

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله



بررسی تأثیر ترکیب پودر و زمان بر ریزساختار پوشش نفوذی آلومینایدی اصلاح- شده با سیلیسیم روی سوپر آلیاژ IN-۷۳۸LC

ماندانا قاسمیان صفایی^۱، سعید رستگاری^۲

^۱. دانشگاه علم و صنعت ایران (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد)

^۲. دانشگاه علم و صنعت ایران (دانشیار دانشکده مهندسی مواد و متالورژی)

چکیده

ریزساختار پوشش آلومینایدی اصلاح شده توسط Si بر روی سوپر آلیاژ پایه نیکل IN-۷۳۸LC به روش سمانتاسیون جعبه‌ای که با شرایط مختلف ترکیب پودر و زمان حرارت‌دهی ایجاد شده، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ نوری و آنالیز EDAX مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که نوع فعال‌کننده در ضخامت پوشش موثر بوده و بیشترین ضخامت توسط فعال‌کننده NH_4Cl نسبت به AlCl_3 به دست می‌آید. از طرفی ضخامت پوشش با درصد آلومینیوم و فعال‌کننده یکسان زمانی که از Al و Si خالص استفاده شد بیش‌تر از زمانی است که از منبج آلیاژی Al-20Si استفاده گردید. بررسی اثر زمان حرارت‌دهی نشان داد که با افزایش این زمان و با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها، ضخامت افزایش می‌یابد. آنالیز پوشش نشان داد غلظت Si در زمینه پوشش کم بوده و در کاربیدها بیش‌تر است که در کاربیدها هم غلظت Si در لایه‌ی خارجی کاربید بیش‌تر است. مکانیزم تشکیل پوشش نفوذ به داخل عناصر بوده و نفوذ به خارج کمتر اتفاق افتاده است.

واژه‌های کلیدی: پوشش نفوذی آلومینایدی؛ پوشش اصلاح‌شده توسط سیلیسیم؛ مکانیزم تشکیل؛ سمانتاسیون جعبه‌ای؛ ریزساختار؛ سوپر آلیاژ پایه نیکل؛ فعال‌کننده.

مقدمه

نیاز به کارایی و توان بیش تر باعث استفاده ی بیش تر از مواد پیشرفته در کاربردهای دمای بالا شده است. در این نوع کاربردها، پوشش نقش بسیار مهمی دارد. پوشش های دما بالا به منظور کاهش تخریب و یا ایجاد یک عایق حرارتی در مقابل محیط گرم به کار می روند. از آنجایی که عمر قطعات به تخریب سطح بستگی دارد، هزینه و بهبود کارایی هم به نوعی به استفاده از پوشش بستگی خواهد داشت. تخریب سطح با اکسیداسیون، خوردگی و سایش توسط ذرات جامد اتفاق می افتد [۱].

سوپر آلیاژ پایه نیکل عمدتاً در صنعت برای ساخت قطعاتی مثل پره ی ثابت و متحرک توربین گازی که در درجه حرارت بالا کار می کنند، کاربرد دارد [۲]. در این قطعات باید به طور همزمان مقاومت به خوردگی و خواص مکانیکی خوبی وجود داشته باشد. این دو ویژگی اغلب همزمان در یک آلیاژ جمع نمی شوند. یک روش حفظ آن ها استفاده از آلیاژ با خواص مکانیکی بهینه و سپس ایجاد پوشش محافظ روی سطح آن است تا مقاومت به خوردگی را بهبود دهد [۳]. سوپر آلیاژهای مدرن و جدید با ریزساختار و ترکیب شیمیایی بهینه مقاومت به خزش بسیار بالایی دارند اما مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی آن ها در طولانی مدت ضعیف است. بنابراین برای کارایی بهتر باید سطح را به طریقی اصلاح کرد [۲]. به این منظور روش هایی برای ایجاد پوشش های مقاوم به اکسیداسیون و خوردگی وجود دارد که به سه دسته ی اصلی تقسیم می شود [۴]:

پوشش روکشی^۱ به روش هایی مانند پاشش حرارتی، روکش کاری^۲ و رسوب فیزیکی بخار پوشش نفوذی^۳ به روش هایی مانند سمانتاسیون بسته ای، سمانتاسیون خارج از پودر، رسوب شیمیایی بخار و دوغابی

پوشش سد حرارتی^۴ (TBC)

متداول ترین روش در صنعت، روش سمانتاسیون بسته ای یا خارج از پودر است. روش های خارج از پودر و گازی برخلاف روش داخل پودر عاری از آخال های ناشی از مخلوط پودری می باشند [۲]. روش های دوغابی و گازی قادر به پوشش دهی سطوح داخلی (مجاری خنک کننده) و خارجی (سطح ایرفویل^۵) پره ی توربین به طور همزمان می باشند [۵].

در روش نفوذی اغلب، سطح آلیاژ را از Al یا Cr غنی می کنند. آلیاژ کروم دهی شده مقاومت به اکسیداسیون ضعیفی در دمای بالا دارد. بنابراین می توان برای رفع این مشکل و افزایش مقاومت به خوردگی داغ و اکسیداسیون در دمای بالا، دو عنصر را به طور همزمان رسوب داد [۱].

^۱ Overlay coating

^۲ Cladding

^۳ Diffusion coating

^۴ Thermal barrier coating

^۵ Airfoil

در روش نفوذی در کاربردهای هوایی، عمدتاً عنصر Al نفوذ داده می‌شود [۴] که نفوذ Al در زیرلایه سوپر آلیاژ پایه Ni و ایجاد ترکیب بین‌فلزی NiAl پرکاربردترین حالت است [۶]. درصد بالای Al در سوپر آلیاژ مقاومت به اکسیداسیون دما بالا را افزایش می‌دهد اما برای حفظ ماکزیمم استحکام خزشی مقدار آن باید زیر ۶٪ باشد. این آلیاژ در موتور توربین با فشار بالا در معرض تخریب سریع توسط اکسیداسیون، خوردگی دما بالا، خوردگی داغ، آسیب حرارتی، خستگی حرارتی و فوق گرمایش قرار می‌گیرد. ایجاد پوشش روی سطح و یا عملیات سطحی باعث حفظ خواص سطح و زیرلایه می‌شود [۴].

پوشش‌های آلومینایدی ابتدا توسط آزمایشگاه تحقیقاتی جنرال الکتریک در ۱۹۱۱ استفاده شد. مقاومت به اکسیداسیون عالی و هزینه‌ی کم ایجاد آن، باعث شده تا از این پوشش به طور گسترده تا امروز در صنعت استفاده شود. مقاومت به خوردگی پوشش آلومینایدی به توانایی تشکیل پوشش پیوسته، چسبنده و با سرعت رشد آهسته لایه اکسیدی $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ بستگی دارد. پوشش آلومینایدی تشکیل شده از $\beta\text{-NiAl}$ شکننده بوده و به جدایش سولفور در مرز دانه حساس است که منجر به تضعیف فصل مشترک اکسید و زیرلایه و ورقه ورقه شدن می‌شود. برای افزایش مقاومت به خوردگی می‌توان عناصری مثل Y, Si, Cr و ... را بصورت جدا یا هم-زمان وارد پوشش آلومینایدی کرد. این عناصر مقاومت به خوردگی را با بهبود چسبندگی لایه‌ی اکسیدی و ترویج اکسیداسیون انتخابی Al افزایش می‌دهد [۳].

