

ایجاد پوشش سرمت WC-Co به روش پلاسمای الکترولیتی بر روی فولاد کم کربن و بررسی خواص سایشی آن

معصومه ملائی*^۱، فاطمه محزون^۲، کمال جانقربان^۳، بابک هاشمی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۴، ش.ص ۶۶-۵۷، تاریخ پذیرش ۱۳۹۵/۰۳/۳۰)

چکیده

در این پژوهش پوشش سرمت کاربید تنگستن - کبالت بر روی فولاد کم کربن (CK1020) با استفاده از روش پلاسمای الکترولیتی ایجاد شد. پوشش‌های سرمتی بر روی زیر لایه فولادی می‌تواند خواص تریبولوژی را تا حد بسیار زیادی بهبود بخشد. پوشش‌های سرمتی تولیدی با روش پلاسمای الکترولیتی علاوه بر ویژگی‌های سطحی دارای مورفولوژی منحصر به فردی هستند که موجب اتصال بسیار مناسب به زیر لایه می‌گردند. نمونه‌ها با اعمال جریان مستقیم و اختلاف پتانسیل ۱۱۰ ولت پوشش داده شدند. مورفولوژی، سطح مقطع و سطح سایش نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز عنصری (EDS) حضور عناصر تنگستن، کربن، کبالت، آهن، را نشان داد. آزمایش سایش با استفاده از دستگاه پین روی دیسک مجهز به پین‌های سایشی از جنس فولاد SAE 52100 با قطر ۵ میلیمتر انجام شد که نمونه‌های پوشش داده شده با سرمت کاربید تنگستن - کبالت مقاومت بیشتری در برابر سایش در مقایسه با نمونه بدون پوشش از خود نشان دادند و ضریب اصطکاک از مقدار بزرگ‌تر از یک برای نمونه‌های بدون پوشش به ۰/۷ برای نمونه‌های پوشش داده شده کاهش یافت. همچنین، مقادیر کاهش وزن بعد از تست سایش برای نمونه‌های پوشش داده شده کم‌تر بود. بررسی میکرو ساختار سایشی نشان داد که مکانیزم غالب از نوع خراشان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز عنصری (EDS)، پلاسمای الکترولیتی، سایش خراشان، سرمت.

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز

^۲ - عضو هیئت علمی، پژوهشکده نانو فناوری-دانشگاه شیراز

^۳ - عضو هیئت علمی، بخش مهندسی مواد-دانشگاه شیراز

^۴ - عضو هیئت علمی، بخش مهندسی مواد-دانشگاه شیراز

*-نویسنده مسئول مقاله: Mina.malaei@yahoo.com

پیشگفتار

پوشش دهی، یکی از موضوعات مهم مهندسی سطح می‌باشد که معمولاً برای ارتقای خواص سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پوشش دهی معمولاً به منظور بهبود خواص خوردگی و سایشی بر روی فلزات به کار می‌رود. امروزه تکنولوژی مدرن به دنبال راهی برای افزایش عمر قطعات و دستگاه‌های مورد استفاده می‌باشد. بدین منظور فناوری اصلاح سطوح پیشرفت قابل ملاحظه‌ایی داشته است و به عنوان یک رشته جدید برای افزایش عمر قطعات و بهره‌وری اقتصادی شناخته می‌شود [۱].

ایجاد پوشش بر روی سطح فولاد از راه‌های بسیار موثر برای رفع محدودیت‌های کاربردی آن می‌باشد. تکنیک‌های مختلفی جهت ایجاد پوشش بر روی سطوح فولادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به اسپری گاز-شعله^۱، پاشش سریع اکسیژنی (HVOF)^۲، تخلیه قوسی پلاسمایی^۳، لایه نشانی در خلأ^۴، رسوب دهی با بخار^۵ (CVD) اشاره کرد. بسیاری از این روش‌ها نیازمند اعمال دمای بالا می‌باشند که دمای زیر لایه افزایش می‌یابد و معمولاً باعث کاهش خواص مکانیکی می‌گردد. یکی از روش‌هایی که به منظور پوشش دهی بر روی فولاد اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، فرآیند الکترولیتی پلاسمایی (PEP)^۶ می‌باشد [۲].

روش فرایند الکترولیز پلاسمای (PEP) یکی از روش‌های جدید مهندسی سطح می‌باشد که بر اساس پدیده تخلیه الکتریکی در حین الکترولیز است، یعنی شامل الکترولیز و پدیده تخلیه الکتریکی است [۳]. فرآیند الکترولیز پلاسمای روشی مشابه با آبکاری معمولی می‌باشد، با این تفاوت که پتانسیل مورد استفاده در فرایند الکترولیتی پلاسمای بسیار بالاتر از فرایندهای معمولی است [۳]. پیدایش این تکنیک به

دهه ۱۹۳۰ برمیگردد؛ هنگامی که اولین بار کانترشالتز^۷ و بتز^۸ تخلیه الکتریکی را بر روی سطح آندی بررسی کردند [۴]. در فرآیند کاتدی الکترولیز پلاسمای با اعمال ولتاژ در یک محیط آبی در ابتدا جریان بر طبق قانون فارادی افزایش می‌یابد، در ادامه با افزایش ولتاژ تا یک مقدار بحرانی زمینه برای تشکیل گازهای یونیزه شده در اطراف کاتد فراهم می‌شود به طوری که سطح الکتروود به صورت کامل توسط این حباب‌های گازی پوشیده می‌شود. سپس جریان افت می‌کند و تخلیه الکتریکی صورت می‌گیرد و پوشش‌هایی حاوی مواد الکترولیت بر روی زیر لایه ایجاد می‌شود [۵]. پوشش‌های PEP معمولاً بر روی فولادهای ارزان اعمال می‌شود. فولاد کم کربن به دلیل خواص مطلوبی از جمله استحکام نسبتاً بالا، چقرمگی بالا، قابلیت ماشین کاری خوب و قیمت پایین یکی از پرکاربردترین مواد در مهندسی می‌باشد. این فولادها از قابلیت جوشکاری بالا و خواص مغناطیسی مناسبی نیز برخوردار هستند؛ اما نسبت به سایش و خوردگی آسیب پذیر می‌باشند و این عامل، باعث ایجاد محدودیت در بسیاری از زمینه‌ها شده است؛ اما در مواردی که تحت عملیات‌های سطحی قرار گیرند، قابلیت‌های خوبی پیدا می‌کنند. مصرف قطعات فولادی به علت قابلیت اطمینان و دوام بیشتر در شرایط کار حساس همواره رتبه اول را دارا بوده است [۶].

کاربرد تنگستن - کبالت از مواد کامپوزیتی می‌باشد که به دلیل سختی بالا، ضریب اصطکاک کم، انعطاف پذیری خوب و قابلیت ترشوندگی بالا از معروف‌ترین سرمت‌ها می‌باشد [۷-۸]. استفاده از سرمت‌های کاربرد تنگستن به عنوان پوشش‌های محافظ سطوح فولاد، در برابر شرایط سایشی، فرسایشی در حال بسط و گسترش است [۹].

با استفاده از روش پلاسمای الکترولیتی پوشش‌هایی از جنس روی، روی-آلومینیوم [۳] بر روی فولادهای ساده کربنی ایجاد شد. همچنین، تلاش‌هایی برای ایجاد پوشش‌هایی از جنس هیدروکسی آپاتیت بر روی فولاد زنگ نزن صورت گرفته است [۱۰] (۱۱). ایجاد پوشش‌های سرمتی

¹ - Gas-flame spray

² - High Velocity Oxy-Fuel

³ - Arc-discharge plasma

⁴ - Vacuum deposition

⁵ - Chemical Vapor Deposition

⁶ - Plasma electrolytic process

⁷ -Cunterschultz

⁸ -Betz

عنوان الکترولیت مورد استفاده قرار گرفت که ترکیب بهینه حمام برای رسیدن به ولتاژ مورد نیاز برای تشکیل پلازما بعد از انجام آزمایشات متعدد و تغییر درصد ترکیبات موجود در حمام به دست آمد. ترکیب بهینه برای ایجاد پوشش مناسب از کاربید تنگستن - کبالت در جدول ۲ آمده است. مواد مورد استفاده در جدول ۲ همگی با درصدهای ذکر شده در یک بشر ریخته شده و با استفاده از یک همزن مکانیکی به طور کامل مخلوط گردیدند. همچنین، از همزن در تمام مدت زمان پوشش دهی به منظور جلوگیری از ته نشینی پودرها استفاده گردید.

جدول ۲- ترکیب شیمیایی حمام الکترولیت (درصد وزنی)

آب	گلیسرین	PEI	WC-Co	KCl	NH ₄ Cl
ماقی	۷	یک قطره	۰/۵	۱	۳

به دلیل سنگینی پودر مورد استفاده از فعال کننده سطحی پلی اتیلن ایمین (PEI) استفاده شد. یک منبع تغذیه جریان مستقیم مورد استفاده قرار گرفت که شامل یک خروجی منفی و یک خروجی مثبت بود. در روش کاتدی الکترولیز پلازما، نمونه‌ها به عنوان کاتد به خروجی منفی دستگاه متصل شدند. همچنین، از یک ورق فولاد ضد زنگ به عنوان آند استفاده شد. نمونه‌ها به عنوان کاتد در وسط بشر به کمک یک گیره و پایه قرار گرفته و ورق فولاد ضد زنگ استوانه ایی شکل به عنوان آند در اطراف آن و در کمترین فاصله ممکن قرار گرفت و به قطب مثبت دستگاه متصل شد. لازم به ذکر است مساحت سطح آند ۵۰ برابر نمونه‌ها می باشد. با اعمال ولتاژ تا ۶۰ ولت، جریان تا حدود ۲۵ آمپر بالا رفته و سپس با یونیزه شدن گازها در داخل الکترولیت، جریان افت کرد و به حدود ۵ آمپر رسید. حداکثر ولتاژ مورد استفاده ۱۱۰ ولت و زمان بهینه برای پوشش دهی حدود ۱۰ دقیقه تعیین شد. به منظور بررسی مورفولوژی پوشش‌ها و مسیر سایش نمونه‌ها بعد از تست

بر روی فلزات با روش‌های دیگری صورت گرفته است، روش پاشش سریع اکسیژنی (HVOF) به طور گسترده برای ایجاد این نوع پوشش سرمتی بر روی زیر لایه‌های مختلف و با افزودنی‌های مناسب به کار گرفته شده است. ککس و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با تغییر نسبت‌های این سرمت (تغییر مقدار فاز فلزی و یا فاز سرامیکی) به بررسی خواص تریبولوژی این پوشش‌ها پرداخته‌اند [۱۲]. همچنین، سلطان ال موتاری در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثر تغییر اندازه (مقایسه پودرهای میکرونی و نانویی) پودر مورد استفاده در ایجاد این پوشش با روش پاشش سریع اکسیژنی (HVOF) و تاثیر آن بر روی خواص مکانیکی ایجاد شده این پوشش پرداخته است [۲]؛ اما طبق ادعای نویسندگان پوشش سرمتی با روش PEP تاکنون گزارش نشده است. در این تحقیق پوشش سرمت WC-Co بر روی زیر لایه فولاد کم کربن به منظور افزایش مقاومت به سایش با روش الکترولیز پلاسمایی کاتدی مورد مطالعه قرار گرفت.

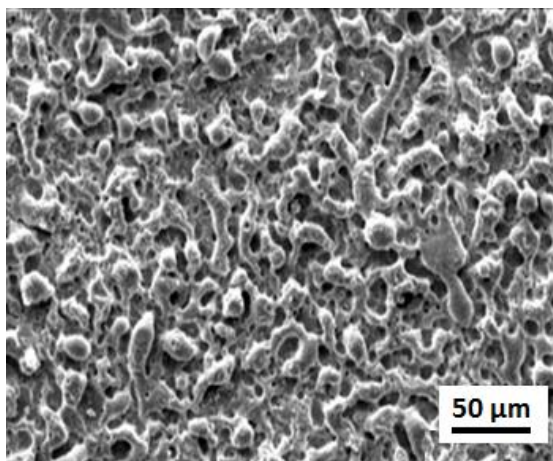
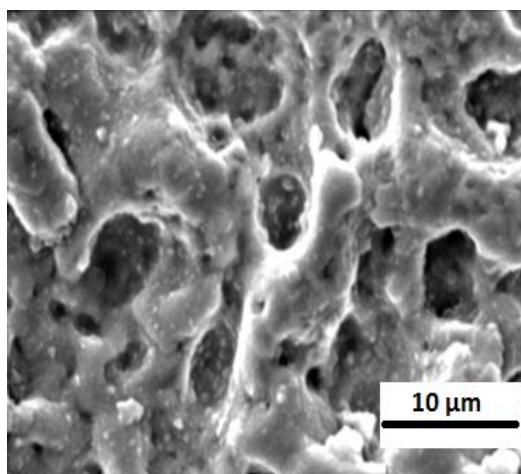
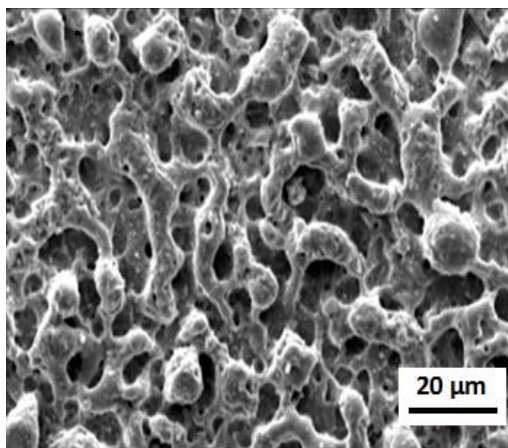
مواد و روش‌ها

زیرلایه‌های مورد استفاده در این پژوهش، فولاد کم کربن (CK1020) بود که ترکیب آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فولاد کم کربن CK1020 (درصد وزنی)

فسفر	گوگرد	کربن	منگنز	آهن
۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲	۰/۴	۹۹/۵

نمونه‌ها در ابعاد ۱۲*۲۰ میلی‌متر تهیه شدند. سطح نمونه‌ها توسط کاغذ سنباده از جنس SiC تا مش ۲۰۰۰ سنباده زده شد و سپس برای رفع ناخالصی‌های سطحی با آب مقطر و الکل شسته و در نهایت خشک شد. از پودر آلایژی Metco 32 c (WC-12%Co) با اندازه ۴۵ میکرومتر به عنوان ماده اولیه پوشش استفاده گردید. یک حمام آبی به



سایش از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Oxford S-360 و آنالیز EDS استفاده گردید. به منظور تعیین ضخامت نمونه‌ها و بررسی آنالیز خطی آن‌ها، نمونه‌ها با کمک مواد مانع سرد، مانع شده و سطح آن‌ها با استفاده از سمباده‌هایی از جنس SiC تا مش ۳۰۰۰ پالیش گردید و سپس توسط محلول اچ مناسب (نایتال) اچ گردید و توسط آب مقطر و الکل تمیز شدند. همچنین به منظور بررسی مقاومت سایشی نمونه‌های پوشش داده شده تست سایشی پین روی دیسک انجام شد. در این تست از بار عمودی ۵ نیوتن و سرعت خطی ۰/۰۴ متر بر ثانیه استفاده گردید و طول مسیر سایش ۲۰۰ متر انتخاب شد. در این آزمون نمودارهای ضریب اصطکاک نمونه‌ها نیز تعیین گردید. همچنین کاهش وزن نمونه‌ها قبل و بعد از انجام تست‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از مقایسه مسیر سایش نمونه‌های بدون پوشش و پوشش داده شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مکانیزم سایشی آن‌ها تعیین گردید.

نتایج و بحث

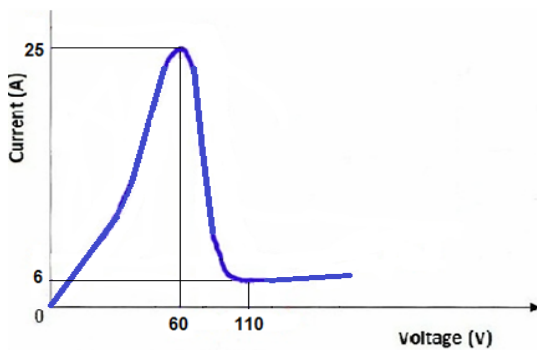
مورفولوژی سطح نمونه‌های پوشش داده شده در شکل یک در بزرگنمایی‌های مختلف نشان داده شده‌اند، مورفولوژی سطح همان‌گونه که دیده می‌شود شامل یک سری برآمدگی‌ها و فرو رفتگی‌هایی است که به دلیل ترکیدن حباب‌های گاز یونیزه شده و در اثر پدیده تخلیه اتفاق می‌افتد. این مناطق مکان‌های مناسبی برای ایجاد قفل‌های مکانیکی می‌باشد [۱۳].

شکل ۱- تصویر SEM از سطح نمونه پوشش داده شده با

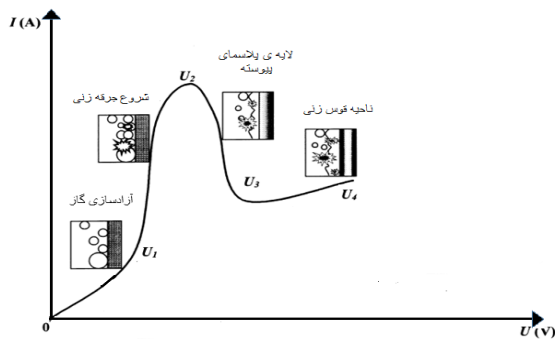
پودر WC-12% Co

شکل ۳، ضخامت ایجاد شده را از دو قسمت مختلف پوشش نشان می‌دهد. این تصاویر از نمونه‌های مانت شده تهیه شده‌اند که از دو منطقه مختلف نمونه گرفته شده است. اندازه این ضخامت حدود ۱۷ میکرومتر می‌باشد. چگونگی ایجاد چنین ضخامتی مانند روش‌های دیگر همچون روش‌های اسپری، پاشش سریع اکسیژنی (HVOF) و دیگر روش‌ها مانند آبرکاری نمی‌باشد که پوشش در اثر انتقال اتم به اتم مواد تشکیل شود؛ بلکه به مقدار پودرهایی بستگی دارد که در زمان تخلیه پلاسمایی در آن مناطق حضور دارند و خود را به سطح فلز می‌رسانند. همچنین، این تصویر نشان دهنده‌ی چسبندگی خوب این پوشش به زیر لایه است که هیچ‌گونه ترک و ناپیوستگی در حفاصل بین پوشش و زیر لایه دیده نمی‌شود.

الف



ب

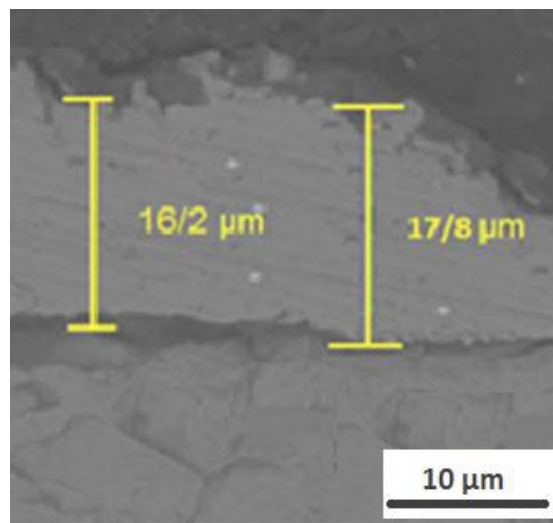
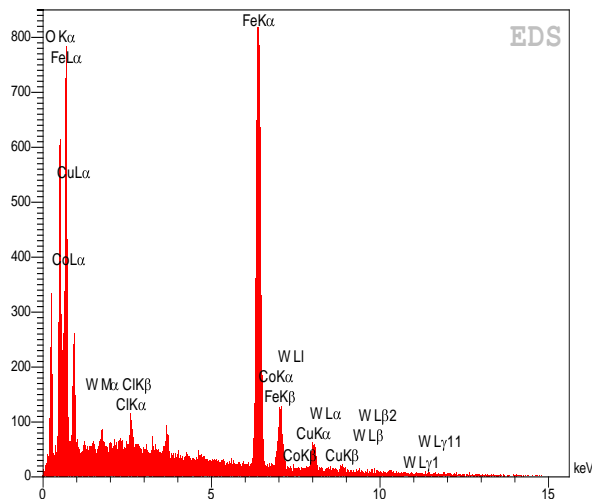


شکل ۲- منحنی ولتاژ-جریان در طول فرآیند الکترولیز پلاسمایی (الف) مقادیر جریان-ولتاژ حاصل از آزمایشات (ب) منحنی شماتیک از مراحل فرآیند پلاسمایی

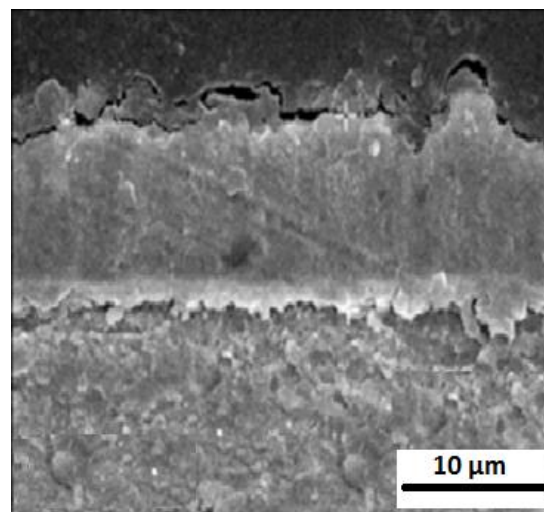
الکترولیتی [۱۳]

شکل ۲، نمودار ولتاژ-جریان را در فرآیند کاتدی الکترولیز پلاسمای نشان می‌دهد. قسمت الف، تغییرات ولتاژ-جریان در فرآیند اتفاق افتاده در این پژوهش می‌باشد و قسمت ب، نمودار کلی تغییرات ولتاژ-جریان در فرآیندهای کاتدی پلاسمای الکترولیتی را نشان می‌دهد. بر طبق شکل ب با افزایش ولتاژ، در ابتدا جریان به صورت خطی بر طبق قانون فارادی افزایش می‌یابد (منطقه U_1-0). در این منطقه امکان تشکیل گازهای یونیزه در اطراف کاتد فراهم می‌شود. تعداد این حباب‌های گازی آنقدر زیاد می‌شود که سطح نمونه را که به عنوان کاتد می‌باشد به طور کامل از محیط الکترولیت جدا می‌کند. با افزایش بیش‌تر ولتاژ تا ۶۰ ولت، پدیده تخلیه الکتریکی اتفاق می‌افتد ($U_1.U_2$) و سپس با افزایش بیش‌تر ولتاژ جریان شروع به کاهش می‌کند و به حدود ۶ آمپر می‌رسد و یک بسته پلاسمای پایدار در اطراف کاتد تشکیل می‌شود ($U_2.U_3$) با افزایش ولتاژ تا ۱۱۰ آمپر پوشش‌هایی حاوی کاربید تنگستن-کبالت در مدت زمان ۱۰ دقیقه بر روی سطح تشکیل می‌شود، با افزایش بیش‌تر ولتاژ تا منطقه (U_4) پدیده قوس زنی اتفاق می‌افتد که در بسیاری از موارد مناسب نمی‌باشد. در نمودار الف بعد از کاهش جریان تا ۵ آمپر ناحیه پلاسمای پایدار تشکیل شده است و حداکثر ولتاژ مورد استفاده ۱۱۰ ولت می‌باشد. ذرات کاربید تنگستن - کبالت در اثر اعمال ولتاژ باردار شده و دارای بار سطحی مثبت می‌شوند و به سمت کاتد جذب می‌شوند. بیش‌تر این ذرات بر روی حباب‌های گازی تشکیل شده بر روی کاتد قرار می‌گیرند و این‌گونه خود را به سطح فلز می‌رسانند، وقتی تخلیه پلاسمایی صورت می‌گیرد به دلیل اینکه دمای پلاسمای بسیار بالا می‌باشد، ذوب موضعی بر روی سطح کاتد صورت می‌گیرد و در اثر تخلیه گازهای یونیزه شده بر روی سطح فرورفتگی‌هایی ایجاد می‌شود که باعث می‌شود ذرات در اثر این برخورد خود را به سطح فلز برسانند و در این فرورفتگی‌ها جای بگیرند، در این لحظه با ترکیدن حباب‌های گازی کاتد در تماس با محیط الکترولیت که در دمای پایین‌تری است، قرار می‌گیرد و سریع سرد می‌شود [۱۳-۵].

الف



ب



شکل ۴- نمودار EDS نقطه‌ای از نمونه‌های پوشش داده شده

جدول ۳- عناصر موجود در آنالیز EDX نمونه‌های پوشش گرفته شده

عناصر موجود	کربن	اکسیژن	آهن	کبالت	تنگستن	مس
درصد وزنی	۲۰/۲۱	۱۵/۸۰	۵۰/۴۶	۳/۱۴	۹/۳۱	۹/۳۱

شکل ۳- تصویر SEM از ضخامت پوشش از دو منطقه مختلف نمونه

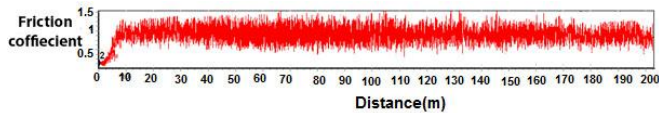
همچنین، آنالیز EDS (آنالیز خطی) از ضخامت نمونه‌ها و از ۲۰ نقطه مختلف به ترتیب از زیرلایه تا سطح نمونه‌ها گرفته شد. نمودار شکل ۵ تغییرات عناصر موجود را بر حسب درصد وزنی بر حسب فاصله از زیر لایه نشان می‌دهد، مقدار آهن با فاصله گرفتن از سطح زیر لایه کاهش می‌یابد. به دلیل این که در نقطه اول بر روی زیرلایه قرار دارد و مقدار آهن زیاد می‌باشد و با فاصله گرفتن و وارد شدن به محدوده پوشش ایجاد شده، از این مقدار کاسته شده و مقدار کبالت

آنالیز EDS (آنالیز نقطه‌ای) این نمونه‌ها در شکل ۴ و درصد عناصر موجود در پوشش در جدول ۳ آمده است، این آنالیز از سطح نمونه‌ها گرفته شده است. این نمودار حاوی پیک‌های مربوط به آهن، تنگستن، کبالت، اکسیژن، کربن می‌باشد که حضور آن‌ها را در پوشش ایجاد شده تایید می‌کند.

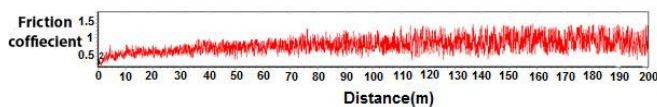
ضریب اصطکاک برای نمونه‌های بدون پوشش حدود ۱/۲ و برای نمونه‌های پوشش داده شده حدود ۰/۷ می‌باشد (شکل ب). کاهش ضریب اصطکاک نشان دهنده مقاومت به سایش بالاتر می‌باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ایجاد پوشش کاربید تنگستن - کبالت، باعث افزایش مقاومت به سایش فولاد کم کربن می‌شود.

کاهش وزن نمونه‌هایی که تحت تست سایش قرار گرفته‌اند در جدول ۴ آمده است. همان‌گونه که از داده‌ها مشخص است کاهش وزن نمونه‌ها، در نمونه‌های پوشش داده شده کم‌تر می‌باشد که با توجه به مقاومت به سایش بالای سرمتهای کاربید تنگستن - کبالت مقدار سایش در نمونه‌های پوشش داده شده و یا مقدار مواد کنده شده از سطح کم‌تر بوده و بنابراین کاهش وزن کم‌تر بوده است.

الف



ب

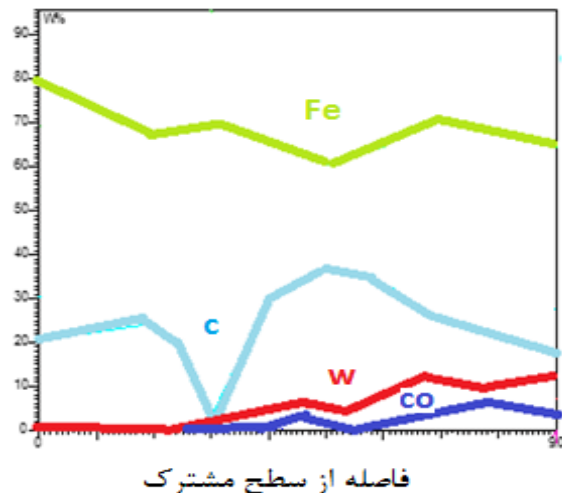
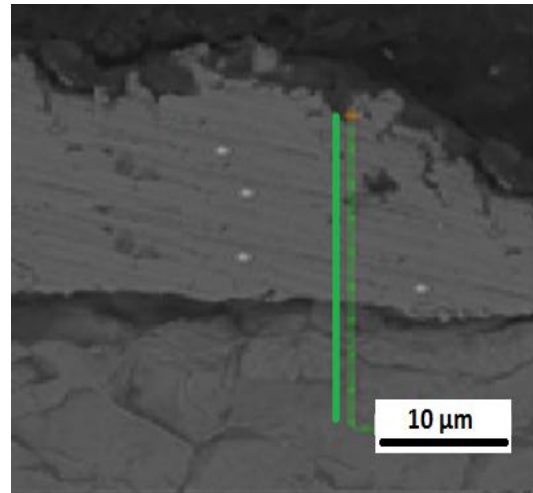


شکل ۶- نمودار ضریب اصطکاک (الف) نمونه‌های بدون پوشش (ب) نمونه‌های پوشش داده شده

جدول ۴- کاهش وزن نمونه‌ها بعد از تست سایش (g)

نمونه	وزن قبل از تست	وزن بعد از تست	مقدار کاهش وزن	درصد کاهش وزن
نمونه بدون پوشش	۲/۹۰۱۷	۲/۸۰۹۲	۰/۰۹۲۵	۳/۱۸۷
نمونه با پوشش	۲/۸۷۰۵	۲/۸۰۶۹	۰/۰۶۳۶	۲/۲۱۵

و تنگستن افزایش یافته است. مقدار کبالت کم‌تر از تنگستن می‌باشد به دلیل این‌که در پودر اولیه مقدار کم‌تری را داشته است و به عنوان بایندر مورد استفاده قرار می‌گیرد.



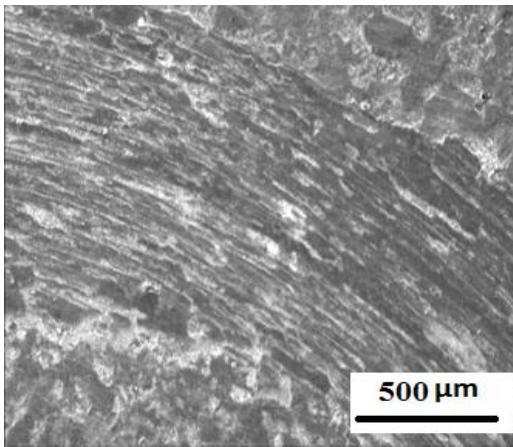
شکل ۵- نمودار آنالیز خطی نمونه‌های پوشش گرفته شده

تست‌های سایش بر روی نمونه‌های پوشش داده شده و بدون پوشش انجام گرفت و با همدیگر مقایسه شدند. نتایج حاصل در شکل ۶ آمده است. در شکل ۶ قسمت الف ضریب اصطکاک را برای نمونه‌های بدون پوشش و قسمت ب ضریب اصطکاک را برای نمونه‌های پوشش داده شده با پودرهای WC-12%Co نشان می‌دهد. با توجه به شکل الف

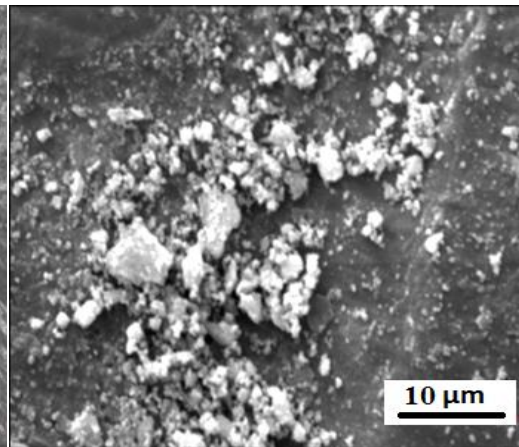
شده مقاومت به سایش بالاتری دارند، در شکل الف مقدار سایش فولادهای بدون پوشش زیاد بوده و اثرات حرکت پین بر روی زیر لایه بسیار زیاد است؛ اما در شکل ج این اثرات کم تر بوده و سطح زیر لایه در اثر پوشش از سایش محافظت شده است.

تصاویر SEM مربوط به مسیر سایش نمونه‌ها در شکل ۷ آمده است. شکل الف و ب مسیر سایش نمونه بدون پوشش را نشان می‌دهند و تصاویر ج و د مسیر سایش نمونه‌های پوشش داده شده را نشان می‌دهند. با مقایسه شکل‌های الف و ج مشاهده می‌شود که سایش در نمونه‌های پوشش داده شده کم تر می‌باشد یا به عبارتی دیگر نمونه‌های پوشش داده

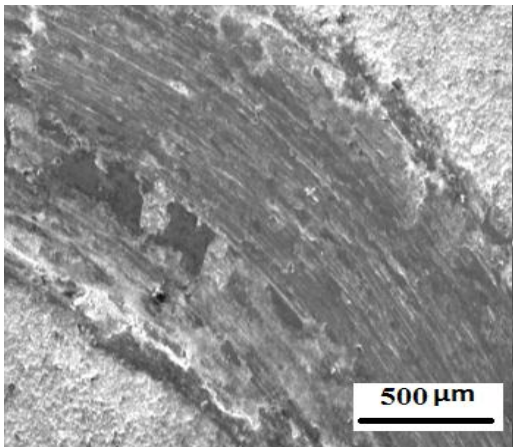
ب



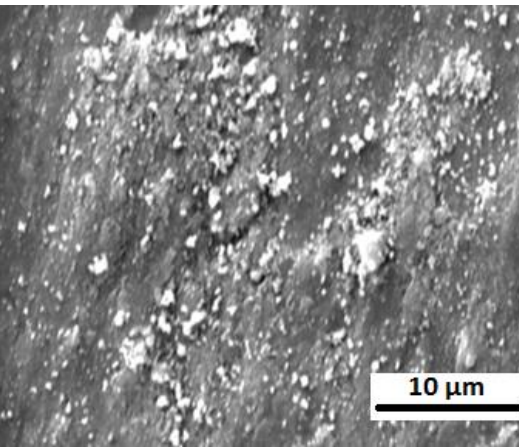
الف



د



ج



شکل ۷- الف) و ب) مسیر سایش نمونه بدون پوشش ج) و د) مسیر سایش نمونه پوشش داده شده

است. بنابراین، می‌توان گفت که مقاومت بالای پوشش‌های تنگستن کاربید-کبالت در طول فرآیند سایش به دلیل بالا بودن استحکام بین پیوندهای ذرات WC و زمینه فلزی Co می‌باشد که مانع از بیرون کشیده شدن ذرات کاربردی و ایجاد ترک می‌شود [۱۲].

نتیجه گیری

ترکیب بهینه حمام برای پوشش دهی زیر لایه فولاد کم کربن (CK1020) با روش الکترولیز پلاسمایی استفاده شده طبق جدول ۲ به دست آمد که ایجاد پلاسمای پایدار برای ایجاد پوشش در ولتاژ ۱۱۰ ولت در مدت زمان ۱۰ دقیقه می‌نماید. تصاویر SEM، نشان دهنده پیوستگی پوشش با سطح زیر لایه می‌باشند و مورفولوژی خاصی در این فرآیند ایجاد گردیده است. حضور ترکیبات تنگستن، کبالت در پوشش‌ها با آنالیز EDS تایید شد. نتایج حاصل از تست سایش نشان می‌دهند که مقاومت به سایش نمونه‌های پوشش داده شده بیش‌تر می‌باشد که با اندازه‌گیری کاهش وزن مشخص می‌شوند. بررسی SEM مسیر سایش حاکی از این است که مکانیزم غالب سایش خراشان می‌باشد.

References:

- 1- D. M. Nuruzzaman, "Characteristics of Thermally Sprayed WC Cermet Coating Under Lubricated Rolling with Sliding Contact", Journal of Mechanical Engineering, Vol ME37, 2007.
- 2- S. Al-Mutairi, M.S.J. Hashmi, B.S. Yilbas, J. Stokes, "Microstructural Characterization of HVOF/Plasma Thermal Spray of Micro/Nano WC-12%Co Powders" Surface & Coatings Technology, Vol 264, pp 175-186, 2015.
- 3- E.I. Meletis, X. Nie, F.L. Wang, J.C. Jiang, "Electrolytic Plasma Processing for Cleaning and Metal-Coating of Steel

شکل ب و د مسیر سایش نمونه‌ها را در بزرگنمایی بالاتر نشان می‌دهد که مشخص می‌شود در اثر سایش مواد بسیاری از سطح نمونه بدون پوشش جدا شده است و تصویر د نمونه پوشش داده شده را نشان می‌دهد که از مواد کنده شده سطح کاسته شده است. همان‌گونه که از تصاویر مشخص است، مکانیزم سایش در نمونه‌های فولاد بدون پوشش، سایش خراشان و چسبنده می‌باشد (شکل‌های الف و ب) و در مقایسه با مسیر سایش نمونه پوشش داده شده (شکل‌های ج و د) مشخص می‌شود که مکانیزم سایش برای نمونه‌های پوشش داده شده خراشان می‌باشد.

در فرآیند سایش پوشش‌های سرمتی در اثر اعمال نیرو، استحکام بین پیوندهای کاربیدها و زمینه فلزی کاهش می‌یابد و بایندها از بین رفته و ذرات کاربید بیرون کشیده می‌شوند. مقاومت به سایش بالای سرمت تنگستن کاربید کبالت به عنوان پوشش به دلیل این است که زمینه کبالت خواص چسبندگی بالا، سختی بالا و خاصیت ترشوندگی خیلی خوبی دارد و همچنین، خاصیت ترشوندگی فاز سخت WC از تمام کاربیدهای دیگر بیش‌تر می‌باشد. مهم‌ترین فاکتور در افزایش مقاومت به سایش سرمتها مقدار استحکام پیوندهای موجود بین ذرات کاربردی و زمینه فلزی

Surfaces", Surface and Coatings Technology, V 150, PP 246-256, 2002.

- 4- Z.Yao, Y.Jiang, Z. Jiang, F. Wang, Z.Wu, "Preparation and Structure of Ceramic Coatings Containing Zirconium Oxide on Ti Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation", Journal of Materials Processing Technology, V 205, pp. 303-307, 2008.

- 5-T.Paulmier, J.M.Bell, M.Fredericks, "Development of a Novel Cathodic Plasma/Electrolytic Deposition Technique Part 1: Production of Titanium Dioxide Coatings", Surface and Coatings Technology, Vol 201, pp.8761-8770, 2007.

6- W.C.Gu, G.H.Lv, H.Chen, G.L.Chen, W.R. Feng, G.L. Zhang, S.Z Yang, Preparation of Ceramic Coatings on Inner Surface of Steel Tubes Using a Combined Technique of Hot-Dipping and Plasma Electrolytic Oxidation, Journal of Alloys and Compounds, V 430, PP 308-312, 2007.

7- S. Kamnis, S. Gua, T.J. Lu, C. Chen, Computational Simulation of Thermally Sprayed WC-Co Powder, Computational Materials Science, 43, 1172-1182, 2008.

8- M. Jalali Azizpour, H. Mohammadi Majd, Residual Stress in Ground WC-Co Coatings, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, V 8, NO 3, 2014.

9- M.W. RichertI, A. Mazurkiewicz, J.A. Smolik, the Deposition of WC-Co Coatings by EBPVD Technique", Archives of Metallurgy and Materials, 5, Issue 2.

۱۰- ز. گلستان، م. جاویدی، م. ح. شریعت، ر. بازرگان لاری، پوشش دهی کامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت - تیتانیا

همزمان با نیتروکربوره کردن الکترولیتی پلاسمایی روی سطح فولاد ضد زنگ و بررسی خواص خوردگی آن، مجله مواد نوین / جلد ۳ / شماره ۴ / صفحات ۶۵-۷۴ / تابستان ۱۳۹۲.

۱۱- ن. افسر کازرونی، م. ح. شریعت، م. بحرالعلوم، س. دهقانی، ف. محزون، ت. جوزقی، بهینه سازی حمام به منظور کاهش ولتاژ در روش نیتروکربوره کردن الکترولیتی پلاسمایی فولاد ضد زنگ آستنیتی و بررسی زیست سازگاری در بدن خرگوش، مجله مواد نوین / جلد ۱ / شماره ۳ / صفحات ۴۵-۵۴ / بهار ۱۳۹۰.

12- D. Kekes, P. Syllabi, M. Vardavoulias, "Wear Micro-Mechanism of Composite WC-Co/Cr-NiCrFeBSiC Coatings. Part I: Dry Sliding", Tribology in Industry, Vol 36, No 4, pp 361-374, 2014.

13- P.Gupta, G.Tenhundfeld, E.O.Daigle, D. Ryabkov, "Electrolytic Plasma Technology: Science and Engineering-An overview", Surface and Coatings Technology, Vol 201, pp 8746-8760, 2007.