

SID



ابزارهای
پژوهش



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی
در تدوین و چاپ مقالات ISI



روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word
برای پژوهشگران



ایجاد پوشش آلومیناید نفوذی تقویت شده با نانو ذرات سریا بر آلیاژ پایه نیکلی

مهدی صفری^۱، فرهاد شهریاری نوگورانی^۲

^۱. شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی و علم مواد (دانشجوی کارشناسی ارشد)

^۲. شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی و علم مواد (استادیار)

چکیده

پوشش‌های نفوذی آلومینایدی، مهمترین خانواده از پوشش‌های دمای بالا هستند که در محافظت از قطعات داغ توربین‌های گازی مورد استفاده در صنایع نیروگاهی، حمل و نقل هوایی و دریایی و صنایع نفت و گاز و پتروشیمی در برابر خوردگی دمای بالا کاربرد دارند. در این مقاله به منظور بهره‌گیری از اثر عناصر اکسیژن-دوست، چگونگی تقویت پوشش آلومینایدی با ذرات نانو سریا بررسی شده است. برای ایجاد پوشش یک لایه نانو کامپوزیتی نیکل-نانو سریا، به روش هم‌رسوبی در حمام آبکاری الکتریکی بر روی سوپر آلیاژ پایه نیکلی ایجاد شد و به دنبال آن فرآیند آلومینوم دهی اکتیویته بالای دو مرحله‌ای انجام شد. ابتدا در ۷۶۰ درجه سانتیگراد عملیات آلومینوم دهی و سپس در دمای ۱۰۸۰ درجه سانتیگراد عملیات نفوذی تکمیلی به منظور تشکیل فازهای مطلوب انجام شد. مکانیزم تشکیل پوشش از طریق بررسی ریزساختار توسط میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز شیمیایی طیف‌سنجی پراکندگی انرژی ارزیابی شد. نتایج نشان داد نانو ذرات اکسید سریم به طور موفقیت آمیزی در پوشش آلومینایدی مشارکت داشته است.

واژه‌های کلیدی: هم‌رسوبی؛ آلومینوم دهی؛ پوشش‌های نفوذی آلومینایدی؛ فرآیند دو مرحله‌ای؛ اکتیویته بالا.

مقدمه

روش مخلوط پودری (آلومینیوم‌دهی^۱) یک روش مهندسی قدیمی [۱] و نسبتاً ارزان برای تشکیل پوشش‌های آلومینایدی دمای بالا است. سادگی فناوری مورد نیاز، تکرار پذیری قابل قبول و قابلیت پوشش‌دهی قطعات با شکل و اندازه متنوع این روش را برای مدت طولانی در صدر فناوری‌های مورد استفاده صنایع دمای بالا به ویژه توربین‌ها قرار داده است [۲]. یکی از نقاط ضعف مهم پوشش‌های آلومینایدی نسبت به رقبای گران‌قیمت‌تر آنها (خانواده پوشش‌های MCrAlX که M می‌تواند نیکل و یا کبالت باشد و X یک عنصر اکسیژن دوست^۲ مانند ایتیریم است) چسبندگی ناکافی پوسته اکسیدی است [۳]. یکی از مهمترین روش‌های شناخته شده برای بهبود چسبندگی پوسته اکسیدی، اثر عناصر اکسیژن‌دوست نظیر ایتیریم، سریم، هافنیم و مانند آنهاست [۴]. اثر عناصر اکسیژن دوست برای اولین بار در سال ۱۹۳۷ میلادی گزارش شد [۵]. غلظت اندکی از این عناصر یا اکسید آنها می‌تواند مورفولوژی لایه اکسیدی آلومینا و فصل مشترک آن با پوشش آلومینایدی را اصلاح کند و چسبندگی پوسته آلومینا به پوشش آلومیناید را به طور قابل ملاحظه‌ای بیفزاید [۶]. روش‌هایی که تا کنون برای وارد کردن عناصر اکسیژن‌دوست یا اکسید آنها در پوشش‌های دمای بالا مورد استفاده قرار گرفته عمدتاً آزمایشگاهی بوده و اجرای عملی آنها برای صنایع مشکل است. به عنوان نمونه می‌توان به روش‌های کاشت یونی^۳ [۷]، رسوب شیمیایی بخار^۴ [۸] و سل-ژل^۵ [۹] اشاره کرد. در این تحقیق از یک لایه آبکاری الکتریکی^۶ شده نیکل به عنوان زمینه نگاه‌دارنده نانو ذرات سریا بهره‌گیری شد. در این روش ابتدا یک لایه ضخیم نانو کامپوزیتی به وسیله آبکاری الکتریکی نیکل در حمام حاوی نانو ذرات سریا بر سطح زیر لایه ایجاد می‌شود و در مرحله بعد پوشش نفوذی آلومینایدی با رشد درون‌گرا^۷ بر مجموعه زیر لایه و لایه آبکاری الکتریکی شده اعمال می‌شود. توسعه این روش با توجه به جافتادگی فرایندهای آبکاری الکتریکی و پوشش نفوذی در صنعت می‌تواند با استقبال مناسب صنایع دمای بالا روبرو شود. در این زمینه سابقه تحقیقات مشابه در داخل کشور بدست نیامد و نسبت به مقالات مشابه خارجی [۱۰، ۱۱] نیز در کار حاضر تفاوت‌هایی در مواد و روش کار وجود دارد.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش آلیاژ پایه نیکل با ترکیب اسمی جدول ۱ به عنوان زیر لایه مورد استفاده قرار گرفت. آلیاژ زیر لایه توسط برش با وایرکات به قطعات مستطیلی شکل با ابعاد ۱۰×۱۰×۴ میلی‌متر تقسیم شد. به منظور آماده سازی سطح زیر لایه، ابتدا نمونه‌ها با سنباده (تا شماره ۶۰۰) آماده سازی شد و سپس در استون چربی‌زدایی شد. سرانجام نمونه‌ها در اسید کلریدریک ۵ مولار به مدت ۳۰ ثانیه فعال‌سازی سطحی شدند. برای انجام فرآیند آبکاری

^۱. Aluminizing or aluminization

^۲. Oxygen reactive

^۳. Ion Implantation

^۴. Chemical Vapor Deposition (CVD)

^۵. Sol-gel

^۶. Electroplating

^۷. Inward Growth

الکتریکی از حمام واتس [۱۲] با ترکیب شیمیایی جدول ۲ استفاده شد. پارامترهای فرآیند آبکاری الکتریکی در جدول ۳ ذکر شده است.

برای اعمال پوشش‌های نانو کامپوزیتی به میزان ۳۰ گرم بر لیتر نانو ذرات سریا (با ابعاد ۱۰ تا ۳۰ نانومتر) تهیه شده از شرکت آمریکایی مواد نانو پژوهشی^۱ به محلول آبکاری افزوده شد. برای جلوگیری از بهم چسبیدن ذرات حین رسوب‌دهی قبل از انجام رسوب‌دهی محلول به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه توسط چرخش مغناطیسی بهم زده شد و قبل از استفاده به مدت ۳۰ دقیقه توسط امواج مافوق صوت متلاطم گردید. برای انجام آلومینیوم‌دهی اکتیویته بالا، نمونه به همراه مخلوط پودری آلومینیوم، کلرید آمونیم و آلومینا درون جعبه فولاد نسوز (ریپورت^۲) قرار گرفت و پس از آب‌بندی مجموعه به کوره منتقل شد. شرایط اعمال پوشش نفوذی در جدول ۴ مشاهده می‌شود. به منظور مقایسه تعدادی نمونه نیز بدون افزودن نانو ذرات سریا به حمام، آبکاری و بطور مشابه آلومینیوم‌دهی شدند. ریز ساختار و خصوصیات پوشش‌های بدست آمده به وسیله میکروسکوپ نوری^۳، میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ و آنالیز شیمیایی طیف‌سنجی پراکندگی انرژی^۵ مشخصه‌یابی شد.

نتایج و بحث

شکل ۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی از مقطع پوشش دو مرحله‌ای (با پارامترهای ذکر شده در جدول ۱) بر سوپر آلیاژ پایه نیکلی دارای یک لایه آبکاری نیکل ساده را نشان می‌دهد. ترکیب شیمیایی مناطق مختلف این پوشش در شکل ۲ تا ۴ نشان داده شده است. منطقه الف با توجه به غلظت اتمی بالاتر آلومینیوم نسبت به نیکل، فاز NiAl غنی از آلومینیوم (β_{Al}) است. این منطقه از نظر صحت ساختاری به خوبی مناطق پایین‌تر از خود نیست و حفراتی در آن تشکیل شده است. حفراتی که در قطعات آلومینیوم‌دهی شده در سیستم Ni-Al به وجود می‌آیند، ناشی از اثر کرکندال دانسته می‌شوند [۱۳]. جانسن^۶ و ریک^۷ [۱۴] گزارش کردند که در زوج‌های Ni-Al، اتم‌های Al به سرعت نفوذ کرده و یک لایه ضخیم Ni_7Al_3 ایجاد می‌کنند. فاز Ni_7Al_3 در کنار قسمت غنی از Ni زوج‌های Ni_7Al_3/Ni را تشکیل داده که اتم‌های Ni گونه محرک هستند و از قسمت غنی از Ni به لایه Ni_7Al_3 نفوذ کرده و در قسمت غنی از نیکل حفرات کرکندال را بر جای می‌گذارند و با پیشروی فاز Ni_7Al_3 ، حفرات در این فاز قرار می‌گیرند. با توجه به تناظر ریزساختار منطقه ب با ریزساختار استاندارد پوشش آلومیناید درونگرا می‌توان این ناحیه را به عنوان فاز β_{Al} معرفی نمود. فلز نیکل برای تشکیل پوشش آلومینایدی از زیرلایه به سمت پوشش حرکت می‌کند و عناصر زیرلایه را با خود به سمت خارج می‌کشاند؛ با تشکیل β_{Al}

^۱. US Research Nanomaterials

^۲. Retort

^۳. Optical Microscope

^۴. Scanning Electron Microscopy (SEM)

^۵. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

^۶. Janssen

^۷. Rieck

این عناصر به دلیل حلالیت محدودی که دارند در این لایه پوشش به صورت فازهای جداگانه سفید رنگ رسوب کرده و یک قسمت متراکم از رسوبات ریز، تشکیل شده است. منطقه ج نیز با توجه به تشابه اتم‌های موجود با استدلالی مشابه قابل مشخصه‌یابی است. این منطقه احتمالاً از فاز β_{Ni} تشکیل شده است که حدحلالیت بالاتری برای عناصر آلیاژی دارد و به همین علت عاری از رسوبات است. شکل ۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی مقطع پوشش نهایی (آلومیناید نیکلی تقویت شده با نانو ذرات سریا) را نشان می‌دهد. مقایسه شکل ۵ با ۱ نشان می‌دهد که منطقه الف به یک منطقه پرسوب تبدیل شده است. آنالیز منطقه رسوب دار قسمت الف (شکل ۶) نشان می‌دهد که تشکیل این منطقه صرفاً می‌تواند ناشی از اضافه شدن نانو ذرات سریا به پوشش باشد. دلیل عدم ایجاد حفره می‌تواند تراکم و ایجاد حالت تنش فشاری در اثر حضور نانو ذرات سریا باشد. کمبود حضور نانو ذرات سریا و کاهش تراکم در لایه ای از سطح پوشش نهایی (منطقه سطحی قسمت الف شکل ۵) باعث شده تا این ناحیه مانند پوشش آلومیناید نیکلی (قسمت الف شکل ۱) عمل کرده و تشکیل حفره را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز EDS مناطق ب و ج پوشش آلومیناید نیکلی (شکل ۱) و پوشش نهایی (شکل ۵) نشان می‌دهد که این مناطق ظاهراً مشابه هستند. در فصل مشترک پوشش با زیرلایه نیز منطقه‌ای با تراکم بالا از رسوبات درشت و رشته‌ای شکل گرفته است که تفاوت چندانی با حالت قبل از افزودن سریا ندارد. معمولاً به دلیل پیچیدگی رسوبات این ناحیه در مورد نوع و ماهیت آن‌ها اظهار نظر قطعی نمی‌شود ولی در کل رسوبات این ناحیه از خروج نیکل (به عنوان زمینه و حلال) و فوق اشباع حاصل از آن تشکیل می‌شوند و بدیهی است که عناصر سنگین و عناصری که زودتر از محلول جامد نیکل خارج می‌شوند سازنده اصلی این رسوبات رشته‌ای هستند.

نتیجه‌گیری

- ۱) ریز ساختار پوشش مورد بررسی دارای ویژگی‌های پوشش‌های آلومینایدی اکتیویته بالای دو مرحله‌ای است.
- ۲) آنالیز منطقه‌ای از نواحی مختلف پوشش، حضور موفقیت آمیز نانو ذرات اکسید سریم در قسمت خارجی ناحیه بیرونی پوشش را نشان می‌دهد.
- ۳) حضور نانو ذرات سریا در پوشش با افزایش تراکم و تنش فشاری به میزان چشم‌گیری حفرات کرکندال را کاهش داده‌اند.

مراجع

- [۱] S. Bose, *High temperature coatings*: Butterworth-Heinemann, ۲۰۱۱.
- [۲] G. Goward, "Progress in coatings for gas turbine airfoils," *Surface and Coatings Technology*, vol. ۱۰۸, pp. ۷۳-۷۹, ۱۹۹۸.
- [۳] J.H. Lee, P.C. Tsai, and J.W. Lee, "Cyclic oxidation behavior and microstructure evolution of aluminized, Pt-aluminized high velocity oxygen fuel sprayed CoNiCrAlY coatings," *Thin Solid Films*, vol. ۵۱۷, pp. ۵۲۵۳-۵۲۵۸, ۲۰۰۹.

- [۴] X. Peng, "Effect of La_2O_3 particles on the oxidation of electrodeposited nickel films," *Oxidation of metals*, vol. ۵۱, pp. ۲۹۱-۳۱۵, ۱۹۹۹.
- [۵] L. Zhu, X. Peng, J. Yan, and F. Wang, "Oxidation of a novel chromium coating with CeO_2 dispersions," *Oxidation of Metals*, vol. ۶۲, pp. ۴۱۱-۴۲۶, ۲۰۰۴.
- [۶] H. Liu and W. Chen, "Cyclic Oxidation Behavior of Electrodeposited Ni-Al-CeO_2 Base Coatings at 800°C ," *Oxidation of metals*, vol. ۶۴, pp. ۳۳۱-۳۵۴, ۲۰۰۵.
- [۷] R. Cuffe, H. Buscail, E. Caudron, C. Issartel, and F. Riffard, "Oxidation of alumina formers at 1173 K : effect of yttrium ion implantation and yttrium alloying addition," *Corrosion Science*, vol. ۴۵, pp. ۱۸۱۵-۱۸۳۱, ۲۰۰۳.
- [۸] B. M. Warnes, "Reactive element modified chemical vapor deposition low activity platinum aluminide coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol. ۱۴۶, pp. ۷-۱۲, ۲۰۰۱.
- [۹] F. Riffard, H. Buscail, E. Caudron, R. Cuffe, C. Issartel, and S. Perrier, "Effect of yttrium addition by sol-gel coating and ion implantation on the high temperature oxidation behaviour of the 304 steel," *Applied surface science*, vol. ۱۹۹, pp. ۱۰۷-۱۲۲, ۲۰۰۲.
- [۱۰] X. Peng, Y. Guan, Z. Dong, C. Xu, and F. Wang, "A fundamental aspect of the growth process of alumina scale on a metal with dispersion of CeO_2 nanoparticles," *Corrosion Science*, vol. ۵۳, pp. ۱۹۵۴-۱۹۵۹, ۲۰۱۱.
- [۱۱] B. Pint and L. Hobbs, "The oxidation behavior of Y_2O_3 -dispersed β -NiAl," *Oxidation of metals*, vol. ۶۱, pp. ۲۷۳-۲۹۲, ۲۰۰۴.
- [۱۲] S. Aruna, V. W. Grips, V. E. Selvi, and K. Rajam, "Studies on electrodeposited nickel-yttria doped ceria composite coatings," *Journal of applied electrochemistry*, vol. ۳۷, pp. ۹۹۱-۱۰۰۰, ۲۰۰۷.
- [۱۳] M. M. P. JANSSEN, "Diffusion in the Nickel-Rich Part of the Ni-Al System at 1000°C to 1300°C Ni $_{31}$ Al Layer Growth, Diffusion Coefficients, and Interface Concentrations," *Metall Trans*, vol. ۴, p. ۱۶۲۳, ۱۹۷۳.
- [۱۴] M. Janssen and G. Rieck, "Reaction diffusion and Kirkendall-effect in the nickel-aluminum system," *AIME MET SOC TRANS*, vol. ۲۳۹, pp. ۱۳۷۲-۱۳۸۵, ۱۹۶۷.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی آلیاژ پایه نیکلی

Zr	C	Al	W	Mo	Ti	Co	Cr	Ni	عنصر
۰/۰۳	۰/۱۷	۳	۴	۴	۵	۹/۵	۱۴	۶۰	ترکیب اسمی

جدول ۲: اجزای تشکیل دهنده حمام رسوب دهی

مقدار (گرم بر لیتر)	ترکیب
۳۲۰	سولفات نیکل
۴۰	کلرید نیکل
۵۰	اسید بوریک
۰/۱	سدیم دودسیل سولفات (SDS)

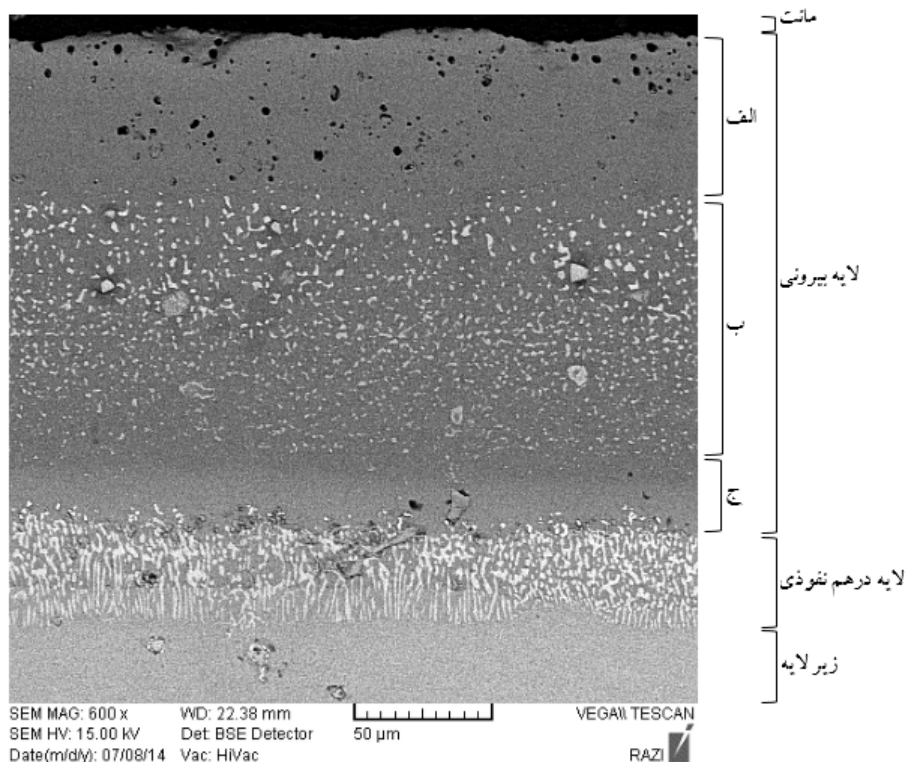
۳۰	نانو ذرات سریا
----	----------------

جدول ۳: پارامترهای فرآیند رسوب‌دهی الکتریکی

پارامترهای فرآیند رسوب‌دهی الکتریکی	
دانشیته جریان	۲ آمپر بر دسی متر مربع
سرعت همزن	۳۰۰ دور در دقیقه
دما 50 ± 5	۵۰ درجه سانتی‌گراد
پ-هاش	۳/۵
زمان	۱۵ دقیقه

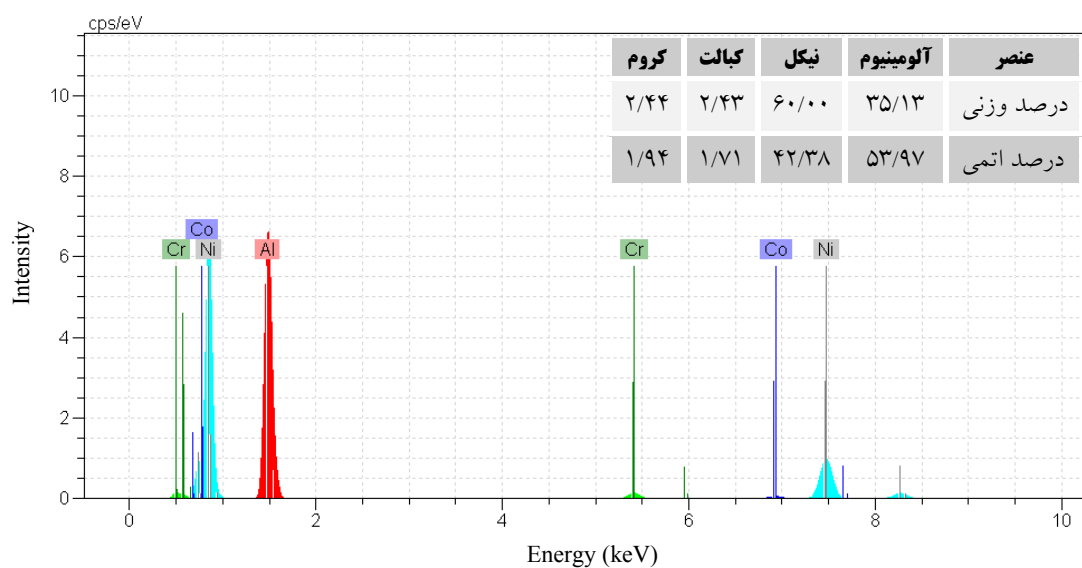
جدول ۴: ترکیب شیمیایی مخلوط پودر استفاده شده برای اعمال پوشش‌های نفوذی آلومینایدی درونگرا

شرح	زمان (ساعت)	دما (°C)	Al ₂ O ₃ (wt.%)	NH ₄ Cl (wt.%)	Al (wt.%)	
آلومینیوم‌دهی	۲	۷۶۰	باقی‌مانده	۲	۱۵	مرحله ۱
آنیل نفوذی	۴					

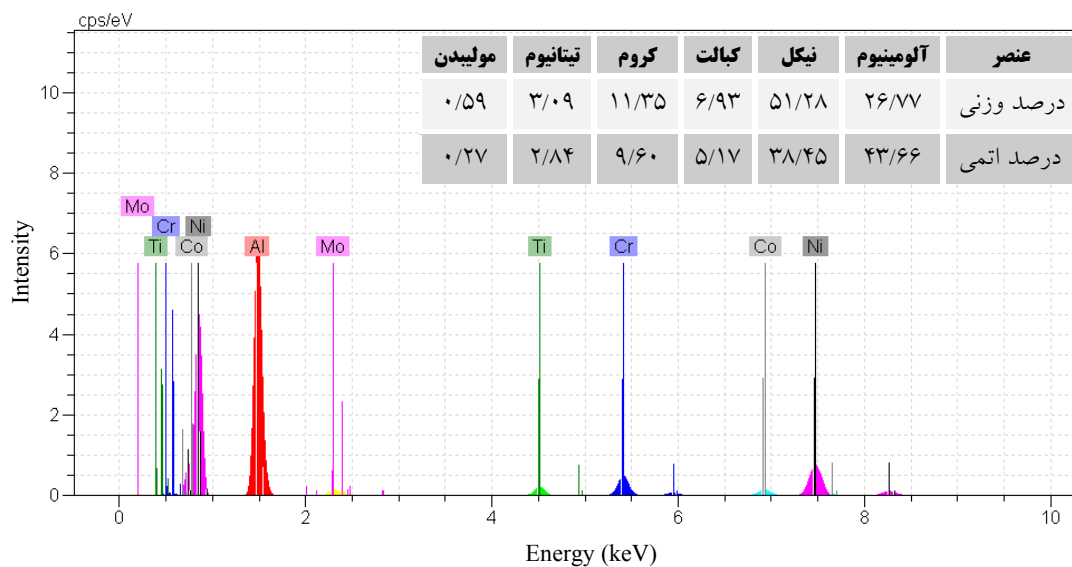


شکل ۱: تصویر SEM از مقطع پوشش دو مرحله‌ای (با پارامترهای ذکر شده در جدول ۴)

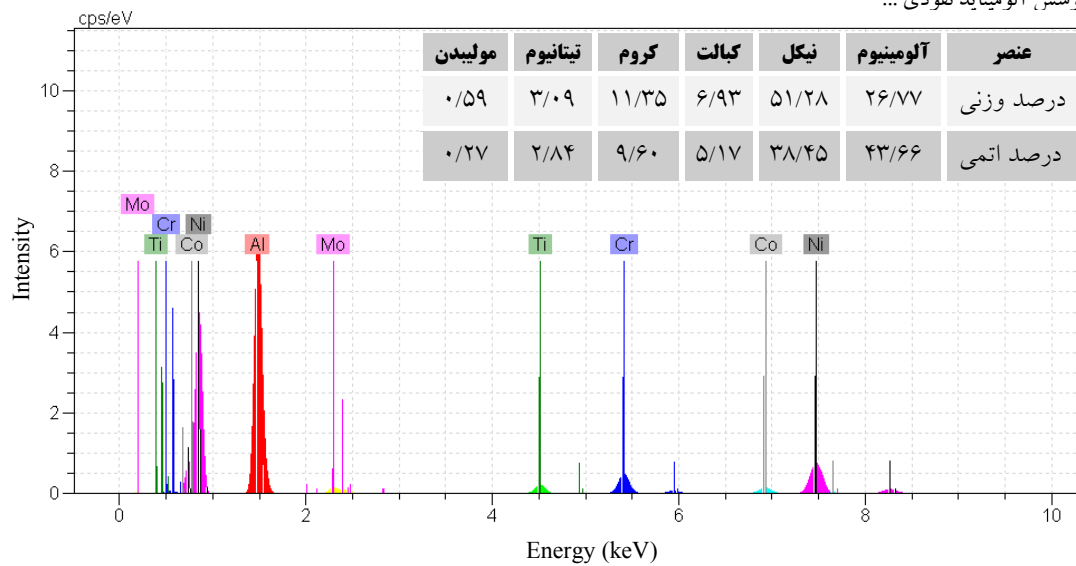
بر سوپرآلیاژ پایه نیکلی دارای یک لایه آبکاری نیکل ساده



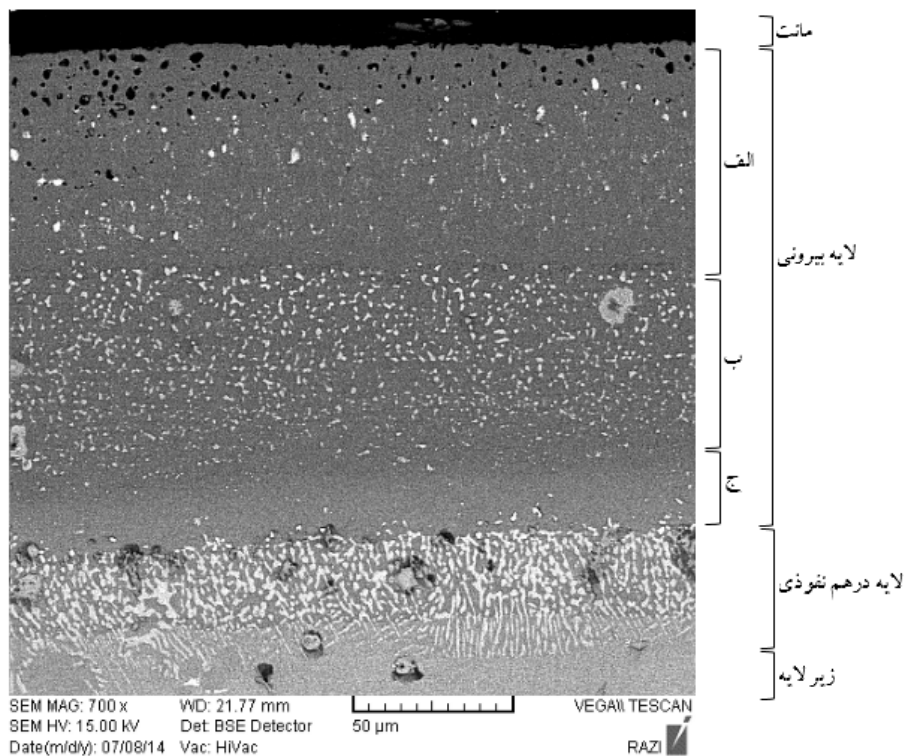
شکل ۲: آنالیز شیمیایی EDS پوشش آلومیناید دو مرحله‌ای بر سوپرآلیاژ پایه نیکلی دارای یک لایه آبکاری نیکل ساده (منطقه الف در شکل ۱)



شکل ۳: آنالیز شیمیایی EDS پوشش آلومیناید دو مرحله‌ای بر سوپرآلیاژ پایه نیکلی دارای یک لایه آبکاری نیکل ساده (منطقه ب در شکل ۱)

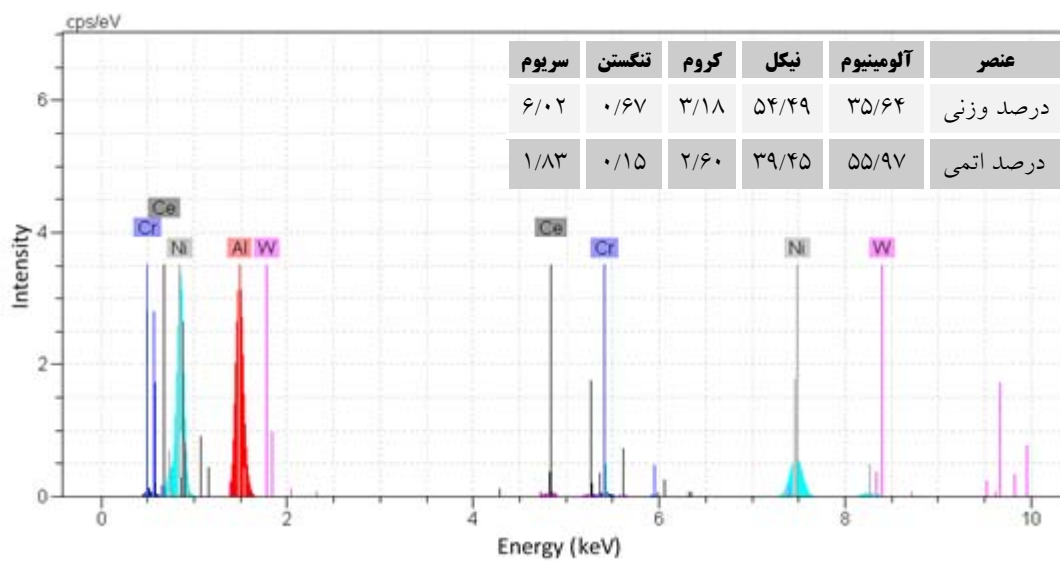


شکل ۴: آنالیز شیمیایی EDS پوشش آلومیناید دو مرحله‌ای بر سوپرآلیاژ پایه نیکلی دارای یک لایه آبکاری نیکل ساده (منطقه ج در شکل ۱)



شکل ۵: تصویر SEM از مقطع پوشش دو مرحله‌ای (با پارامترهای ذکر شده در جدول ۴) بر سوپرآلیاژ پایه نیکلی

دارای یک لایه آبکاری نیکل-نانو ذرات سریا



شکل ۶: آنالیز شیمیایی EDS پوشش نهایی آلومیناید-نیکل/نانو سریا (منطقه رسوب دار الف در شکل ۵)

SID



ابزارهای
پژوهش



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری
STES



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



تازه های آموزش
آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقالات ISI

آموزش مهارت های کاربردی
در تدوین و چاپ مقالات ISI



تازه های آموزش
روش تحقیق کمی

روش تحقیق کمی



تازه های آموزش
آموزش نرم افزار Word برای پژوهشگران

آموزش نرم افزار Word
برای پژوهشگران