مواد و روش تحقیق

زیرلایه مورد استفاده در این تحقیق IN-۷۳۸LC است. روش پوشش‌دهی، سمانتاسیون جعبه‌ای است. مخلوط پودری جعبه شامل فعال کننده NH_4Cl یا AlCl_3 ، منبع Al و Si خالص یا آلیاژ Al-20Si و پرکننده آلومینا است. ابعاد نمونه 3^*10^*10 mm بوده و با پوساب‌های ۸۰، ۱۲۰، ۲۲۰، ۳۲۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ آماده سازی شده و درون بوته آلومینای خنثی پر شده با مخلوط پودری قرار داده شدند. بوته حاوی پودر و نمونه‌ها درون کوره مقاومتی قرار داده شدند. کوره تا دمای 1050°C گرم شده و ۶ ساعت در این دما نگه داشته شده و سپس خاموش شد. نمونه‌ها درون کوره خنک شدند. جدول شرایط کار و نمونه‌ها را به تفکیک نشان می‌دهد.

ریزساختار توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز EDAX بررسی شدند.

نتایج و بحث

شکل ۱ ریزساختار به دست آمده از نمونه‌ها را توسط میکروسکوپ نوری نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱- (الف و ب) دیده می‌شود پوشش به دست آمده با منبع یکسان، با فعال کننده NH_4Cl ضخامت بیش‌تری نسبت به فعال کننده AlCl_3 دارد. علت آن تفاوت در فشار بخار هالیدهای آلومینیوم و سیلیسیم است که در فعال

کننده $AlCl_3$ چون این اختلاف زیاد است تنها آلومینیوم نفوذ می کند (فشار بخار بیش تری دارد) و به سبب عدم نفوذ سیلیسیم عناصر کم تری وارد زیر لایه شده و در نتیجه ضخامت کمتری به دست می آید [۷].

از طرف دیگر با توجه به نتایج ریزساختار در OM و SEM در شکل های ۱ و ۲ دیده می شود که در داخل پوشش کاربیدهای موجود در زیر لایه وجود دارند و از طرفی ضخامت لایه خارجی نسبت به لایه بین مرزی بسیار زیاد است که این ها خود نشان دهنده مکانیزم غالب تشکیل پوشش نفوذ به داخل عناصر بوده و نفوذ به خارج کم تر اتفاق افتاده است.

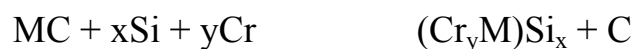
با مقایسه نمونه های ۱۴ و ۱۵ در شکل ۱- (و و ز) می توان دریافت که با افزایش زمان پوشش دهی ضخامت پوشش نیز افزایش می یابد. زیرا عناصر مدت زمان بیشتری در دمای بالا بوده، بیش تر واکنش انجام شده و عنصر بیش تری به زیر لایه وارد می شود. در نتیجه ضخامت افزایش می یابد.

با مقایسه نمونه ۴ و ۸ در شکل ۱- (ب و د) می توان دریافت که ضخامت پوشش در نمونه های به دست آمده توسط منبع خالص Al و Si بیش تر از منبع آلیاژی Al-۲۰Si است. درصد Al و فعال کننده در هر دو حالت یکسان است. بنابراین در حالت خالص از منبع عنصر بیش تری وارد زیر لایه می شود.

ضخامت پوشش های به دست آمده در جدول ۲ گزارش شده است.

نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی به دست آمده در شکل ۲ هم مکانیزم به دست آمده توسط میکروسکوپ نوری را نشان می دهد. از طرفی با توجه به این شکل می توان دید که کاربیدهای زیر لایه که در پوشش وارد شده اند دولایه هستند: لایه خارجی خاکستری و لایه داخلی سفید.

نتایج به دست آمده از EDAX نشان داد که زیر لایه حاوی سیلیسیم بسیار کم بوده و تمرکز سیلیسیم در کاربیدها می باشد. با توجه به شکل ۳ می توان دریافت که نفوذ سیلیسیم به کاربید آن را دولایه می کند. لایه خارجی غنی از سیلیسیم است. کاربید MC (M عمدتاً Ti و یا Ta) توسط لایه سیلیسیم کرومید احاطه شده است. واکنش محتمل برای چنین اتفاقی به صورت زیر است:



سیلیسیم از منبع و کروم از مناطق نزدیک کاربید در زیر لایه به سمت سطح کاربیدها حرکت کرده و در این واکنش شرکت می کنند [۸].

نتیجه گیری

(۱) ضخامت پوشش به دست آمده توسط فعال کننده NH_4Cl نسبت به $AlCl_3$ بیش تر است.

(۲) ضخامت پوشش با درصد آلومینیوم و فعال کننده یکسان در حالت منبع خالص از Al و Si بیش تر از منبع آلیاژی Al-۲۰Si می باشد.

(۳) با افزایش زمان و سایر پارامترهای ثابت، ضخامت افزایش می یابد.

- ۴) غلظت Si در زمینه پوشش کم بوده و در کاربردها بیش تر است. که در کاربرد هم اختلاف غلظت Si وجود داشته و در لایه‌ی خارجی کاربرد غلظت آن بیش تر است.
- ۵) مکانیزم تشکیل پوشش نفوذ به داخل عناصر بوده و نفوذ به خارج کمتر اتفاق افتاده است.

مراجع

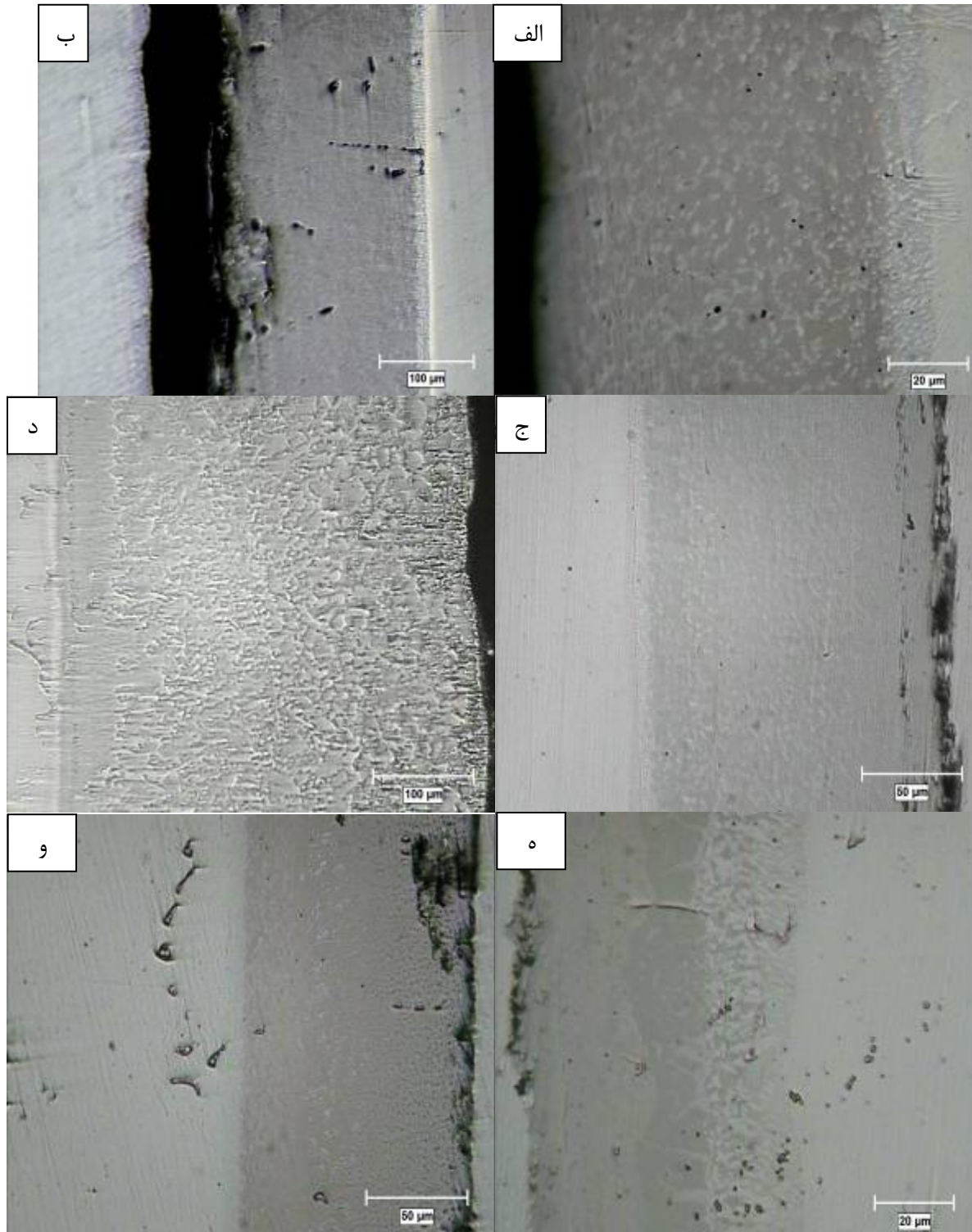
۱. Ahmed Ali Moosa, Jaleel Kareem Ahmed, Ali Hubi Haleem, "Development and Evaluation of Chromium- Modified Aluminide Diffusion Coating", Journal of Babel, ۱۷, ۱, ۲۰۰۹
۲. X. Montero , M.C. Galetz, M. Schütze, "Low-activity aluminide coatings for superalloys using a slurry process free of halide activators and chromates", Surface & Coatings Technology, ۲۲۲, ۲۰۱۳, pp.۹-۱۴
۳. Q.X. Fan, S.M. Jiang, D.L. Wu, J. Gong, C. Sun, "Preparation and hot corrosion behaviour of two Co modified NiAl coatings on a Ni-based superalloy", Corrosion Science, ۷۶, ۲۰۱۳, pp.۳۷۳-۳۸۱
۴. Radosław Swadźba, Marek Hetmańczyk, Maria Sozańska, Bartosz Witala, Lucjan Swadźba, "Structure and cyclic oxidation resistance of Pt, Pt/Pd-modified and simple aluminide coatings on CMSX-۴ superalloy", Surface & Coatings Technology, ۲۰۶, ۲۰۱۱, pp.۱۵۳۸-۱۵۴
۵. A. Firouzi, K. Shirvani, "The structure and high temperature corrosion performance of medium-thickness aluminide coatings on nickel-based superalloy GTD-۱۱۱", Corrosion Science, ۵۲, ۲۰۱۰, pp.۳۵۷۹-۳۵۸۵
۶. Jan Kafrik , Jaroslav Trnik , Ondrej Dvoracek, "Hot Corrosion Behaviour of Cr Modified Aluminide Coatings Deposited on Nickel Superalloy IN ۷۱۳ LC", Czech Republic, Brno, ۲۰۱۳
۷. Z.D. Xiang, P.K. Datta, "Codeposition of Al and Si on nickel base superalloys by pack cementation process", Materials Science and Engineering, A۳۵۶, ۲۰۰۳, pp.۱۳۶_۱۴۴
۸. K. Shirvani, M. Saremi, A. Nishikata, T. Tsuru, "The Role of Silicon on Microstructure and High Temperature Performance of Aluminide Coating on Superalloy IN-۷۳۸LC", Materials Transactions, ۴۳, ۱۰, ۲۰۰۲, pp.۲۶۲۲-۲۶۲۸

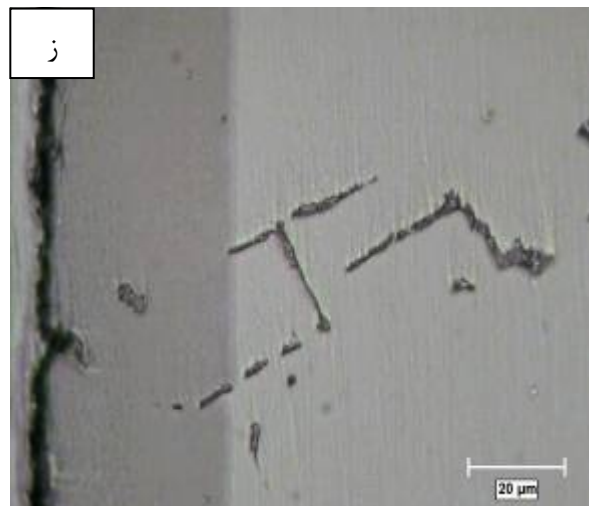
جدول ۱: شماره و شرایط کار برای ایجاد نمونه‌ها

کد نمونه‌ها	Al%	Si%	Al-۲۰Si% (درصد ثابت Al)	AlCl _۳ %	NH _۴ Cl%
۱	---	---	۲/۸۷۵	۳/۳۲۷	---
۴	---	---	۲/۸۷۵	---	۴
۷	۲/۳	۱۵	---	۳/۳۲۷	---
۸	۲/۳	۱۵	---	---	۴
۱۳	---	---	۲	---	۴
۱۴(۴ ساعت)	۲/۳	۱۵	---	---	۴
۱۵(ابتدای فرآیند)	۲/۳	۱۵	---	---	۴

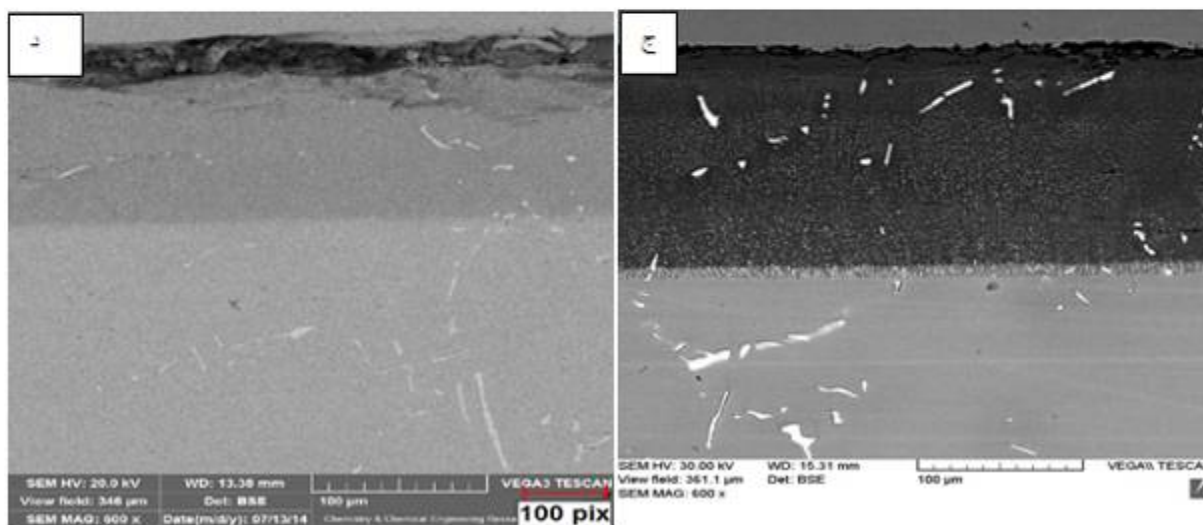
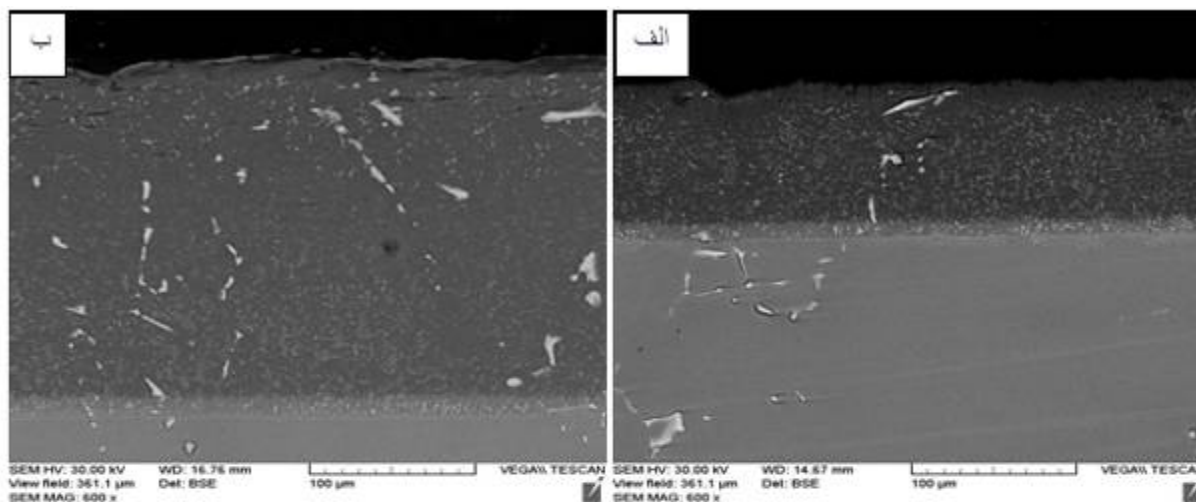
جدول ۲: ضخامت پوشش‌های به دست آمده

شماره	ضخامت کل	ضخامت لایه مرزی
۱	۱۲۰/۳۸	۹/۴
۴	۲۸۵/۴۴	۱۶/۹۳
۷	۱۸۳/۹۶	۱۰/۷۳
۸	۴۲۰	۱۳
۱۳	۶۲	۲۰
۱۴(۴ ساعت)	۱۱۶/۱۹	۲/۹۶
۱۵(ابتدای فرآیند)	۳۸	۱/۵



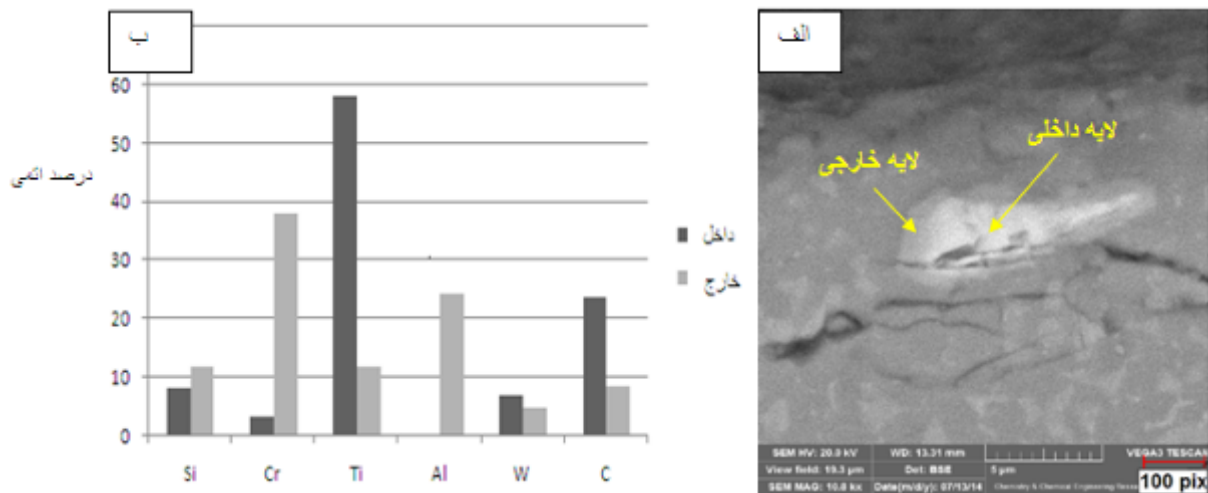


شکل ۱: تصویر میکروسکوپی نوری از نمونه‌ها با کدهای الف) ۱(ب) ۴(ج) ۷(د) ۸(ه) ۱۳(و) ۱۴(ز) ۱۵



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از نمونه‌ها با کدهای الف) ۱(ب) ۴(ج) ۷(د) ۱۴

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



شکل ۳- الف) تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از نمونه ۱۴ ب) آنالیز به دست آمده از دو لایه موجود در کاربرد

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله