

مانزد بمين سمينار ملى مهندسي تطح

پژوهشگاه مواد و انرژی ۲۹ و ۳۰ مهرماه ۱۳۹۳

## بهبود رفتار سایشی فولاد ۴۱۴۰ با ایجاد پوشش کامپوزیتی WC-Co به روش HVOF جایگزین پوشش های کروم شش ظرفیتی

احمد تحويليان ، سعيد اخوان ، سعيد صلواتي ، حامد نوري ، مهدى صالحي

۱. کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان
 ۲. کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان
 ۳. دانشجوی دکتری مهندسی مواد دانشگاه مک گیل کانادا
 ۴. کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند
 ۵. عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان– دکتری مهندسی مواد

چکیدہ

با توجه به خطرات زیست محیطی فرایند آبکاری کروم سخت، یافتن روش های جایگزین برای این پوشش امری اجتناب ناپذیز است. یکی از روش های مناسب جهت جایگزینی این فرایند، استفاده از روش های پاشش حرارتی است. در این پژوهش پوشش های ۲۵۲–۲۰۰۰ و WC–۱۰CO و WC–۱۷CO در شرایط مختلف بر روی زیرلایه ای از جنس فولاد ۴۱۴۰ توسط فرایند HVOF اعمال شده و خواص ریزساختاری پوشش های حاصل توسط آنالیز XRD و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج XRD نشان داد که تغییر ساختاری کمی در حین فرایند، برای پودرهای مورد استفاده رخ داده است. نتایج SEM نشان داد که تغییر ساختاری کمی در حین فرایند، برای پودرهای مورد استفاده رخ داده است. نتایج پوشش های -۱۰۷C به دست آمده است. نتایج آزمون سایش نشان داد که تمامی پوشش های ایجاد شده نسبت به فولاد ۴۱۴۰ بدون پوشش، بیش از ۴ برابر مقاوم تر هستند و بهترین مقاومت سایشی برای پوشش –WC -۱۰CO-۴Cr state۱

واژه های کلیدی: HVOF، آبکاری کروم سخت، پوشش WC-CO، مقاومت سایشی

s.a.metallurg@gmail.com

مقدمه

خواص قطعات مهندسی نهتنها وابسته به خواص درونی آنها است بلکه وابسته به مشخصات و خواص سطح آنها نیز هست. این مسئله خصوصاً در ارتباط با قطعات تحت سایش صادق است، زیرا هم باید خواص موردنیاز کلی قطعه را تأمين نمايند و همسطح آنها تحت شرايطي پيچيده و سخت بايد مقاوم باشد[١]. سايش فرايندي است كه طي آن در اثر تماس میان سطح قطعه با سطوحی دیگر، قطعه از بین میرود. معمولاً از روان کارها بهمنظور کاهش میزان اصطکاک و سایش استفاده می شود ولی این مواد هم در شرایط سخت مانند فشار کم، اکسیداسیون دمای بالا، نیرو و سرعتهای زیاد کارکرد خودشان را از دست میدهند. تحت این شرایط بهترین گزینه پوشش دهی سطح میباشد[۱و۲]. تاکنون در کشور برای ایجاد پوشش های سطحی مقاوم در کاربردهای هوایی از فرایند آبکاری کرومسخت استفاده می شده است. حمامهای آبکاری کروم حاوی اسید کرومیک است که کروم به شکل شش ظرفیتی در آن موجود است. کروم شش ظرفیتی بهعنوان یک عامل سرطانزا شناخته شده است که میزان سمی بودن آن از آرسنیک و کادمیوم نیز بیشتر است. در حین آبکاری، بخارات حاوی کروم شش ظرفیتی از مخازن حاوی مواد در هوا پراکنده می شوند که لازم است از محیط زدوده گردند و همچنین پسماندهای حاصل از فرایندهای آبکاری کروم جزو زبالههای زیان آور دستهبندی میشوند و به همین دلیل باید استفاده از این فرایند متوقف گردد[۳]. امروزه با توجه به خسارات جبرانناپذیر زیستمحیطی این فرایند و تلاش برای دستیابی به پوشش با کارایی بالاتر، تحقیقات درزمینهی جایگزینی فرایند آبکاری کرومسخت توسط فرایندهای نوین پوشش دهی همگام با سایر کشورهای پیشرفته دنیا امری لازم و ضروری به نظر میرسد. تحقیقات نشان میدهد، فرایند پاشش حرارتی HVOF 'می تواند بهترین گزینه برای جایگزینی آبکاری کرومسخت باشد. برای پوشش دهی آلیاژهای فلزی و کامپوزیتهای سرامیک-فلز مانند کاربید تنگستن-کبالت می توان از فرایند HVOF استفاده کرد و یوشش های چگال و با چسبندگی خوب به زیرلایه را تولید نمود[۳ و۴و۵و۶]. از عوامل مؤثر بر ترکیب خواص پوششها در این فرایند می توان به عواملی همچون دمای محفظهی تفنگ HVOF که تحت تأثیر میزان سوخت و اکسیژن ورودی می باشد، دبی و طراحی نازل هوای فشرده جهت خنک کاری و موقعیت قرارگیری آن نسبت به قطعهی تحت پاشش، فاصلهی تفنگ تا قطعه و... اشاره کرد[۵]. در این تحقیق عملکرد HVOF برای پوشش دهی چند نوع پودر WC-Co برروی زیرلایه از جنس فولاد ۴۱۴۰ که کاربردهای هوایی دارد، موردمطالعه قرار گرفته و نتایج بهدست آمده بررسی شد.

## مواد و روش تحقيق

در این پژوهش از نمونههایی با جنس فولاد ۴۱۴۰ بهعنوان زیرلایه استفاده شد. این نمونهها در ابعاد ۱۲× ۲× ۱ آماده و سطح آنها تا زبری ۲ دلتا سنگنزی شد. قبل از انجام فرایند پاشش، نمونهها مورد فرایند شن پاشی با استفاده از پودر کاربید سیلیسیم (SiC) قرارگرفته و سطح آنها خشن سازی شد. سپس با استفاده از محلول شستشو تمیز شدند تا هرگونه آلودگی سطحی اعم از اکسیدها، روغنها، و مواد چسبنده پاک شود و سطح فعال فلز آمادهی پاشش شود.

<sup>&#</sup>x27; High Velocity Oxy-Fuel

جهت ایجاد پوشش سخت مقاوم به سایش WC-Co سه نوع پودر تجاری متداول با ترکیب های -WC-۱۰Co و WC-۱۰Co و WC-۱۰Co انتخاب شد.

برای پاشش پودرهای مذکور بر روی زیرلایه های آماده شده، از دستگاه HVOF مدل MET JET III ساخت شرکت Metallization با سوخت مایع (ATK) استفاده شد که نسبت به بقیه دستگاه های HVOF دارای سرعت بسیار بالایی برای پاشش پودر بر روی زیرلایه می باشد و انرژی سینتیکی بسیار بالا و سختی و چسبندگی مناسب تری را برای پوشش ایجاد می کند. شرایط و پارامترهای پوشش دهی نمونه ها در جدول ۱ آورده شده است. نرخ تغذیه پودر برای همه نمونه ها ۸۰ گرم بر دقیقه و زاویه پاشش نسبت به سطح زیرلایه ۹۰ درجه در نظر گرفته شد.

جهت بررسی تأثیر پاشش بر ترکیب پودر از آزمایش پراش اشعه ایکس استفاده شد. بدین منظور از دستگاه XRD ساخت شرکت Philips مدل Xpert استفاده شد. اشعه مورداستفاده، اشعه تکفام CuKα با طولموج ۱/۵۴۲ آنگستروم میباشد. زمان هر گام ۱ ثانیه، اندازه گام ۰/۰۵ درجه و محدوده موردبررسی بازه ۱۰۰–۲۰ درجه انتخاب گردید.

از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Philips XL۳۰ برای مطالعه ریزساختار و مورفولوژی پوشش ها و همچنین بررسی میزان تخلخل پوشش، باندهای مکانیکی بین پوشش و زیرلایه و ضخامت پوشش استفاده شد. به منظور اندازه گیری میزان تخلخل پوشش از روش آنالیز تصویری تصاویر SEM و نرمافزار ابزار تصویر <sup>(</sup>بهره گرفته شد. جهت بررسی تأثیر پوشش دهی بر رفتار تریبولوژیکی فولاد ۴۱۴۰، آزمایش رفت و برگشتی سایش بر روی نمونه های فولادی بدون پوشش و با پوشش طبق استاندارد ASTM G۹۹ انجام شد. جهت تهیهی نمودارهای کاهش وزن نسبت به مسافت سایش، از ترازوی با دقت ۲۰۰۰، گرم در فواصل سایشی ۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر استفاده شد و هر بار نمونه کاملاً شسته شد تا از ذرات سایشی پاک شود و سپس خشکشده و وزن شدند. آزمون سایش با نیروی عمودی ۵۰ نیوتن و سرعت حرکت ۵ متر بر ثانیه در مسیر سایش ۸۰ سانتی متری در دمای محیط انجام شد. جنس ساینده OC-CO زینتر شده بوده و از هیچ روانکاری استفاده نشد.

**نتایج و بحث** همانطور که میدانیم در حین پاشش پودر WC-Co با استفاده از فرایندهای پاشش حرارتی پدیدههایی مانند: از دست رفتن کربن و تشکیل CWW و حتی گاهی W واکنش WC با کبالت و تشکیل ترکیبی مثل: CorWrC اکسید شدن تنگستن دکربوره شده (W) برای تشکیل WOW تبخیر انتخابی کبالت، به خصوص در فرایند پاشش پلاسمایی اتمسفری رخ میدهد که می تواند باعث تغییرات فازی در ساختار پوشش نسبت به پودر شود [۷و ۸و ۹]. لذا آزمایش XRD بر روی نمونههایی که با استفاده از پودرها و شرایط پاشش مختلف تهیه شده بودند انجام گرفت تا تغییرات فازی در حین

<sup>&#</sup>x27; Image Tools

پاشش مشخص شود. معیار ارزیابی کیفیت پوشش از روی نمودارهای XRD اصولاً بر این منوال است که ازنظر ایجاد فازهای نامطلوب مثل W<sub>r</sub>C و فاز ترد غنی از کبالت درزمینه ٔ موردبررسی قرار می گیرند[۱۰و ۱۱] و بهترین حالت، زمانی است که کمترین میزان استحالهی WC به فازهای دیگر رخداده باشد.

شکل ۱ الگوهای XRD مربوط به پودر State۱ و پوشش WC-۱۰Co-۴Cr و پوشش WC-۱۰Co-۴Cr در حالتی که میزان سوخت ۲۵۰ سوخت ۲۵۰ میلی لیتر بر دقیقه انتخاب شده (state۱) و پوشش WC-۱۰Co-۴Cr در حالتی که میزان سوخت ۲۷۰ میلی لیتر بر دقیقه انتخاب شده (state۲) رانشان می دهند. ملاحظه می شود که در هر دو حالت استحاله ی WC به WrC به کمترین میزان ممکن صورت گرفته است و پایداری فاز سخت تر به میزان مطلوبی حفظ شده است. مقایسه ی دو پوشش نشان می دهد که در حالتی که از سوخت به میزان ۲۵۰ استفاده شده است استحاله ی مذکور کمتر بوده است. همچنین می بینیم که بین پودر و پوشش تفاوت فازی بسیار کمی ایجاد شده که بیانگر خصوصیت مثبت HVOF و پارامترهای انتخاب شده برای آن جهت پوشش دهی می باشد که کمترین تغییر در خواص پودر را سبب می شود.

شکل ۲ الگوهای XRD مربوط به پودر و پوشش WC-۱۲Co را نشان میدهد. لازم به ذکر است که به دلیل ارجحیتی که برای پارامتر سوخت ۲۵۰ نسبت به ۲۷۰ در مورد پوشش WC-۱۰Co-۴Cr مشاهده شد، برای بقیه پودرها فقط از میزان سوخت ۲۵۰ استفاده شد. همان طور که مشاهده می شود، در این نوع پوشش هم میزان استحالهی فاز سخت WC به فازهای با سختی کمتر بسیار کم بوده است اما در مقایسه با پوشش های WC-۱۰Co-۱۰Co-۱۰Co-۱۰Co استحالهی مذکور به میزان بیشتری رخداده است. در این شکل نیز به وضوح پایداری پیکهای پودر در پوشش مشاهده می گردد. این مسئله همان طور که قبلاً هم در مورد پوشش WC-۱۰Co-۱۰Co گفته شد، نشانگر حفظ خواص پودر طی فرایند پاشش است.

در مورد گرافهای XRD پودر و پوشش WC-۱۷Co که در شکل ۳ آمده است نیز مطالب گفته شده در مورد انواع دیگر پوششها، یعنی تغییر ناچیز در خواص پودر قابل مشاهده است.

شکل ۴ ساختار فولاد در نزدیکی پوشش را نشان میدهد. این تصاویر بهخوبی تشکیل ساختار ریختگی را برای زیرلایه فولادی نشان میدهد. تحقیقات نشان داده است در هنگام برخورد ذرات پوشش با سطح زیرلایه، در کسری از ثانیه حرارت بالایی به سطح نمونه منتقل میشود. این حرارت باعث ذوب سطحی به مقدار بسیار کم و پسازآن انجماد سریع به دلیل گرادیان حرارتی بسیار بالا و انتقال حرارت سریع در فولاد میشود. این امر سبب میشود تا در نزدیکی پوشش در زیرلایه (ناحیه فصل مشترک) دانههای فولاد بسیار ریزتر از بقیه ساختار گردد. درواقع ساختار ایجادشده شبیه فولاد ریختگی و با اندازه دانههای بسیار ریز است که با حرکت به سمت نواحی پایین تر زیرلایه، به تدریج درشت تر شده تا نهایتاً به ساختار اصلی زیرلایه برسیم. این رفتار قبلاً توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است[11].

همچنین در شکل ۴ مشاهده میشود که پوشش در فرورفتگیهای زیرلایه گیرکرده و در آن ایجاد سوراخ کلیدی نموده است. برخورد ذرات WC-Co با سطح فلزات در فرایند پاشش حرارتی HVOF سبب میشود که در اولین

لایه پوشش، سطح زیرلایه تغییر شکل پلاستیک دهد وذرات بهداخل زیرلایه فروروند[۱۲]. از طرف دیگر سندبلاست کردن سطح قبل از پاشش سبب به وجود آمدن فرورفتگیها و برآمدگیهایی می کند که میتوانند به ایجاد قفل مکانیکی بین پوشش و زیرلایه کمک کنند و اتصالات قوی مانند سوراخهای کلیدی را به وجود آورند. سند بلاست سطح همچنین میتواند سطحفعال فلزی ایجادکند که باپوشش وارد واکنش شده و اتصالات متالورژیکی رخدهد. شکل ۵ تصاویر SEM پوشش ۲۵–۱۰۰C۰ با شرایط پاششی ۱۵ state۱ را نشان میدهد. در شکل ۵–الف پوششی با یکنواختی مناسب و قفل مکانیکی قابل قبول به سطح زیرلایه مشاهده میشود و بنابراین پیش بینی گردید که چسبندگی مناسبی بین پوشش و زیرلایه ایجادشده باشد. شکل ۵–ب تصویر SE پوشش را نشان میدهد که برای تعیین میزان تخلخل تهیهشده است. با توجه به این شکل مشاهده میشود هیچ گونه تخلخلی در این مقطع پوشش کشف نشد و نشانگر تخلخل نزدیک به صفر برای این پودر و با پارامترهای مشخص ایجاد این پوشش میباشد. در شکل ۶ تصاویر SEM پوشش میباشده است. با توجه به این شکل مشاهده میشود هیچ گونه تخلخلی در این مقطع پوشش در شکل ۶ تصاویر State پوشش میباند و حال این پودر و با پارامترهای مشخص ایجاد این پوشش میباشد. در شکل ۶ تصاویر کاد

WC-۱۰Co-۴Cr، در فصل مشترک پوشش و زیرلایه مقداری ذوب شدگی و یا ایجاد ساختار ریختگی مشاهده می شود، که خوردگی پوشش و زیرلایه را به همراه دارد که فاکتور غیرقابل قبولی برای پوشش های پاشش حرارتی می باشد. از سوی دیگر با توجه به شکل ۶-ب میزان تخلخل قابل ملاحظه ای در نواحی نزدیک به سطح پوشش ایجاد شده که در مورد اول وجود نداشت. از این رو و نیز با توجه به تغییرات فازی بیشتر، هنگامی که میزان سوخت بالاتری انتخاب کردیم، سوخت ورودی ۲۷۵ میلی لیتر بر دقیقه نامناسب شناخته شد و برای بقیه ی پودرها مورد استفاده قرار نگرفت.

شکل ۷- تصاویر SEM پوشش O۲C-۱۲CO را نشان میدهد. شکل ۷-الف پوشش بسیار یکنواخت و با قفل مکانیکی و فصل مشترک بسیار مناسب برای پوشش O۲C-۱۲COرا نشان میدهند. شکل ۴ نیز تصویر مربوط به همین نمونه را با بزرگنمایی بالاتر نشان میدهد و کیفیت خوب پوشش را تأیید میکند. با توجه به شکل ۷-ب مقداری کندگی در مقطع پوشش مشاهده میشود که گمان میرود مربوط به مراحل آمادهسازی نمونه و جدا شدن مقداری از کبالت زمینه باشد. اما تخلخل نزدیک به صفر مشاهده شد.

در مورد پوشش WC-۱۷CO برخلاف پوشش WC-۱۲CO و WC-۱۰Co-۴Cr (در حالت سوخت ۲۵۰ میلی لیتر) کیفیت مناسبی در فصل مشترک پوشش و زیرلایه مشاهده نمی شود. هرچند قفل مکانیکی خوبی ایجاد شده است اما ایجاد فاز سوم بین پوشش و زمینه می تواند باعث ضعف خواص مکانیکی پوشش گردد. این مطلب در شکل ۸-الف به وضوح دیده می شود. عمق حفره هایی که در شکل ۸-ب برای پوشش OVC-۱۰CO دیده می شود بیانگر حضور تخلخل بیش از ۱ درصد در پوشش مذکور می باشد و بنابراین افت خواص موردنظر در این پوشش، در مقایسه با دو نمونه نام برده شده قابل پیش بینی است.

برای اندازه گیری ضخامت پوشش از تصاویر SEM تهیهشده از سطح مقطع نمونههای پوشش دادهشده، استفاده شد و در همه نمونهها، ضخامت پوشش اعمالشده در حدود ۲۰۰ میکرومتر به دست آمد. بر اساس محاسباتی که با شبیهسازی انجام شد، ضخامتی در حدود ۱۵۰ میکرومتر به عنوان ضخامت بهینه معرفی شد و لذا این پوشش ها قابلیت پولیش تا ۵۰ میکرومتر باربرداری از سطح را دارند.

نتایج اندازه گیریهای تخلخل بر اساس آنالیز تصویری و با استفاده از آنالیز ۱۰ تصویر برای هر نمونه در نرمافزار ابزار تصویر در جدول ۲ گزارششده است. نتایج گزارششده میانگین ۱۰ اندازه گیری است. لیو <sup>۱</sup>و همکاران [۱۳] حدود ۱۶ پوشش WC-Co ایجادشده با پارامترهای مختلف HVOF را موردبررسی قراردادند و نتایج تخلخل سنجی آنها نشان داد که درصد تخلخل ها بین ۱۰/۰ تا ۱۸۴ بوده است که عدد ۱۸۴ مربوط به بدترین پوشش بود. این نتایج نشان میدهد که میزان تخلخل موجود در پوششهای ایجادشده در این پژوهش از حد مطلوب بالاتر است. می توان نشان میدهد که میزان تخلخل موجود در پوششهای ایجادشده در این پژوهش از حد مطلوب بالاتر است. می توان ادعا نمود به دلیل عدم دسترسی به دستگاههای اتوماتیک مناسب برای آماده سازی سطح متالو گرافی، ذرات WC از سطح مقطع پوشش جداشده و تخلخل کاذب ایجادشده است. لازم به ذکر است که در این تحقیق خطای مربوط به در نظر گیری عواملی غیر از تخلخل از نتایج حذف نشده است. و با توجه به این نکات می توان میزان تخلخل این پوشش ها را در حد قابل قبول دانست. همان گونه که مشاهده می شود تخلخل موجود در پوششی که همراه با لایه میانی Ni-Cr

سند بلاست شده دانست که ممکن است باعث گیر افتادن هوا در بین اسپلت های WC و تپههای Ni-Cr شود. شکل ۹ مقایسهی نمودارهای کاهش وزن نمونههای تحت سایش برحسب مسافت سایش را برای فولاد ۴۱۴۰ و پوشش های WC-Co نشان میدهد. همان طور که مشاهده می شود بدترین پوشش ازنظر رفتار سایشی، مقاومتی در حدود ۴ برابر فولاد از خود نشان می دهد. همچنین دیده می شود، برخلاف آنچه در دیگر گزارشات [۱۴و ۱۵و۱۶] برای رفتار سایشی دمای محیط این گونه پوششها ذکرشده است، پوششهای WC-۱۲Co و WC-۱۷Co رفتار سایشی ضعیف تری را نسبت به گروه پوششهای WC-۱۰Co-۴Cr از خود نشان میدهند. علت این مطلب را قطعاً باید در فاز بایندر جستجو کرد. فلز کبالت نسبت به WC و کروم از سختی بسیار پایین تری برخوردار است. همچنین در دمای بالا می تواند از طریق چسبیدن به اجزای ساینده از سطح کنده شود. بنابراین مکانیزم های مختلفی در دمای بالا برای بیرون راندن کبالت از سطح پوشش وارد عمل می شوند. بر طبق مشاهدات یانگ <sup>۲</sup>[۱۶] می توان گفت فشار وارد بر فاز بایندر کبالت همراه با دمای بالا، کبالت را به سمت بیرون از بین دانه های WC اکسترود می کند؛ از طرفی در حین لغزش گلوله ساینده مقداری از کبالت از طریق سایش چسبان کنده می شود. کبالت عامل چسباننده و نیز جذب کننده ضربه برای کامپوزیت WC-Co محسوب می گردد. با خارج شدن کبالت از بین ذرات WC، این ذرات نیز می توانند در اثر نیروی برشی ایجادشده از طریق اصطکاک از سطح جدا شوند. همچنین خرد شدن دانه های تنهای WC که بهصورت برآمدگیهای جزیره مانند پس از خارج شدن کبالت بر روی سطح باقی میمانند، به از دست رفتن ماده از سطح پوشش کمک می کند. نتایج آزمایشات لی<sup>۳</sup> این تئوری را تأیید می کند [۹]. این عامل سبب می شود تا پوششهایی که فقط کبالت را بهعنوان بایندر در سطح دارند زودتر از پوششهای دیگر ساییده شوند. از طرفی

- ` Liu
- <sup>Y</sup> Yang
- " Li

میزان بالاتر سایش WC-۱۲CO نسبت به WC-۱۷CO را میتوان به تردتر بودن آن نسبت داد. در عوض در پوششهای ۴Cr-۱۰CO-۴C۲، کروم موجود در پوشش با سختی بالا، موجب استحکام دادن به فاز بایندر میشود و آن را در برابر خیش زدن در دمای بالا از طرف گلوله ساینده حفظ میکند. به همین دلیل پوششهای حاوی کروم در فاز بایندر، همگی رفتار سایشی مطلوب تری را نشان دادهاند.

## نتيجه گيري

۱) با توجه به انتخاب مناسب پارامترهای فرایند HVOF تغییر قابل ملاحظه ای در ساختار پوشش در مقایسه با پودرهای WC-Co اولیه مشاهده نشد.
 ۲) مقاومت در برابر سایش برای ضعیف ترین پوشش بیش از پنج برابر فولاد ۴۱۴۰ بود. بیشترین مقاومت به سایش را پوشش ۲) مقاومت در برابر سایش برای ضعیف ترین پوشش بیش از پنج برابر فولاد ۴۱۴۰ بود. بیشترین مقاومت به سایش را پوشش ۳) مقاومت در برابر سایش برای ضعیف ترین پوشش بیش از پنج برابر فولاد ۲۰۴۰ بود. بیشترین مقاومت به سایش را پوشش ۳) مقاومت در برابر سایش برای ضعیف ترین پوشش بیش از پنج برابر فولاد ۲۰۴۰ بود. بیشترین مقاومت به سایش را پوشش ۳) مقاومت به سایش مربوط به پوشش ۸۰۰ سایش را پوشش ۳) مقاومت به سایش مربوط به پوشش ۲۰۵۰ سایش داشت و کمترین مقاومت به سایش مربوط به پوشش های ۲۰۵۰ سایس در ۴۲۰ بود.
 ۳) حضور کروم در فاز بایندر پوشش های ۲۰۲۰ سایس داشت و کمترین مقاومت به سایش مربوط به پوشش های کاربید تنگستن ۳) حضور کروم در فاز بایندر پوشش های WC-O۲ می گردد، به طوری که با حضور ۴ درصد کروم در فاز بایندر، به جای کبالت نسبت به پوشش های ۲۰۵۰ WC می باین یافت.

مراجع

[1] Stachowiak, G.W., Batchelor, A.W., Engineering tribology, Butterworth-Heinemann, Y...

[Y] D.Errico, G.E., Bugliosi, S., Cuppini, D., Erosion of Ceramics and Cermets, Proceedings of the Advances in Materials and Processing Technologies AMPT. 49, Dublin, Ireland, pp. 1717–1771, 1449
[٣] BRUCE D. SARTWELL, KEITH O. LEGG, JERRY SCHELL "Validation of HVOF WC/Co Thermal Spray Coatings as a Replacement for Hard Chrome Plating on Aircraft Landing Gear", Naval Research Laboratory, Washington, DC, March ٣1, 7...۴.

[F] "High Velocity Oxy Fuel Final Results Report" Final Report issued by Science

Applications International Corporation under Government Contract F. 99. ۳-9--

DYY10, Oklahoma City Air Logistics Center, Tinker Air Force Base, May 10, 1994.

[۵] ف. اشرفی زاده، م. صالحی، متالورژی سطح و تریبولوژی، جلد اول، انتشارات علوم و تکنولوژی سطح ایران، ۱۳۷۴. [۶] J.R.Davis, "Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance" ASM International (۲۰۰۱).

[] Bhushan, Bh, Modern tribology handbook, CRC press, ۲۰۰۱.

[v] "Coatings as a Replacement for Hard Chrome Plating on Aircraft Landing Gear, Part I: Material Testing." Prepared by Hard Chrome Alternatives Team for Environmental Security Technology Certification Program, Revision A, September 1999.

[ $\Lambda$ ] "HVOF Final Results Report" Final Report issued by Science Applications International Corporation under Government Contract F.49.7–4.Drr10, Oklahoma City Air Logistics Center, Tinker Air Force Base, May Y0, 1444.

[9] Li. C, Ohmori. A, Tani. K, "Effect of WC Particle Size on the Abrasive Wear of Thermally Sprayed WC-Co Coatings", Materials and Manufacturing Processes, Vol. 14, pp. 140–144, 1999.

[1.] Verdon. C, Karimi. A, Martin. J. L,"A study of high velocity oxy-fuel thermally sprayed tungsten carbide based coatings. Part I: Microstructures", Materials Science and Engineering A, Vol. 49, pp. 11-14, 144A.

[11] Bolelli. G, Lusvarghia. L, Barletta. M, "HVOF-sprayed WC-Co-Cr coatings on Al alloy: Effect of the coating thickness on the tribological properties", Wear, Vol. 197, pp. 944-968, 1.19

[1Y] Lung. M, Chun. J. P, "Influence of coating microstructure on the abrasive wear resistance of WC/Co cermet coatings", Surface and Coating Technology, Vol.1YF, pp.1W0-YFY, Y....

[17] Liu. S, Liu. G, "Preparing nano-crystalline rare earth doped WC/Co powder by high energy ball milling", International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 14, pp. 491-494, 10.99.

[14] Qiao. Y, Liu. Y, Fischer. E, "Sliding and Abrasive Wear Resistance of Thermal Sprayed WC-Co Coatings", ASM International, Volume 1.(1), pp. 11A–116, 7...1.

[16] Stewart. D.A, Shipway. P.H, McCartney. D.G, "Abrasive wear behavior of conventional and nanocomposite HVOF-sprayed WC-Co coatings", Wear, Vol. 176, pp. VA9-V9A, 1999.

[19] Yanga. Q, Senda. T, Hirose. A, "Sliding wear behavior of WC-117/Co coatings at elevated temperatures", Surface and Coating Technology, Vol. 7.., pp. 47.A-47117, 7..9.

فشار	نرخ گاز	فاصله	نسبت اکسیژن	نرخ تغذيه	نرخ تغذيه	
اكسيژن	حامل	پاشش	به سرخت	سوخت	اكسيژن	نمونه
(bar)	(lit/min)	(Cm)	به سو عن	(milt/min)	(lit/min)	
	~					WC-1.Co-FCr
۲.	٢	70	r/r r	10+	AF.	state
	r	~				WC-1.Co-FCr
Ţ •	٢	10	۲/۰۷	1.1.1	×1.	stater
۲.	۴	۳۵	٣/٣٢	20.	۸۳۰	WC-1YCo
۲.	۴	۳۵	٣/٣٢	۲۵۰	۸۳۰	WC-1vCo
۲.	۴	٣٨	*/**	۲۵.	۸۳,	WC-1.Co-FCr
	,	, 0	,,,,,	101		No sandblast
۲.	۴	٣٥	٣/٣٢	۲۵.	۸۳۰	WC-1.Co-FCr
, •	1	, 0	,,,,,	,		NiCr bondcoat

جدول ۱: شرایط و پارامترهای ایجاد پوشش WC-Co بر روی نمونه ها به روش HVOF.

نمونه	درصد تخلخل	
WC-1.Co-FCr state	$1/r \pm \cdot/r$	
WC-1.Co-FCr stater	$1/Y \pm \cdot/1$	
WC-1YCo	1/作士・/1	
WC-1vCo	1/1 ±・/Y	
WC-1.Co-FCr No sandblast	$1/2 \pm \cdot/4$	
WC-1.Co-FCr NiCr bondcoat	$1/1 \pm \cdot/1$	

جدول ۲: نتایج تخلخل سنجی پوشش ها.



شکل ۱: الگوی XRD مقایسهای برای پودر و پوشش WC-۱۰Co-۴Cr.



شکل ۲: الگوی XRD مقایسه ای برای پودر و پوشش WC-۱۲Cr.



شکل ۳: الگوی XRD مقایسهای برای پودر و پوشش WC-۱۷Co.



شکل ۴: تصویر SEM ساختار ریزدانه زیرلایه فولادی در نزدیکی فصل مشترک پوشش WC-۱۲C.





شکل ۵: تصاویر SEM مربوط به پوشش (WC-۱۰Co-۴Cr- state الف) فصل مشترک پوشش و زیرلایه ب) تصویر SE پوشش.



شکل ۲: تصاویر SEM مربوط به پوشش WC-۱۰Co-۴Cr- state۲ الف) فصل مشترک پوشش و زیرلایه ب) تصویر SE پوشش.



شکل ۶: تصاویر SEM مربوط به پوشش WC-۱۲Co الف) فصل مشترک پوشش و زیرلایه ب) تصویر SE پوشش.



شکل ۸: تصاویر SEM مربوط به پوشش WC-19C0 الف) فصل مشترک پوشش و زیرلایه ب) تصویر SE پوشش.



شکل ۹: مقایسهی نمودارهای کاهش وزن نمونههای تحت سایش برحسب مسافت.