



## بررسی تأثیر عملیات حرارتی بر خواص خوردگی پوشش NiCrBSi اعمال شده به روش‌های HVOF و HP/HVOF

علی اسکندری<sup>۱</sup>، فاطمه سادات سیدان<sup>۲</sup>، مونا خلایقی<sup>۱</sup>، علی شفیع<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>. دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد (کارشناسی ارشد)

<sup>۲</sup>. دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد (دکتری)

<sup>۳</sup>. دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی مواد (استاد)

### چکیده

در این پژوهش، تأثیر فرایندهای پوشش دهی و عملیات حرارتی بر ریزساختار و خواص خوردگی پوشش‌های NiCrBSi حاصل از روش‌های HVOF و HP/HVOF ارزیابی شد. پس از پوشش دهی، یک گروه از نمونه‌ها در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت تحت عملیات حرارتی قرار گرفت. از پراش پرتو ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی به منظور مطالعات فازی و ریزساختاری استفاده شد. ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش‌ها توسط طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) و اندازه‌گیری پلاریزاسیون تافل (Tafel) در محلول ۳/۵ درصد وزنی NaCl انجام شد. نتایج نشان داد مرزها و تخلخل‌های ناشی از تشکیل فاز مذاب و فرآیند نفوذ در پوشش‌های عملیات حرارتی شده در مقایسه با نمونه‌های بدون عملیات حرارتی به طور قابل توجهی کاهش یافته است. نمونه حاصل از روش HP/HVOF پس از عملیات حرارتی در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت با  $1.15 \times 10^7 \Omega/\text{cm}^2$  بهترین مقاومت در برابر خوردگی و نمونه حاصل از روش HVOF بدون عملیات حرارتی با  $246570 \Omega/\text{cm}^2$  کمترین مقاومت در برابر خوردگی را نشان داد. استفاده از فرایند پوشش دهی HP/HVOF با قابلیت فشار و سرعت بالای ذرات و کاهش عیوب و تخلخل منجر به بهبود مقاومت به خوردگی با کاهش چگالی جریان از  $2.70 \times 10^{-7} \mu\text{A}/\text{cm}^2$  به  $6.52 \times 10^{-8} \mu\text{A}/\text{cm}^2$  شد. واژه‌های کلیدی: NiCrBSi؛ پاشش حرارتی؛ HVOF؛ HP/HVOF؛ مقاومت به خوردگی.

## مقدمه

پوشش‌های پاشش حرارتی یکی از راهکارهای عملی و مقرون به صرفه افزایش مقاومت به خوردگی و مقاومت به سایش قطعات صنعتی می‌باشد. تکنولوژی پاشش حرارتی بر اساس منبع ایجاد کننده حرارت به انواع مختلفی تقسیم می‌شود. پاشش شعله‌ای و پاشش سوخت اکسیژن با سرعت بالا (HVOF) از انواع روش‌های پاشش حرارتی می‌باشند که کاربرد زیادی در صنایع مختلف پیدا کرده‌اند [۱].

فاکتورهای مختلفی در تعیین کیفیت پوشش‌های حاصل از پاشش حرارتی مؤثرند که از جمله می‌توان به اندازه ذرات پودر، دمای فرایند پاشش، گازهای احتراق، سرعت تغذیه، زاویه و سرعت رسوب (پیوسته یا متناوب)، فاصله پاشش، دمای زیرلایه، فشار اعمال شده در طول فرایند و روش رسوب گذاری اشاره نمود [۲].

پوشش‌های حاصل از این فرایند به دلیل دما و سرعت بالا و همچنین ارتباط مستقیم با اکسیژن هوا دارای عیوبی نیز هستند، از جمله: ناخالصی، ذرات اکسیدی، تخلخل، ذرات ذوب نشده، چسبندگی<sup>۱</sup> و پیوستگی<sup>۲</sup> ضعیف پوشش که تمامی این عیوب باعث افت خواص تریبولوژیکی و مقاومت به خوردگی پوشش می‌شوند. این عیوب در فرایند HVOF به دلیل سرعت بالاتر ذرات نسبت به فرایند پاشش شعله بسیار کمتر است. همچنین مقدار عیوب در فرایند پاشش سوخت اکسیژن با سرعت و فشار بالا (HP/HVOF) نسبت به دو فرایند دیگر به دلیل سرعت بالاتر ذرات بسیار کمتر می‌باشد [۳].

کاهش مقاومت به سایش و مقاومت به خوردگی پوشش‌های پاشش حرارتی را می‌توان به کمک عملیات حرارتی پس از فرایند پوشش دهی بهبود بخشید. عملیات حرارتی با تشکیل فاز یوتکتیک مذاب و افزایش سرعت نفوذ باعث افزایش چسبندگی و پیوستگی پوشش و همچنین کاهش عیوب و تخلخل می‌شود. سه فرایند عملیات حرارتی مرسوم وجود دارد: ۱- کوره ۲- شعله ۳- لیزر. عملیات حرارتی به وسیله شعله به دلیل قابلیت کنترل پایین و وابسته بودن به مهارت اپراتور قابلیت تکرار پذیری ندارد. عملیات حرارتی به وسیله لیزر به دلیل قیمت بالا و سرعت پایین کاربرد صنعتی زیادی ندارد. عملیات حرارتی در کوره‌های الکتریکی به دلیل قیمت مناسب و تکرار پذیری بالا کاربرد صنعتی زیادی داشته و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است [۴].

سوپرآلیاژ خود روانکار پایه نیکل یکی از پرکاربردترین پوشش‌های مورد استفاده در کاربردهای مقاوم به سایش و خوردگی در دماهای متوسط و بالا است. آلیاژ NiCrBSi یکی از معروفترین پوشش‌های پایه نیکل است که در صنایع نفت و گاز، صنایع شیمیایی، صنایع هوا فضا و... استفاده وسیعی دارد. در این آلیاژ عنصر کروم باعث مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون می‌شود. همچنین تشکیل فاز کاربیدی سختی پوشش را افزایش می‌دهد. عنصر بور نیز با تشکیل یوتکتیک نقطه ذوب را کاهش داده و با تشکیل فاز بورایدی سبب افزایش سختی می‌شود. سیلیسیم خود روانکاری پوشش را به همراه داشته و افزودن کربن نیز با تشکیل فازهای کاربیدی افزایش سختی را به دنبال خواهد داشت [۵، ۶].

1. Adhesion

2 Cohesion

در زمینه بررسی رفتار سایشی و مقاومت به خوردگی پوشش‌های پاشش حرارتی NiCrBSi تحقیقات زیادی انجام شده است. در بیشتر کارهای قبلی به بررسی رفتار سایشی و مقاومت به خوردگی پس از عملیات حرارتی در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد پرداخته شده است [۷-۹]. این دمای بالای عملیات حرارتی باعث افت شدید خواص مکانیکی زیرلایه می‌شود. همچنین احتمال تغییر شکل زیرلایه را افزایش می‌دهد. به همین دلیل و به عنوان یک سیکل عملیات حرارتی جدید، در این مقاله پوشش‌های اعمال شده در دمای کمتر و به مدت زمان طولانی‌تر تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. تمامی پوشش‌ها در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان ۱ ساعت تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. در ادامه به بررسی ریزساختار و مقاومت به خوردگی پوشش‌ها پرداخته شد. با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های مشخصه‌یابی مختلف، بهترین روش پوشش‌دهی و عملیات حرارتی با بهترین خواص و صرفه اقتصادی انتخاب شد.

### مواد و روش تحقیق

نمونه‌های دیسک شکل با قطر ۵۰ میلی‌متر و ضخامت ۵ میلی‌متر از جنس فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ کم‌کربن به‌عنوان زیرلایه تهیه شد. نمونه‌ها با استفاده از ذرات  $\text{SiO}_2$  با قطر ۰٫۹-۱٫۱ میلی‌متر شن پاشی شدند. نوعی پودر NiCrBSi معروف به Colmonoy88 با میانگین اندازه ذرات ۴۵ میکرومتر و ترکیبی که در جدول ۱ ارائه شده است، به عنوان پوشش استفاده شد.

از روش پاشش سوخت اکسیژن با سرعت بالا (HVOF) برای رسوب پودر بر روی گروه اول نمونه‌ها استفاده شد. گروه دوم نمونه‌ها نیز به روش پاشش سوخت اکسیژن با سرعت و فشار بالا (HP/HVOF) پوشش داده شدند. پارامترهای پاشش برای هر دو فرآیند در جدول ۲ آورده شده است. پس از رسوب پوشش، یک گروه از نمونه‌ها در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت زمان یک ساعت در کوره تیوبی با اتمسفر خنثی تحت عملیات حرارتی قرار گرفته و سپس در هوا خنک شدند. نمونه‌ها در چهار گروه مجزا نامگذاری شدند. نمونه‌های پوشش داده شده با روش‌های HVOF و HP/HVOF و عملیات حرارتی در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت به ترتیب به عنوان نمونه H950-1 و HP950-1 نشان داده شد. نمونه‌های بدون عملیات حرارتی نیز با نام‌های H و HP نامگذاری شدند.

بررسی‌های ریزساختار سطح مقطع با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM Philips M130) انجام شد. بدین منظور، ابتدا نمونه‌ها توسط کاغذ SiC از شماره ۱۲۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌زنی و سپس توسط پودر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  پولیش و در نهایت در محلول  $1\text{HCl}:10\text{HNO}_3:10\text{H}_2\text{O}$  جهت آشکارسازی ریزساختار اچ شدند. ترکیب فازی و خواص ساختاری پودر، پوشش‌های HVOF و HP/HVOF به کمک آنالیز پراش پرتو ایکس (Philips Xpert-MPD, Cu- $\lambda$ -K,  $\alpha_1 = 0.1540598 \text{ nm}$ ) در محدوده زوایای  $2\theta = 30-100^\circ$  ارزیابی شدند.

مقاومت و رفتار خوردگی پوشش‌ها توسط آزمون‌های پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی با دستگاه پتانسیواستات/گالوانواستات Iviumstat مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام آزمون‌های

خوردگی در محلول ۳/۵ درصد وزنی سدیم کلرید (محلول شبیه سازی شده آب دریا) در یک سلول سه الکترودی شامل الکترود کالومل به عنوان الکترود مرجع، الکترود پلاتین به عنوان الکترود کمکی و نمونه‌های پوشش داده شده به عنوان الکترود کاری انجام شد. آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک بعد از یک ساعت غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول خورنده (جهت پایداری نمونه‌ها در محلول) از ۲۵۰- تا ۱۲۰۰ میلی ولت نسبت به پتانسیل مدار باز و نرخ روبش ۱ میلی ولت بر ثانیه انجام شد. جهت تحلیل داده‌های پتانسیودینامیک از نرم افزار Ivium و جهت تحلیل داده‌های طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی از روش فیت کردن یک مدار معادل الکترونیکی مناسب با استفاده از نرم افزار Z-View انجام شد.

### نتایج و بحث

شکل ۱ (الف) و (ب) مرزهای اسپلت‌ها، تخلخل و برخی ذرات ذوب نشده را در ریزساختار مقطعی پوشش‌های پاشش حرارتی شده نشان می‌دهد. این عیوب در پوشش‌های حاصل از روش HVOF نسبت به پوشش‌های HP-HVOF به دلیل سرعت کمتر ذرات، آشکارتر است. تخلخل‌ها (نقاط تیره رنگ) در فصل مشترک پوشش / زیرلایه نمونه‌های پاشش حرارتی شده باعث استحکام چسبندگی کمتری می‌شوند. برخی از تفاوت‌ها در اندازه و توزیع تخلخل‌ها در پوشش‌های H و HP پاشش حرارتی شده مشاهده شد. اندازه تخلخل‌ها در پوشش HVOF به مراتب بزرگتر از HP-HVOF بود. بدیهی است که فرآیند HP-HVOF منجر به پوشش‌هایی با توزیع تخلخل یکنواخت‌تر می‌شود. منافذ با جهت افقی طولانی به دلیل برخورد ذرات مذاب و نیمه مذاب در کنار تغییر شکل و انقباض آنها تشکیل شدند (شکل ۱ (الف) و (ج)). این منافذ نشان دهنده ماهیت ریزساختار لایه‌ای شکننده است که با عملکرد پوشش مطابقت دارد [۸]. مرزها و تخلخل‌های ناشی از تشکیل فاز مذاب و فرآیند نفوذ در طی عملیات حرارتی در پوشش‌های عملیات حرارتی شده در مقایسه با نمونه‌های بدون عملیات حرارتی به طور قابل توجهی کاهش یافته است. گزارش شده است که فاز مذاب تشکیل شده در طی عملیات حرارتی Ni-Ni<sub>3</sub>B (معروف به یوتکتیک دمای پایین) است. ترشوندگی و کشش سطحی چنین یوتکتیک با دمای پایینی را می‌توان به طور مؤثر توسط عنصر بور، به عنوان تشکیل دهنده فازهای سخت و سیلیسیم، که به عنوان یک عامل اکسید زدا و روان کننده عمل می‌کند، کنترل نمود [۱۰].

طی عملیات حرارتی، کاهش تخلخل می‌تواند از طریق حرکت موینگی مذاب با ویسکوزیته کم (یوتکتیک) در ناحیه مخلوط در امتداد خطوط سالیدوس و لیکوئیدوس رخ دهد. این حرکت مذاب می‌تواند به اندازه کافی سطح حفره‌ها را خیس کرده و پر کند [۸].

شکل ۲، الگوهای پراش پرتو ایکس پودر و پوشش‌های H و HP را نشان می‌دهد. ترکیب فازی پودر شامل محلول جامد نیکل، فاز یوتکتیک Ni<sub>3</sub>B و کاربیدهای Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>، Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>، CrB، و Ni<sub>16</sub>Cr<sub>6</sub>Si<sub>7</sub> می‌باشد. این بوریدها و کاربیدها فازهای تقویت کننده در زمینه هستند. این فازها پوشش‌ها را قادر می‌سازند تا در برابر سطح مقابل خود مقاومت کرده و شیارهای سایش را باریک کنند [۱۱]. با توجه به الگوهای پراش نمونه‌های اسپری

شده در شکل ۲، فرض می‌شود که حجم مشخصی از کاربید تنگستن، حاصل از فرآیند پاشش به دلیل دمای بالای فرآیند پوشش و نیز وجود تنگستن و کربن در ترکیب پودر اولیه است. در این مطالعه مشخص شد که تغییرات در فرآیند پوشش دهی تأثیری بر ترکیب فازی نداشته است. الگوهای پراش نمونه‌های اسپری شده انحنای در  $2\theta=40-50^\circ$  و خطوط پهن شده را ظاهر ساخت که نشان‌دهنده تشکیل فازهای آمورف در طول فرآیندهای پوشش دهی است.

شکل ۳ منحنی پلاریزاسیون پتانسیودینامیک نمونه‌های پوشش دهی شده را در محلول ۳/۵ درصد وزنی NaCl نشان می‌دهد و جدول ۳ نتایج برون‌یابی تافل منحنی‌های پلاریزاسیون هر نمونه ی پوشش را گزارش می‌دهد. چگالی جریان خوردگی، پتانسیل خوردگی و شیب ناحیه آندی و کاتدی پارامترهای تأثیرگذار بر ارزیابی رفتار خوردگی هستند که توسط آزمون پلاریزاسیون تافل به دست می‌آیند. با مقایسه نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی شده و عملیات حرارتی نشده، افزایش در پتانسیل خوردگی و کاهش در چگالی جریان خوردگی نشان از بهبود رفتار خوردگی نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی شده نسبت به نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی نشده می‌باشد. همچنین در میان نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی شده، نمونه HP950-1 با چگالی جریان خوردگی  $6.64 \times 10^{-9}$  عملکرد بهتری نسبت به نمونه H950-1 با چگالی جریان خوردگی  $1.42 \times 10^{-8}$  دارد. این بهبود عملکرد خوردگی مربوط به افزایش چسبندگی پوشش به زیرلایه و کاهش تخلخل‌های پوشش بر اثر فرایند عملیات حرارتی و نوع روش پوشش دهی با ویژگی پاشش سرعت و فشار بالای ذرات می‌باشد که در این صورت از نفوذ یون‌های خورنده همانند کلر به زیرلایه جلوگیری می‌کند.

آزمون طیف سنجی امپدانس الکتروشیمیایی به منظور تکمیل شدن بررسی رفتار خوردگی پوشش‌ها در کنار آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک در محلول ۳/۵ درصد وزنی NaCl نیز انجام شد. نمودارهای نایکویست در شکل ۴ نشان داده شده است. همانند گزارشات نمودارهای پلاریزاسیون تافل، تمامی نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی شده رفتار خوردگی بهتری نسبت به نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی نشده، دارند. بزرگ‌ترین حلقه نایکویست مربوط به نمونه HP950-1 می‌باشد. به عبارت دیگر، این نمونه بیشترین مقاومت به خوردگی را در میان نمونه‌های دیگر دارد که دلیل این رفتار، یکنواختی و عدم تخلخل پوشش است. به منظور شبیه‌سازی اطلاعات نمودارهای امپدانس و فیت کردن داده‌های مربوط به EIS آزمایشگاهی، از مدار معادل موجود در شکل ۵ استفاده شد. در مدار معادل اشاره شده، R1 مقاومت الکترولیت، R2 و CPE1 مقاومت مسیر رسانایی یونی پوشش و المان فازی ثابت پوشش، R3 و CPE2 مقاومت در برابر انتقال بار و المان فازی ثابت لایه دوگانه را نشان می‌دهد. مقادیر المان‌های الکتریکی نمونه‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. با مقایسه مقادیر المان‌های الکتریکی به ویژه المان R3 (مقاومت در برابر انتقال بار) که مهم‌ترین پارامتر برای ارزیابی عملکرد خوردگی است، مشاهده می‌شود که نمونه پوشش عملیات حرارتی شده HP950-1 با مقدار عددی  $1.15 \times 10^7$  بهترین نمونه می‌باشد و بعد از آن، نمونه H950-1 با مقدار عددی  $3.13 \times 10^6$  مقاومت به خوردگی خوبی را نشان داده است. بهبود عملکرد خوردگی نمونه‌های پوشش عملیات حرارتی شده به علت افزایش چسبندگی بین لایه‌ای و

کاهش خوردگی فعال در امتداد مرزهای بین لایه‌ای متأثر از عملیات حرارتی می‌باشد. با مقایسه R3 برای دو نمونه پوشش H و HP مشاهده می‌شود که در نمونه پوشش HVOF فشار بالا (HP/HVOF) به علت بالا بودن سرعت و فشار پاشش ذرات، تخلخل و عیوب کمتری در پوشش وجود دارد که نهایتاً عملکرد خوردگی را تحت تأثیر قرار داده و بهبود می‌بخشد.

### نتیجه‌گیری

- (۱) مرزها و تخلخل‌های ناشی از تشکیل فاز مذاب و فرآیند نفوذ طی عملیات حرارتی در پوشش‌های عملیات حرارتی شده در مقایسه با نمونه‌های بدون عملیات حرارتی به طور قابل توجهی کاهش یافت.
- (۲) الگوهای پراش پرتو ایکس نشان داد که تفاوت معناداری بین ترکیب فازی پوشش‌های پاشش حرارتی شده توسط دو روش مختلف HVOF و HP/HVOF وجود ندارد. فاز آمورف حین پاشش عمدتاً به دلیل سرعت بالای سرد شدن پوشش پس از برخورد با سطح زیرلایه تشکیل شد.
- (۳) افزایش چسبندگی پوشش به سطح زیرلایه و کاهش مناطق فعال خوردگی از مزایای فرایند عملیات حرارتی پس از پوشش‌دهی بود، به نحوی که فرایند عملیات حرارتی چگالی جریان خوردگی را برای پوشش‌های HVOF از  $2.70 \times 10^{-7} \mu\text{A}/\text{cm}^2$  به  $1.42 \times 10^{-8} \mu\text{A}/\text{cm}^2$  و برای پوشش‌های HP/HVOF از  $6.52 \times 10^{-8} \mu\text{A}/\text{cm}^2$  به  $6.64 \times 10^{-9} \mu\text{A}/\text{cm}^2$  کاهش داد.
- (۴) نمونه HP950-1 با  $1.15 \times 10^7 \Omega/\text{cm}^2$  بهترین مقاومت در برابر خوردگی و نمونه H با  $246570 \Omega/\text{cm}^2$  کمترین مقاومت در برابر خوردگی را نشان داد. فرایند HP/HVOF با قابلیت پاشش ذرات تحت فشار و سرعت بالا منجر به کاهش تخلخل‌ها و عیوب در پوشش شد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی پودر NiCrBSi معروف به Colmonoy88 بر حسب درصد وزنی عناصر

کروم	بور	سیلیسیم	آهن	تنگستن	کربن	نیکل
۱۵٫۲	۴	۴٫۸	۴٫۴۵	۴٫۵	۰٫۰۵	بقیه

جدول ۲: پارامترهای فرایند پاشش

پارامترها	HVOF	HP-HVOF
تفنگ پاشش	HV-2000	JP-5000
نرخ جریان اکسیژن (لیتر بر دقیقه)	۱۰۰۰	۱۸۰۰
نرخ جریان سوخت (لیتر بر دقیقه)	۲۲	۴۵
فاصله پاشش (میلی متر)	۳۰۰	۳۰۰
گاز حامل	آرگون	آرگون
نرخ تغذیه پودر (گرم بر دقیقه)	۶۰	۸۰
فشار احتراق (بار)	۷	۲۸

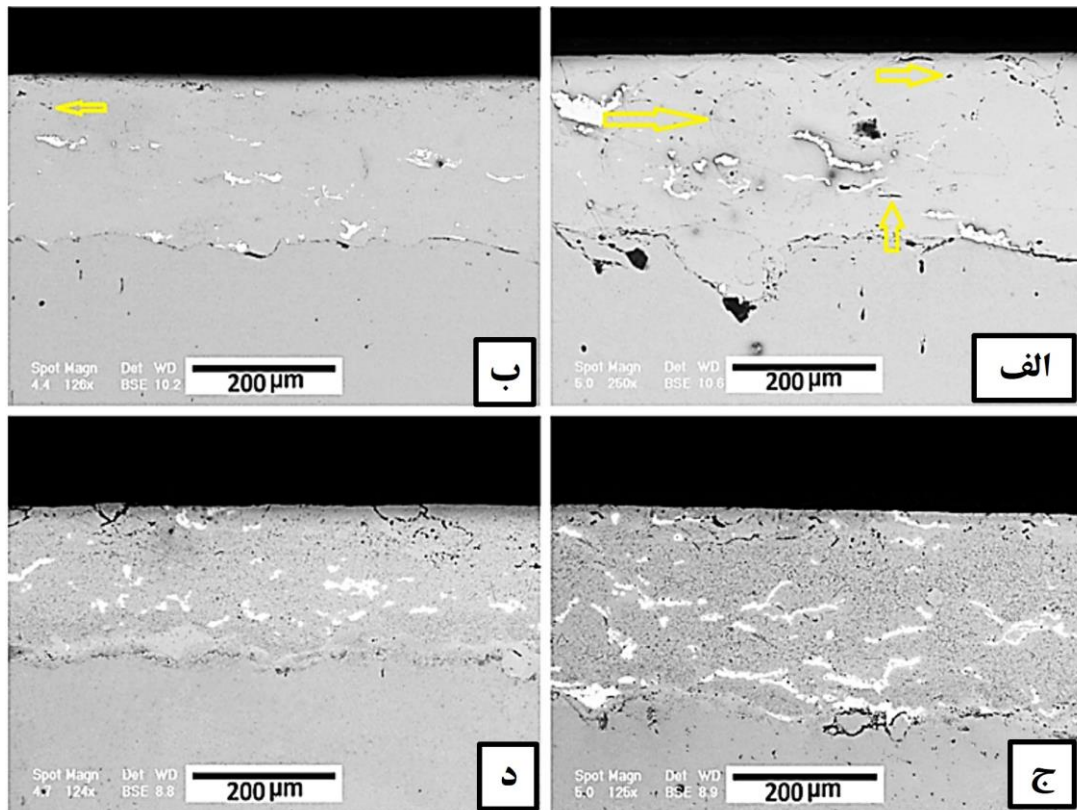
جدول ۳: نتایج برون یابی منحنی پلاریزاسیون نمونه ها

نمونه	$E_{Corr}$ (V <sub>Ag/AgCl</sub> )	$I_{Corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	$B_a$ (V/Dec)	$B_c$ (V/Dec)
H	-0.290	$2.70 \times 10^{-7}$	0.246	0.139
HP	-0.215	$6.52 \times 10^{-8}$	0.132	0.132
H950-1	-0.331	$1.42 \times 10^{-8}$	0.213	0.170
HP950-1	-0.234	$6.64 \times 10^{-9}$	0.253	0.114

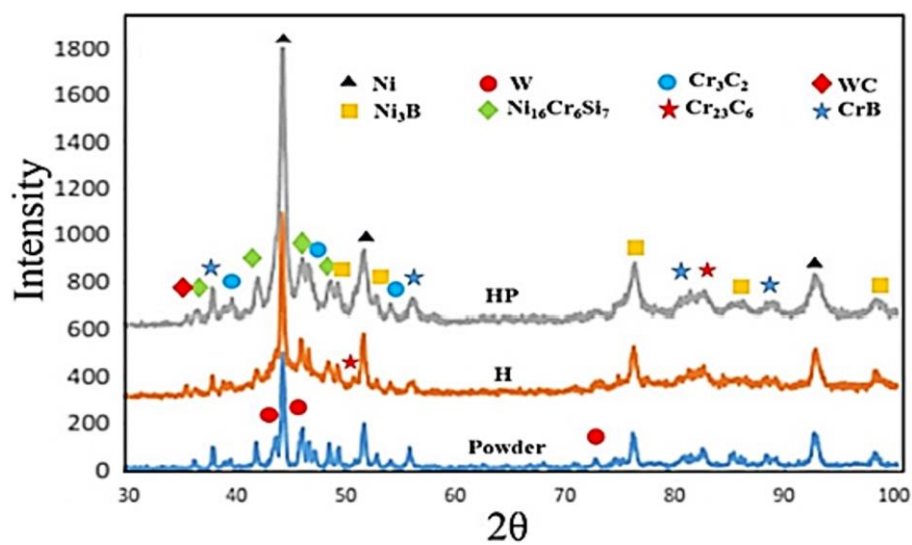
جدول ۴: مقادیر المان های الکتریکی استخراج شده توسط فیتینگ داده های امپدانس با استفاده از مدارهای معادل شکل ۵

نمونه	$R_s$	$Q_{dl}$	$n_{dl}$	$R_{coat}$	$CPE_{coat}$	$n_{coat}$	$R_{ct}$
H	22.19	$8.90 \times 10^{-6}$	0.88	74.3	$3.45 \times 10^{-6}$	0.88	246570

HP	22.19	$2.45 \times 10^{-6}$	0.86	89.24	$5.15 \times 10^{-6}$	0.83	282510
H950-1	22.19	$1.06 \times 10^{-6}$	0.59	149.7	$2.15 \times 10^{-7}$	0.81	$3.13 \times 10^6$
HP950-1	22.19	$9.13 \times 10^{-7}$	0.77	2203	$2.00 \times 10^{-6}$	0.82	$1.15 \times 10^7$

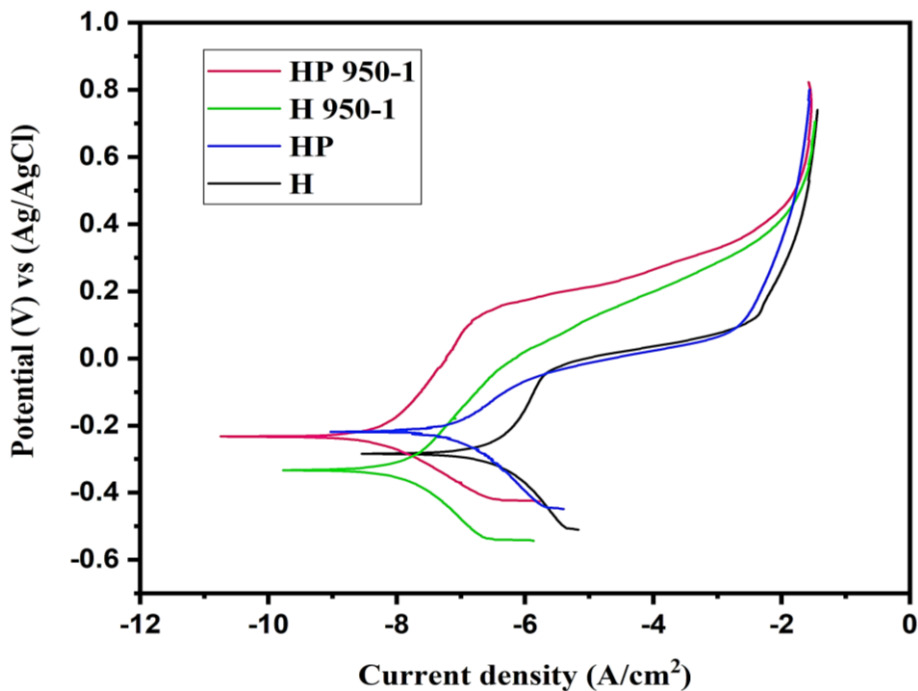


شکل ۱: ریزساختار سطح مقطع پوشش‌های (الف) H (ب) HP (ج) H950-1 (د) HP950-1

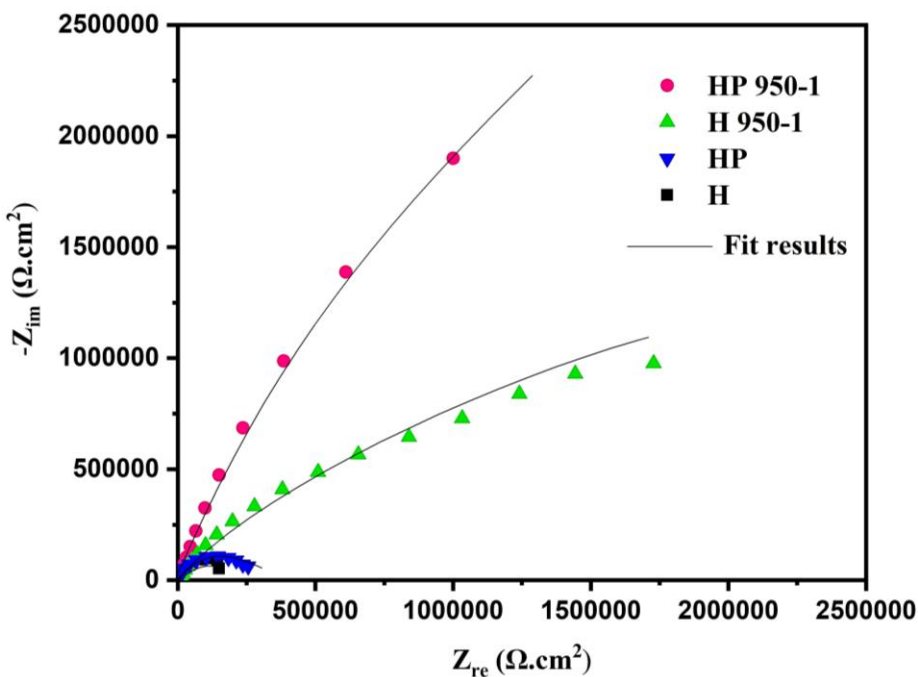


شکل ۲: الگوهای پراش پرتو ایکس پودر و پوشش‌های H و HP

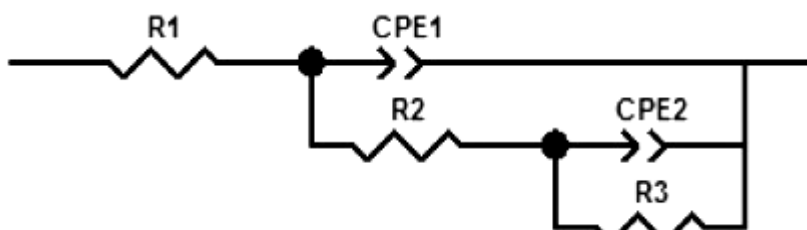




شکل ۳: منحنی‌های پلاریزاسیون Tafel نمونه‌ها در محلول ۳٫۵ درصد وزنی NaCl



شکل ۴: منحنی‌های نایکوئیست نمونه‌ها در محلول ۳٫۵ درصد وزنی NaCl



شکل ۵: مدار معادل جهت فیت کردن داده‌های طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی

## مراجع

- [۱] Amin S, Panchal H. A review on thermal spray coating processes. *transfer*. 2016;2:556-63.
- [۲] Kumar S, Kumar R. Influence of processing conditions on the properties of thermal sprayed coating: a review. *Surface Engineering*. 2021;37:1339-72.
- [۳] de Villiers-Lovelock H, Luyckx S. Preliminary investigation on the potential of VC-WC-Co HP/HVOF powders and coatings. *ITSC 2000: ASM International*; 2000. p. 647-56.
- [۴] Bergant Z, Grum J. Quality improvement of flame sprayed, heat treated, and remelted NiCrBSi coatings. *Journal of thermal spray technology*. 2009;18:380-91.
- [۵] González R, Garcia M, Penuelas I, Cadenas M, del Rocío Fernández M, Battez AH, et al. Microstructural study of NiCrBSi coatings obtained by different processes. *Wear*. 2007;263:619-24.
- [۶] Miguel J, Guilemany J, Vizcaino S. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes. *Tribology international*. 2003;36:181-7.
- [۷] García A, Cadenas M, Fernández MR, Noriega A. Tribological effects of the geometrical properties of plasma spray coatings partially melted by laser. *Wear*. 2013;305:1-7.
- [۸] Bergant Z, Trdan U, Grum J. Effect of high-temperature furnace treatment on the microstructure and corrosion behavior of NiCrBSi flame-sprayed coatings. *Corrosion Science*. 2014;88:372-86.
- [۹] Sun B, Fukanuma H, Ohno N. Study on stainless steel 316L coatings sprayed by a novel high pressure HVOF. *Surface and Coatings Technology*. 2014;239:58-64.
- [۱۰] Kazamer N, Muntean R, Vălean PC, Pascal DT, Mărginean G, Şerban V-A. Comparison of Ni-Based Self-Fluxing Remelted Coatings for Wear and Corrosion Applications. *Materials*. 2021;14:3293.
- [۱۱] Kong D, Zhao B. Effects of loads on friction–wear properties of HVOF sprayed NiCrBSi alloy coatings by laser remelting. *Journal of Alloys and Compounds*. 20۷-۷۰۵:۷۰۰;۱۷