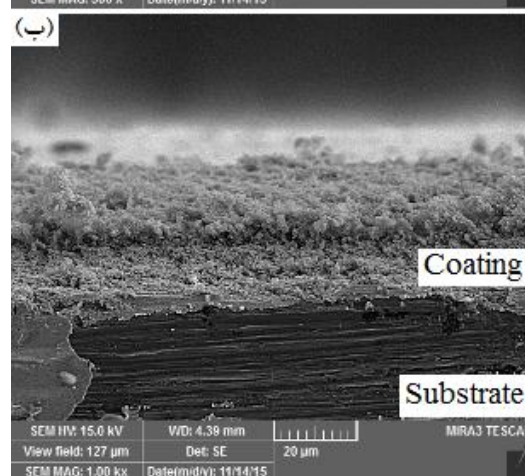
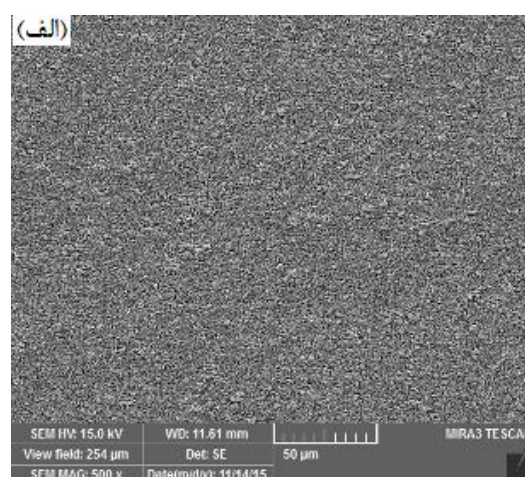
- [1] Mouritz A.P., *Introduction to Aerospace Materials*, Woodhead Publishing, USA, 2012.
- [2] Pal U.B., and Singhal S.C., Electrochemical vapor deposition of yttria-stabilized zirconia, *Journal of Electrochemical Society*, v. 137, 1990, pp. 2937-2941.
- [3] Cao G.Z., and Brinkman H.W., Meijerink J., De Vries K.J., and Burggraaf A.J., Pore narrowing and formation of ultrathin yttria-stabilized zirconia layers in ceramic membranes by chemical vapor/electrochemical vapor deposition, *Journal of American Ceramic Society*, v. 76, 1993, pp. 2201-2208.
- [4] Unal O., Mitchell T.E., and Heuer A.H., Microstructures of Y_2O_3 -stabilized ZrO_2 electron beam physical vapor deposition coating on Ni-base superalloys, *Journal of American Ceramic Society*, v. 77, 1994, pp. 984-992.
- [5] Chen C.H., Nord-Varhaug K., and Schoonman J., Coating of yttria-stabilized zirconia (YSZ) thin films on Gadolinia-doped ceria (GCO) by the electrostatic spray deposition (ESD) technique, *Journal of Materials Synthesis and Processing*, v. 4, 1996, pp. 189-194.
- [6] Mehta K., Xu R., and Virkar A.V., Two-layer fuel cell electrolyte structure by sol-gel processing, *Journal of Sol-gel Science and Technology*, v. 11, 1998, pp. 203-207.
- [7] Tassel J.V., and Randall C.A., Electrophoretic deposition and sintering of thin/thick PZT films, *Journal of European Ceramic Society*, v. 19, 1999, pp. 955-958.
- [8] Bersa L., and Meilin L., A review on Fundamentals and Applications of Electrophoretic Deposition (EPD), *progress in materials science*, v. 52, n. 1, 2007, pp. 1-61.
- [9] Boccaccini A.R., and Zhitomirsky I., Application of electrophoretic and electrolytic deposition techniques in ceramic processing, *Current opinion in solid state and materials science*, v. 6, n. 3, 2002, pp. 251-260.
- [10] De Riccardis M.F., Ceramic Coatings Obtained by Electrophoretic Deposition: Fundamentals, Models, Post-Deposition Processes and Applications, In: Shi F. (Ed.), *Ceramic Coatings – Applications in Engineering*, InTech, China, 2012.
- [11] Bouyer F., and Foissy A., Electrophoretic Deposition of Silicon Carbide, *Journal of American Ceramic Society*, v. 82, 1999, pp. 2001-2010.
- [12] Ishihara T., Sato K., and Takita Y., Electrophoretic Deposition of Y_2O_3 -stabilized ZrO_2 Electrolyte Films in Solid Oxide Fuel Cells, *Journal of American Ceramic Society*, v. 79, 1996, pp. 913-919.
- [13] Duran P., Villegas M., Capel F., Recio P., and Moure C., Low-temperature Sintering and Microstructural Development of Nanocrystalline Y-TZP powders, *Journal of European Ceramic Society*, v. 16, 1996, pp. 945-952.
- [14] Liu D., Densification of Zirconia from Submicron-sized to Nano-sized Powder Particles, *Journal of Materials Science Letter*, v. 17, 1998, pp. 467-469.
- [15] Das D., and Basu R.N., Suspension Chemistry and Electrophoretic Deposition of Zirconia Electrolyte on Conducting and Non-Conducting Substrates, *Materials Research Bulletin*, v. 48, 2013, pp. 3254-3261.
- [16] Mahmoodi S., Sorkhi L., Farrokhi-Rad M., and Shahrabi T., Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite-Chitosan Nanocomposite Coatings in Different Alcohols, *Surface & Coatings Technology*, v. 216, 2013, pp. 106-114.
- [17] Farrokhi-Rad M., and Shahrabi T., Effect of Triethanolamine on the Electrophoretic Deposition of Hydroxyapatite Nanoparticles in Isopropanol, *Ceramics International*, v. 39, 2013, pp. 7007-7013.
- [18] Popa A.M., Vleugels J., and Van der Biest O., Influence of Ammonium Salt of Poly-Methacrylic Acid



شکل (۵) - نمودار پتانسیل زتا بر حسب مقادیر مختلف ید برای سوسپانسیون‌های YSZ در استون.



شکل (۶) - تصاویر پوشش‌های ایجاد شده با ولتاژ ۳ ولت در زمان‌های رسوب‌دهی مختلف.



شکل (۷) - تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از پوشش ایجاد شده با ولتاژ ۶ ولت و زمان ۲ دقیقه (الف) سطح نمونه و (ب) مقطع عرضی نمونه.

and Butylamine Addition on the Viscosity and Electrophoretic Deposition Behavior of Ethanol-Based Powder Suspensions, *Colloids and Surfaces A, Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 267, 2005, pp. 74-48.

[19] De Riccardis M.F., Carbone D., and Rizzo A., A Novel Method for Preparing and Characterizing Alcoholic EPD Suspensions, *Colloid and Interface Science*, v. 307, n. 1, 2007, pp.109-115.

[20] Rahaman M.N., *Ceramic Processing and Sintering*, Marcell Dekker Inc., New York, 2003.

[21] Das D., and Basu N., Suspension Chemistry and Electrophoretic Deposition of Zirconia Electrolyte on Conducting and Non-conducting Substrates, *Materials Research Bulletin*, v. 48, 2013, pp. 3254-3261.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه

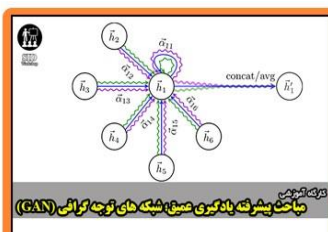


فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی