



انجمن مهندسين متالورژي ايران



انجمن علمي ريفش گري ايران

International Conference on Materials Engineering & Metallurgy
8 & 9 Nov. 2016 - Shiraz University

iMAT

Conference 2016

پنجمين کنفرانس
بين المللي

مهندسي مواد و متالورژي

و دهمين کنفرانس مشترک انجمن مهندسين متالورژي و انجمن علمي ريفش گري ايران

۱۸ و ۱۹ آبان ماه ۱۳۹۵

دانشگاه شيراز

کوهي ارائه مقاله

ضمن تشکر و قدرداني از ارائه مقاله با عنوان

بررسي خواص پوشش کامپوزيتي ايجاد شده بر صورت درجا برروي سطح فولاد ابراز کم آلياژ W500

در پنجمين کنفرانس بين المللي مهندسي مواد و متالورژي و دهمين کنفرانس مشترک انجمن مهندسين متالورژي و انجمن علمي ريفش گري ايران اين کوهي به

سيد علي سيد محمدی، بهر روز سيد ختي، جليل و صديقي حاکي

اعطای کردود. موفقت روز افزون شمار اديبه ميرفت علم و فناوري از خداوند متعال خواستاريم.

دکتر سيد محمد تقی صابحي
دبير علمي کنفرانس

دکتر سيد محمد تقی صابحي
رئيس کميته بايش مشترک انجمن با

دکتر سيد محمد تقی زربعد
مدير کنفرانس

مقاوم به سایش با ترکیب پایه‌ای Fe-Cr-C، از طریق ایجاد شبکه‌های کاربید کروم در برابر سایش مواد معدنی مقاومت می‌کنند. در این راستا هدف از این مطالعه ایجاد درک مناسب از ارتباط خواص مکانیکی و ریزساختار لایه مقاوم به سایش (فلز جوش) قبل و بعد از سایش در این آلیاژ می‌باشد. لذا برای مطالعات ریزساختاری از روش‌های متالوگرافی، میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ نوری روبشی، و نیز برای مطالعات خواص مکانیکی از سختی سنجی و آزمون سایش خراشی با ماده معدنی خشک SiO_2 مطابق استاندارد ASTM-G65 استفاده گردیده است.

واژه‌های کلیدی: چدن مقاوم به سایش، سخت پوشی، ریزساختار، سایش خراشان، استاندارد ASTM-G65

بررسی خواص پوشش کامپوزیتی ایجادشده به صورت درجا بر روی سطح فولاد ابزار کم آلیاژ W500

سید علی سید محمدی، بهروز بیدختی،
جلیل وحدتی خاکی
گروه مواد و متالورژی، دانشگاه فردوسی مشهد

هدف از این پژوهش، بهبود عملکرد فولادهای قالب گرم کار از طریق اعمال پوشش مقاوم به سایش می‌باشد. بدین منظور، با استفاده از تلفیق جوشکاری و سنتز احتراقی خود پیش‌رونده، پوشش کامپوزیتی $\text{Fe-TiC-Al}_2\text{O}_3$ بر روی سطح فولاد ابزار کم آلیاژ W500 ایجاد شد. مخلوط پودری واکنش‌گر شامل TiO_2 ، Al ، C و Fe با ترکیب اسب $3\text{TiO}_2-4\text{Al}-(3+x)\text{C}-y\text{Fe}$ درون الکتروود فولادی قرار گرفت و پوشش‌دهی به روش جوشکاری زیرپودری انجام شد. جهت

استفاده از مخلوط پودر حاوی ۲ درصد وزنی اکسید زیرکونیوم در مخلوط پودر و پوشش آلومیناید ساده بدون اکسید زیرکونیوم تهیه شد. پوشش آلومیناید ساده و اصلاح‌شده تحت آزمون اکسیداسیون چرخه‌ای یک‌ساعته و ده‌ساعته در مجموع به مدت ۲۰۲ ساعت در دمای 1100°C قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها با استفاده از پراش پرتو ایکس مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد در پایان آزمون اکسیداسیون چرخه‌ای پوشش آلومیناید اصلاح‌شده نسبت به پوشش آلومیناید ساده، دارای NiAl باقی‌مانده بیشتری بود و در نتیجه عملکرد بهتری داشت. اکسیدهای تشکیل‌شده روی سطح نمونه‌ها عمدتاً Al_2O_3 و اندکی TiO_2 بود و درصد ناچیزی NiAl_2O_4 نیز در نمونه‌ها یافت شد.

واژه‌های کلیدی: پوشش آلومیناید اصلاح‌شده با زیرکونیوم، اثر عناصر اکسیژن‌دوست، روش مخلوط پودری، اکسیداسیون چرخه‌ای

مطالعه ریزساختار و رفتار سایش خراشان مواد معدنی خشک در لایه سخت پوشی شده چدنی (FeCrC) اعمال‌شده به روش SMAW

امیررضا فرنیاء، نیلوفر صابر، سحر ترابی
دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد
علوم و تحقیقات، تهران

در این تحقیق به منظور آشنایی با رفتار سایشی پرکاربردترین گروه آلیاژهای مقاوم به سایش و همچنین مطالعه ریزساختار این آلیاژ از سخت پوشی (hardfacing) به روش جوشکاری با الکتروود پوشش‌دار (SMAW) به منظور ایجاد پوشش بر روی فولاد کربنی ساده استفاده شد. این گروه از آلیاژهای

روش پیرولیز پاششی لایه نشانی شد. لایه نشانی در دمای ۵۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد صورت گرفت. در مرحله بعد از دو نوع گاز حامل نیتروژن و هوا جهت لایه نشانی استفاده شد. سپس مقاومت الکتریکی سطحی، شفافیت نوری، مورفولوژی و ضخامت پوشش‌های ایجادشده با دو نوع گاز حامل نیتروژن و هوا در شرایط یکسان پاشش مورد مطالعه قرار گرفت. پوشش‌های FTO تهیه شده با میزان یکسان پاشش با گازهای نیتروژن و هوا به ترتیب دارای محدوده مقاومت الکتریکی $12-8 \Omega/\text{sq}$ و $10-6 \Omega/\text{sq}$ می‌باشند. برای اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌های FTO ابتدا یک پله در پوشش با اچ کردن آن ایجاد کرده و سپس با میکروسکوپ نیروی اتمی ضخامت پوشش اندازه‌گیری شد. که برای گازهای حامل نیتروژن و هوا در میزان یکسان پاشش به ترتیب ضخامت پوشش ۵۴۰ و ۷۸۰ نانومتر بدست آمد. باید به این نکته اشاره شود که شیشه FTO تولیدی با این روش به دلیل هدایت الکتریکی و شفافیت نوری مناسب با هر دو نوع گاز حامل قابلیت استفاده در سلول‌های خورشیدی را دارا می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پیرولیز پاششی، اکسید قلع آلاینده فلئور، مقاومت الکتریکی

بررسی تأثیر نوع جریان در رسوبدهی الکتریکی بر ریزساختار و رفتار خوردگی پوشش کامپوزیتی $\text{Ni-B}_4\text{C}$

سید احسان خادم‌پیر، بهنام لطفی، زهره صادقیان
گروه مواد، دانشگاه شهید چمران، اهواز

شناسایی و بررسی خواص پوشش ایجادشده، روش‌های پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه آنالیز تفکیک انرژی، سختی سنجی و آزمون سایش به کار گرفته شد. نتایج حاصل از این مطالعات، نشان‌دهنده تشکیل درجای ذرات TiC و Al_2O_3 در زمینه‌ی مارتنزیتی پوشش است. ذرات TiC به صورت یکنواخت و با دو نوع مورفولوژی مکعبی درشت و میله‌ای نازک در زمینه توزیع شده‌اند. ذرات Al_2O_3 به صورت نقاط ریز تیره‌رنگ در مرکز ذرات TiC مکعبی شکل قرار گرفته‌اند. حداکثر درصد حجمی ذرات تقویت‌کننده (۶ درصد) در پوشش ایجادشده توسط الکتروود حاوی مخلوط پودری $3\text{TiO}_2-4\text{Al}-6\text{C}$ بدست آمد. سختی سطح این پوشش تا ۶۹۰ ویکرز افزایش یافت که نسبت به سختی ۴۲۰ ویکرز در زیرلایه بیشتر بوده و باعث بهبود مقاومت به سایش آن تا ۳ برابر شد. واژه‌های کلیدی: پوشش کامپوزیتی، جوشکاری، سنتز احتراقی خود پیش‌رونده، مقاومت به سایش

اعمال لایه نازک شفاف اکسید قلع آلاینده به فلئور در ابعاد بزرگ به روش پیرولیز پاششی و بررسی اثر نوع گاز حامل بر خواص آن

علیرضا قهرمانی، علی مشرفی
دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی شیراز

اکسیدهای شفاف رسانا به دلیل هدایت الکتریکی و شفافیت نوری بالا امروزه در بسیاری از کاربردهای اپتوالکترونیکی مورد استفاده واقع می‌شوند. در این مطالعه اکسید قلع آلاینده به فلئور بر روی زیر لایه شیشه‌ای سودالیم در ابعاد بزرگ با



بررسی خواص پوشش کامپوزیتی ایجاد شده به صورت درجا بر روی سطح فولاد ابزار کم آلیاژ W500

سید علی سید محمدی^۱، بهروز بیدختی^۲، جلیل وحدتی خاکی^۳

چکیده

هدف از این پژوهش، بهبود عملکرد فولادهای قالب گرم کار از طریق اعمال پوشش مقاوم به سایش می‌باشد. بدین منظور، با استفاده از تلفیق جوشکاری و سنتز احتراقی خود پیش‌رونده، پوشش کامپوزیتی $Fe-TiC-Al_2O_3$ بر روی سطح فولاد ابزار کم آلیاژ W500 ایجاد شد. مخلوط پودری واکنش‌گر شامل Al, TiO_2, C و Fe با ترکیب استوکیومتری $3TiO_2-4Al-(3+x)C-yFe$ درون الکتروود فولادی قرار گرفت و پوشش‌دهی به روش جوشکاری زیرپودری انجام شد. جهت شناسایی و بررسی خواص پوشش ایجاد شده، روش‌های پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه آنالیز تفکیک انرژی، سختی سنجی و آزمون سایش به کار گرفته شد. نتایج حاصل از این مطالعات، نشان‌دهنده تشکیل درجای ذرات TiC و Al_2O_3 در زمینه‌ی مارتنزیتی پوشش است. ذرات TiC به صورت یکنواخت و با دو نوع مورفولوژی مکعبی درشت و میله‌ای نازک در زمینه توزیع شده‌اند. ذرات Al_2O_3 به صورت نقاط ریز تیره رنگ در مرکز ذرات TiC مکعبی شکل قرار گرفته‌اند. حداکثر درصد حجمی ذرات تقویت‌کننده (۶ درصد) در پوشش ایجاد شده توسط الکتروود حاوی مخلوط پودری $3TiO_2-4Al-6C$ بدست آمد. سختی سطح این پوشش تا ۶۹۰ ویکرز افزایش یافت که نسبت به سختی ۴۲۰ ویکرز در زیرلایه بیشتر بوده و باعث بهبود مقاومت به سایش آن تا ۳ برابر شد.

کلمات کلیدی: پوشش کامپوزیتی، جوشکاری، سنتز احتراقی خود پیش‌رونده، مقاومت به سایش

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش استخراج فلزات، دانشگاه فردوسی مشهد

۲ - استادیار گروه مواد و متالورژی، دانشگاه فردوسی مشهد، beidokhti@um.ac.ir

۳ - استاد گروه مواد و متالورژی، دانشگاه فردوسی مشهد



مقدمه

در سال‌های اخیر، پوشش‌های کامپوزیتی زمینه فلزی (MMCs) به دلیل ترکیب عالی از زمینه فلزی نرم و چقرمه و تقویت‌کننده‌های سرامیکی سخت و مستحکم، کاربرد بسیاری پیدا کرده‌اند. در بین تمامی ذرات تقویت‌کننده سرامیکی، کاربید تیتانیوم (TiC) و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) به علت مشخصات برجسته خود همچون سختی زیاد، نقطه ذوب بالا، دانسیته پایین، مقاومت به خوردگی عالی و پایداری حرارتی خوب یک کاندید مناسب جهت ایجاد کامپوزیت‌های پایه آهنی می‌باشند [۲،۱]. در طول چند دهه گذشته، سنتز دما بالای خودپیش‌رونده (SHS) به علت مصرف کم انرژی و خلوص بالای محصولات، به عنوان یکی از تکنیک‌های سنتز در جای ذرات سرامیکی تقویت‌کننده، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۳].

محققان قبلی با استفاده از سیستم‌های واکنشی SHS مختلف و فرایندهای روکش‌دهی متفاوت، پوشش‌های MMC را بر روی سطح فولاد ایجاد کرده‌اند. چاترجی و همکاران [۴] با تلفیق فرایندهای SHS و جوشکاری لیزر، کامپوزیت $Al_2O_3-TiB_2-TiN$ را بر روی سطح فولاد نرم پوشش داده‌اند. ماسانتا و همکاران [۵،۶] با استفاده از سیستم واکنشی $4Al+3TiO_2+B_4C=2Al_2O_3+2TiB_2+TiC$ و فرایند روکش‌دهی لیزر، پوشش کامپوزیتی $TiB_2-TiC-Al_2O_3$ را بر روی سطح فولادهای AISI1020 و AISI304 ایجاد کرده‌اند. وانگ و همکاران [۷] نیز با استفاده از مخلوط واکنش گر $Al-TiO_2-B_4C$ و فرایند روکش‌دهی لیزر، پوشش کامپوزیتی TiB_2-TiC را بر روی سطح فولاد AISI 1045 تشکیل داده‌اند. وانگ و همکاران [۸] در پژوهشی دیگر، با استفاده از سیستم واکنشی $Al-TiO_2-B_4C$ در حین فرایند GTAW، کامپوزیت $TiB_2-TiC-Al_2O_3$ را بر روی سطح فولاد AISI1020 پوشش داده‌اند. هو [۳] با استفاده از سیستم واکنشی $Al-TiO_2-B_2O_3$ و جوشکاری پوششی پلاسما (PTA)، پوششی کامپوزیتی را بر روی سطح فولاد Q235A ایجاد کرده است. شریفی تبار و همکاران [۹،۲] با استفاده از سیستم واکنشی $Al-TiO_2-C$ و فرایند GTAW، پوشش کامپوزیتی $TiC-Al_2O_3-Fe$ را بر روی سطح فولاد AISI1045 توسعه داده‌اند. در تمامی این مطالعات، مخلوط واکنش گر قبل از روکش‌دهی بر روی سطح زیرلایه اعمال و پوشش‌دهی به روش لیزر یا GTAW انجام شده است.

تاکنون، پژوهشی در زمینه ایجاد پوشش کامپوزیتی مقاوم به سایش از طریق تلفیق فرایندهای سنتز احتراقی خود پیش‌رونده و جوشکاری زیرپودری با استفاده از طراحی الکتروود واکنش گر گزارش نشده است؛ بنابراین، هدف از پژوهش حاضر افزایش مقاومت به سایش فولاد ابزار گرم کار W500 با استفاده از تلفیق فرایندهای SHS و SAW می‌باشد. بدین منظور، الکترودهایی طراحی شد که در حین فرایند روکش‌دهی، باعث انجام واکنش $3TiO_2+4Al+(3+x)C+yFe \rightarrow 3TiC+2Al_2O_3+xC+yFe$ در زیر قوس شده و در نتیجه، پوشش کامپوزیتی $Fe-TiC-Al_2O_3$ به صورت درجا بر روی سطح فولاد W500 ایجاد شود.

مواد و روش تحقیق

جهت ساخت الکتروود، مخلوطی از پودرهای آلومینیوم (خلوص $99/5\%$ ، اندازه $45\mu m <$)، گرافیت (خلوص $99/9\%$ ، اندازه $100\mu m <$)، دی‌اکسید تیتانیوم-آناناس (خلوص $98/8\%$ ، اندازه $100\mu m <$) و آهن (خلوص

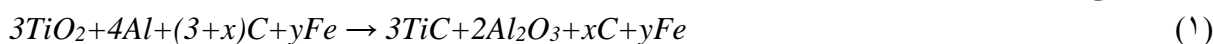


۹۹٪ (> اندازه $300\ \mu\text{m}$) درون تسمه‌هایی از جنس فولاد St37 به ابعاد سطح مقطع $15 \times 1\ \text{mm}$ قرار گرفت و پوشش‌دهی با استفاده از دستگاه جوشکاری زیرپودری اتوماتیک بر روی ورق‌هایی از جنس فولاد W500 به ابعاد $20 \times 110 \times 20\ \text{mm}$ انجام شد. ترکیب شیمیایی فولاد W500 و St37 در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی فولاد W500 و St37 بر حسب درصد وزنی

جنس فولاد	V	Mo	Cr	Ni	Mn	Si	C	Fe
W500	۱/۰	۰/۵	۱/۰	۱/۷	۰/۷	۰/۲	۰/۵۶	مابقی
St37	-	-	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۵	۰/۰۳	۰/۱۱	مابقی

برای ساخت الکتروود از دستگاه کشش سیم استفاده شد. بدین صورت که تسمه‌های فولادی در سه مرحله به ترتیب از قالب‌هایی با قطر خروجی $6/5$ ، 5 و $4/4$ میلی‌متر گذرانده شد. در اولین مرحله کشش، از قالب با قطر خروجی $6/5\ \text{mm}$ استفاده شد که تسمه با عبور از آن به شکل U گردید. در مرحله دوم گذراندن تسمه فولادی از قالب، به عبارت دیگر وقتی که سطح مقطع تسمه از حالت U به O درمی‌آید، مخلوط پودری از پیش آماده شده داخل تسمه ریخته شد. در مرحله آخر کشش، جهت کاهش قطر الکتروود و نیز افزایش فشردگی پودر داخل آن از قالب با قطر خروجی $4/4\ \text{mm}$ استفاده شد. در این پژوهش ۴ نوع الکتروود واکنش‌گر بر اساس واکنش ۱ با کدهای RE (دارای پودر واکنش‌گر، $3\text{TiO}_2-4\text{Al}-3\text{C}$)، RE-20Fe (دارای پودر واکنش‌گر به همراه ۲۰ درصد وزنی رقیق‌کننده آهن، $3\text{TiO}_2-4\text{Al}-3\text{C}-1.72\text{Fe}$)، RE-50C (دارای پودر واکنش‌گر به همراه ۵۰ درصد وزنی کربن اضافی، $3\text{TiO}_2-4\text{Al}-4.5\text{C}$) و RE-100C (دارای پودر واکنش‌گر به همراه ۱۰۰ درصد وزنی کربن اضافی، $3\text{TiO}_2-4\text{Al}-6\text{C}$) ساخته شد.



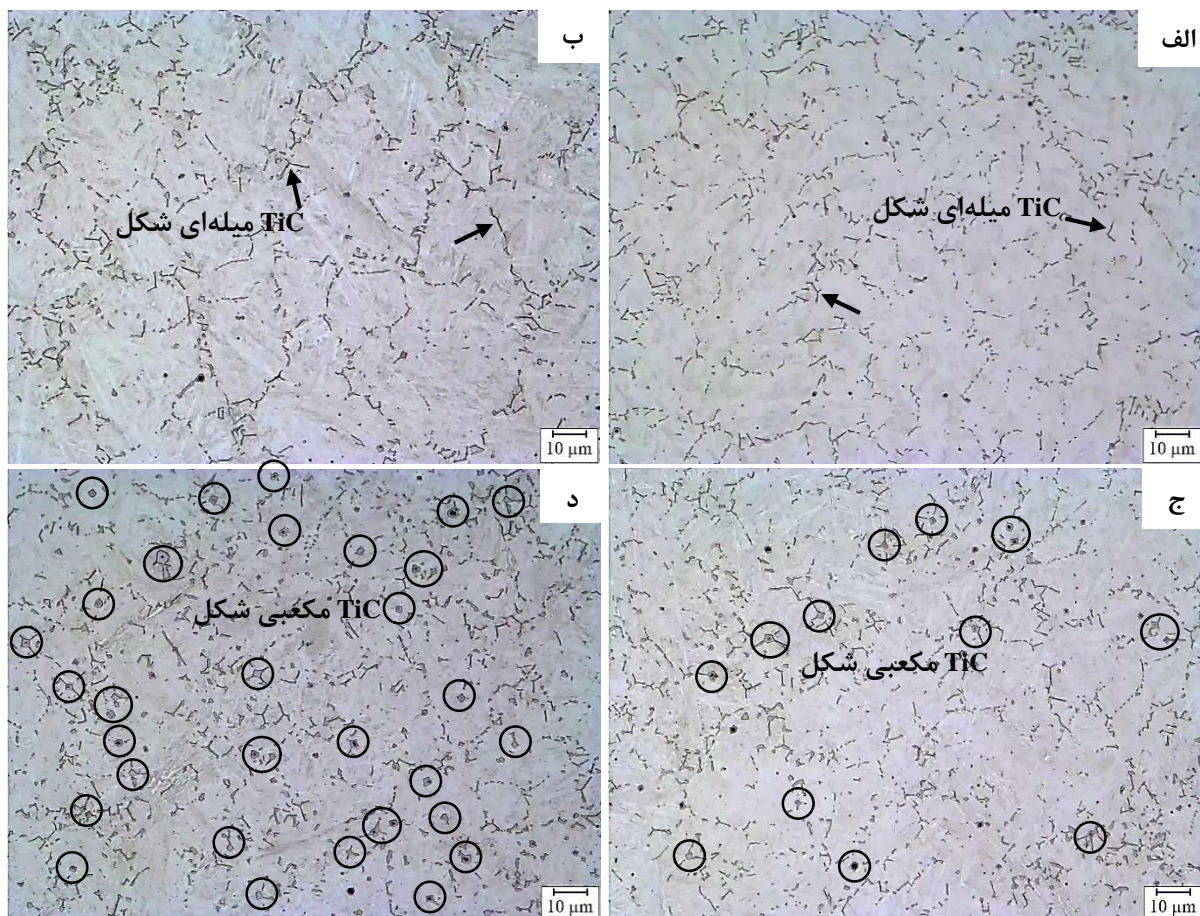
پس از سنباده‌زنی و پولیش سطح مقطع نمونه‌های پوشش داده شده، این نمونه‌ها ابتدا با استفاده از پیکرال ۴ درصد به مدت ۴ ثانیه و سپس در نایتال ۳ درصد به مدت ۴ ثانیه حکاکی شدند. ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری (OM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به آنالیز تفکیک انرژی (EDS)، نرم افزار پردازش تصاویر متالوگرافی (MIP) و آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفت. برای اطلاع از نحوه توزیع سختی، آزمون سختی سنجی ویکرز تحت نیروی $500\ \text{gf}$ به مدت $10\ \text{s}$ انجام شد. جهت بررسی رفتار سایشی پوشش‌ها، آزمون سایش پین روی دیسک با نیروی اعمالی $10\ \text{N}$ ، سرعت چرخش $60\ \text{rpm}$ و مسافت سایشی $600\ \text{m}$ به کار گرفته شد. در این آزمون دیسک سنباده با مش 120 در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

در شکل ۱ ریزساختار پوشش‌های ایجاد شده توسط الکتروودهای واکنش‌گر نشان داده شده است. در پوشش‌های RE و RE-20Fe (تصاویر الف و ب) ذرات کاربید تیتانیوم عمدتاً با مورفولوژی میله‌ای (سوزنی)



شکل تشکیل می‌شود. این ذرات بر روی تصاویر با علامت پیکان مشخص شده‌اند. مشاهده می‌شود که با افزایش رقیق‌کننده آهن، تغییر چندانی در ریزساختار پوشش نسبت به الکتروود RE ایجاد نمی‌شود. در پژوهش صورت گرفته توسط شریفی تبار [۲]، با افزایش رقیق‌کننده آهن تا ۲۰ درصد وزنی در لایه روکش، کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده افزایش یافته است؛ اما افزودن رقیق‌کننده آهن بیش از ۲۰ درصد وزنی باعث کاهش کسر حجمی ذرات شده است. با توجه به اینکه در الکتروودهای ساخته شده در این پژوهش درصد بالایی آهن در بدنه الکتروود فولادی وجود دارد، می‌توان نتیجه گرفت که علت عدم تغییر در ساختار پوشش با افزودن رقیق‌کننده آهن در ترکیب پودر واکنش‌گر درون الکتروود، افزایش رقیق‌کننده آهن به بیش از ۲۰ درصد وزنی می‌باشد. مطابق شکل، علاوه بر ذرات نازک کاربید تیتانیوم میله‌ای شکل، کاربید تیتانیوم درشت با مورفولوژی مکعبی نیز در ریزساختار پوشش‌های RE-50C و RE-100C (تصاویر ج و د) تشکیل می‌شود. ذرات مکعبی شکل بر روی تصاویر با علامت دایره مشخص شده‌اند. با توجه به مورفولوژی ذرات و پژوهش‌های قبلی [۱۰، ۱۱]، ذرات نازک میله‌ای شکل در اثر یک واکنش یوتکتیک سه‌تایی تشکیل می‌شود، درحالی‌که ذرات درشت مکعبی شکل کاربید تیتانیوم اولیه می‌باشد.



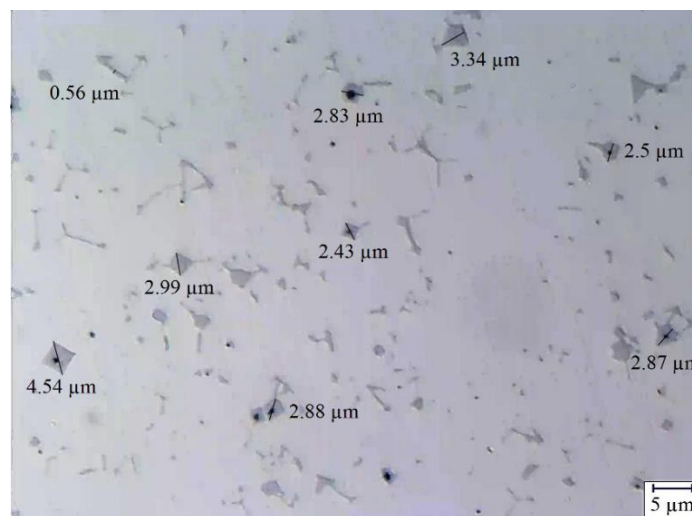
شکل ۱: ریزساختار پوشش‌های ایجاد شده توسط: الف) الکتروود RE، ب) الکتروود RE-20Fe، ج) الکتروود RE-50C، د) الکتروود RE-100C.



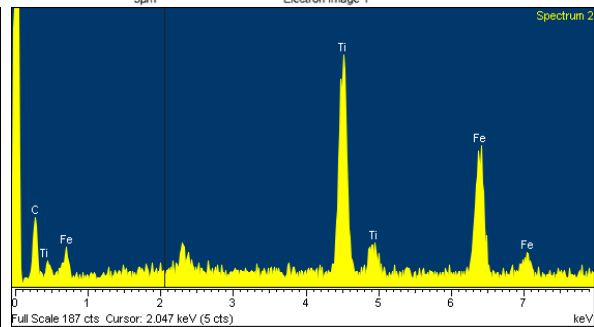
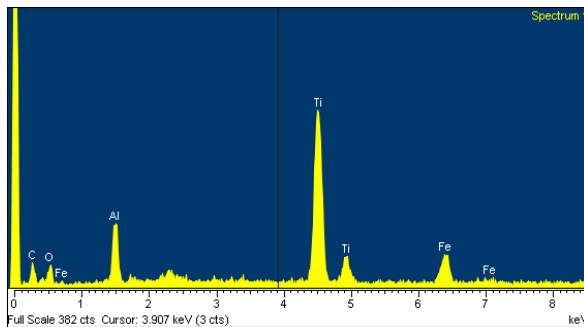
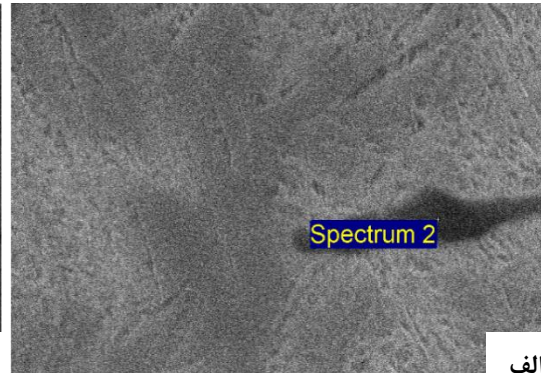
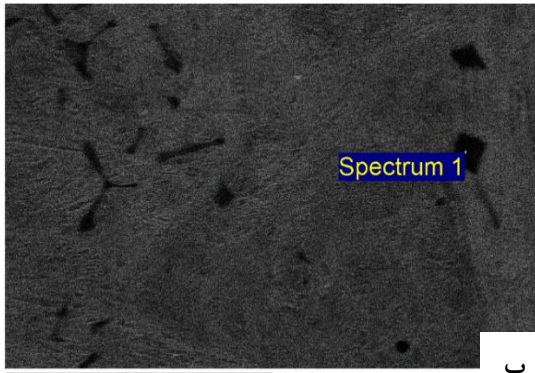
مشهود است که با افزایش کربن اضافی تا ۱۰۰ درصد وزنی در ترکیب پودر واکنش‌گر درون الکتروود، تعداد ذرات مکعبی شکل در زمینه پوشش افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش کربن اضافی، کمبود کربنی که در زمینه حل و باعث تشکیل مارتنزیت شده، جبران می‌شود و در نتیجه واکنش بین کربن و تیتانیوم افزایش می‌یابد. میانگین درصد حجمی کاربید تیتانیوم در پوشش‌های RE، RE-20Fe، RE-50C و RE-100C به ترتیب برابر با ۲/۹۰، ۳/۱۷، ۴/۳۵ و ۵/۹۸ درصد می‌باشد. در واقع، افزودن رقیق‌کننده آهن تأثیر چندانی بر درصد ذرات TiC ندارد، اما افزودن کربن اضافی باعث افزایش درصد ذرات TiC به ویژه ذرات مکعبی شکل می‌شود. شکل ۲ اندازه ذرات کاربید تیتانیوم در پوشش RE-100C را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، حداکثر سایز ذرات مکعبی شکل $4/5 \mu\text{m}$ و حداکثر سایز ذرات میله‌ای شکل $0/55 \mu\text{m}$ می‌باشد.

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که در مرکز برخی از ذرات کاربید تیتانیوم اولیه نقاط تیره رنگی وجود دارد. در واقع، برخی از ذرات کاربید تیتانیوم اولیه به صورت غیرهمگن بر روی ذرات Al_2O_3 جوانه‌زنی و رشد می‌کنند. با توجه به اینکه انرژی آزاد تشکیل Al_2O_3 کمتر از TiC در دمای یکسان است، ذرات ریز Al_2O_3 در مراحل اولیه جوانه‌زنی تشکیل شده و در مذاب معلق می‌مانند. هنگامی که به اندازه کافی عناصر تشکیل دهنده کاربید تیتانیوم در مذاب وجود داشته باشد، ذرات معلق اکسید آلومینیوم می‌توانند به عنوان مکان‌های مرجح جوانه‌زنی غیرهمگن کاربید تیتانیوم اولیه عمل کنند [۸، ۱۲، ۱۳].

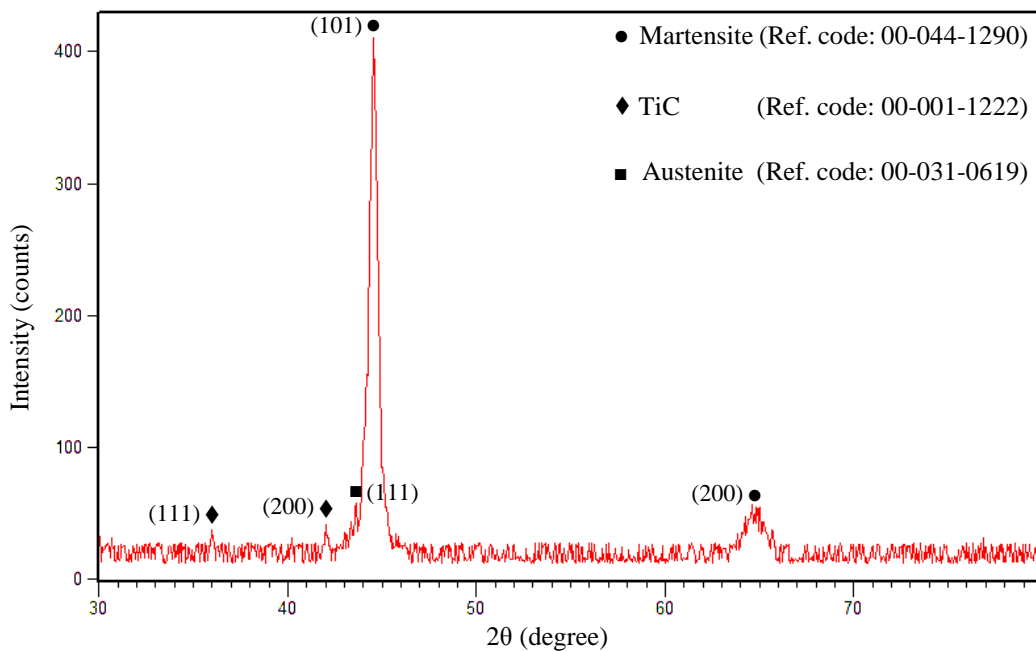
در شکل ۳ تصویر SEM از دو ذره میله‌ای و مکعبی شکل به همراه آنالیز EDS آن‌ها آورده شده است. در آنالیز EDS هر دو ذره، پیک تیتانیوم و کربن وجود دارد. با توجه به اینکه ذرات غنی از تیتانیوم هستند، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب آن‌ها کاربید تیتانیوم می‌باشد. به علت اینکه ذرات میله‌ای شکل بسیار نازک‌اند، در آنالیز EDS ذره میله‌ای شکل، پیک آهن مربوط به زمینه پوشش با شدت بیشتری ظاهر می‌شود. علاوه بر حضور پیک‌های تیتانیوم، کربن و آهن، مرکز ذره مکعبی شکل شامل عناصر آلومینیوم و اکسیژن است که نشان‌دهنده حضور Al_2O_3 در مرکز TiC (جوانه‌زنی غیر همگن TiC بر روی Al_2O_3) می‌باشد.



شکل ۲: اندازه ذرات کاربید تیتانیوم در پوشش RE-100C



شکل ۳: تصویر SEM به همراه آنالیز EDS از: الف) ذره میله‌ای شکل، ب) ذره مکعبی شکل.



شکل ۵: الگوی XRD از نمونه‌های پوشش داده شده با الکتروود RE-100C.

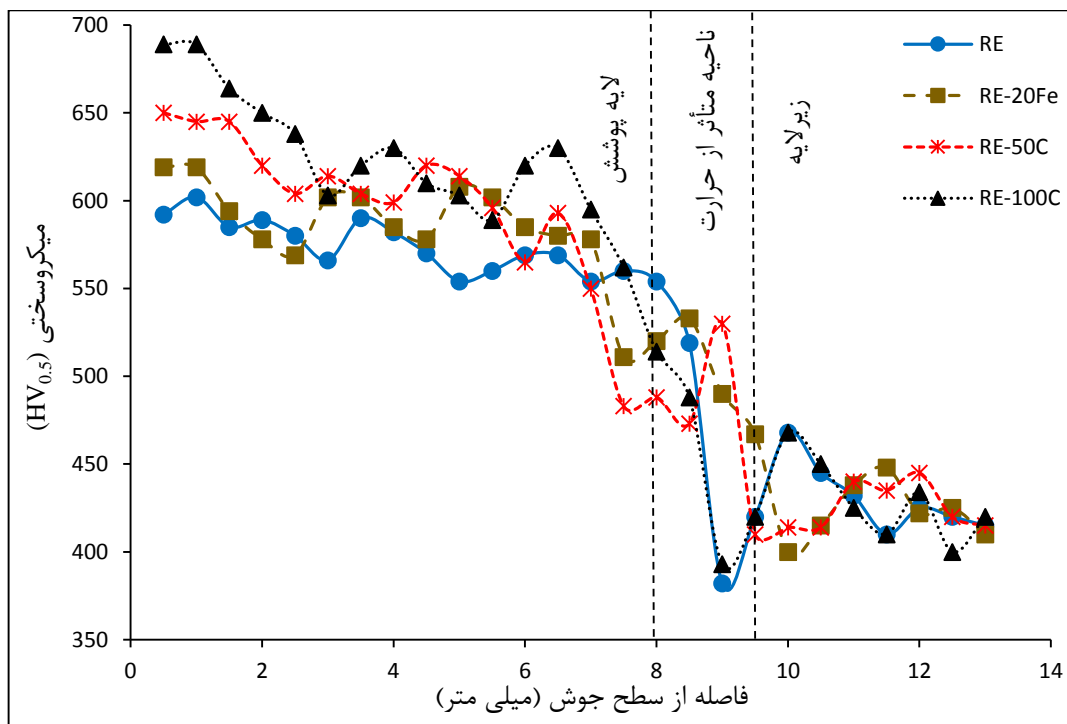
الگوی پراش اشعه ایکس نمونه پوشش داده شده با الکتروود RE-100C در شکل ۵ نشان داده شده است. الگوی XRD این پوشش پیک‌های مارتنزیت، آستنیت باقیمانده و کاربید تیتانیوم را نشان می‌دهد. حضور پیک پراش TiC نشان‌دهنده تشکیل ذرات TiC در نمونه پوشش داده شده با الکتروود RE-100C می‌باشد. علاوه بر



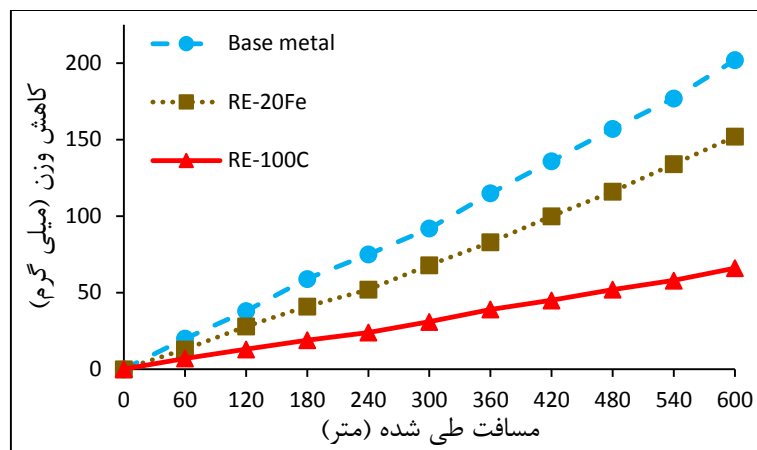
این، به علت کربن حل شده بیشتر در زمینه این پوشش، مقدار کمی آسنیت باقیمانده نیز وجود دارد که پیک مربوط به آن نیز ظاهر شده است.

شکل ۶ تغییرات سختی ویکرز در مقطع عمودی نمونه‌های پوشش‌دهی شده با الکترودهای واکنش‌گر را نشان می‌دهد. مقدار سختی پوشش در نمونه روکش‌دهی شده با الکترودهی RE-100C تا ۶۹۰ ویکرز افزایش می‌یابد، در حالی که میانگین سختی زیرلایه ۴۲۰ ویکرز است. این بهبود سختی را می‌توان به توزیع خوب و یکنواخت ذرات Al_2O_3-TiC در زمینه مارتنزیتی نسبت داد. با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که با افزودن رقیق‌کننده آهن به ترکیب پودر واکنش‌گر درون الکترودهی، تغییری در منحنی سختی لایه پوشش ایجاد نمی‌شود، اما افزودن کربن اضافی باعث بهبود سختی لایه پوشش می‌شود. علت این امر ناشی از ۲ عامل است: الف) با افزودن رقیق‌کننده آهن کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده پوشش کامپوزیتی در حدود ۳ درصد ثابت می‌ماند، در حالیکه افزودن کربن اضافی باعث افزایش کسر حجمی ذرات تقویت‌کننده به حدود ۶ درصد می‌شود.

ب) کاربید تیتانیوم تشکیل شده در پوشش‌های RE و RE-20Fe از نوع یوتکتیکی است، در حالیکه در پوشش‌های RE-50C و RE-100C علاوه بر کاربید تیتانیوم یوتکتیکی تعداد زیادی کاربید تیتانیوم اولیه نیز تشکیل می‌شود. از آنجا که ذرات کاربید تیتانیوم اولیه سختی بسیار بالایی دارند، بسته به شکل، کسر حجمی و نحوه توزیع، تأثیر مستقیمی بر سختی و مقاومت به سایش می‌گذارند؛ در حالی که ذرات کاربید تیتانیوم یوتکتیکی کمک زیادی به بهبود این خواص نمی‌کنند [۱۰].



شکل ۶: تغییرات سختی در مقطع عمودی نمونه‌های پوشش‌دهی شده با الکترودهای واکنش‌گر.



شکل ۷: مقایسه کاهش وزن پوشش‌های کامپوزیتی با زیرلایه.

شکل ۷ نتایج آزمون سایش را نشان می‌دهد. کاملاً مشخص است که پوشش‌های ایجاد شده توسط الکتروکود و اکنشن‌گر، کاهش وزن کمتری در مقایسه با زیرلایه فولادی نشان می‌دهند. در بین پوشش‌های کامپوزیتی، پوشش RE-100C کمترین کاهش وزن را دارد. نرخ سایش پوشش RE-100C و زیرلایه به ترتیب برابر با ۰/۱۱ و ۰/۳۳ میلی‌گرم بر متر می‌باشد. بنابراین، مقاومت به سایش پوشش RE-100C تا ۳ برابر نسبت به زیرلایه فولادی بهبود می‌یابد. افزایش مقاومت به سایش این پوشش به علت تشکیل درصد بالای ذرات تقویت‌کننده TiC و Al_2O_3 به ویژه ذرات مکعبی شکل کاربید تیتانیوم می‌باشد. در اکثر حالات سایش، فازهای مقاوم به سایش همچون ذرات سرامیکی Al_2O_3 و TiC بخش زیادی از بار را تحمل می‌کنند و از این رو مقاومت به سایش پوشش افزایش می‌یابد [۸].

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ساخت کامپوزیت پایه آهنی شامل ذرات تقویت‌کننده TiC و Al_2O_3 بر روی سطح فولاد ابزار گرم‌کار W500 از طریق تلفیق فرایندهای SHS و SAW انجام شد. با بررسی‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که:

- ۱- در پوشش‌های RE و RE-20Fe ذرات کاربید تیتانیوم عمدتاً با مورفولوژی میله‌ای شکل تشکیل می‌شوند، در حالیکه در پوشش‌های RE-50C و RE-100C علاوه بر ذرات نازک کاربید تیتانیوم میله‌ای شکل، کاربید تیتانیوم درشت با مورفولوژی مکعبی نیز تشکیل می‌شود.
- ۲- با افزودن رقیق‌کننده آهن تا ۲۰ درصد وزنی، کسر حجمی ذرات TiC در حدود ۳ درصد ثابت باقی می‌ماند، اما افزودن کربن اضافی تا ۱۰۰ درصد وزنی، باعث افزایش درصد حجمی ذرات TiC تا ۶ درصد می‌شود.
- ۳- ذرات کاربید تیتانیوم مکعبی شکل به دو صورت همگن و غیرهمگن (بر روی ذرات Al_2O_3) جوانه‌زنی و رشد می‌کنند.



۴- مقدار سختی پوشش در نمونه‌های روکش‌دهی شده با الکتروود واکنش‌گر تا ۶۹۰ ویکرز افزایش می‌یابد، که بسیار بالاتر از سختی ۴۲۰ ویکرز در زیرلایه است. این افزایش سختی، باعث بهبود مقامت به سایش پوشش تا ۳ برابر نسبت به زیرلایه می‌شود.

مراجع

- 1- M. Masanta, S.M. Shariff, and A.R. Choudhury, "Tribological behavior of TiB₂-TiC-Al₂O₃ composite coating synthesized by combined SHS and laser technology", *Surface and Coatings Technology*, 204, 2527-2538, 2010.
- 2- M. Sharifitabar, J.V. Khaki, and M.H. Sabzevar, "Fabrication of Fe-TiC-Al₂O₃ composites on the surface of steel using a TiO₂-Al-C-Fe combustion reaction induced by gas tungsten arc cladding", *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 23, 193-204, 2016.
- 3- Q.Y. Hou, "Microstructure and wear resistance of steel matrix composite coating reinforced by multiple ceramic particulates using SHS reaction of Al-TiO₂-B₂O₃ system during plasma transferred arc overlay welding", *Surface and Coatings Technology*, 226, 113-122, 2013.
- 4- S. Chatterjee, S.M. Shariff, J.D. Majumdar, and A.R. Choudhury, "Development of nano-structured Al₂O₃-TiB₂-TiN coatings by combined SHS and laser surface alloying", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 38, 938-943, 2008.
- 5- M. Masanta, S.M. Shariff, and A.R. Choudhury, "A comparative study of the tribological performances of laser clad TiB₂-TiC-Al₂O₃ composite coatings on AISI 1020 and AISI 304 substrates", *Wear*, 271, 1124-1133, 2011.
- 6- M. Masanta, S.M. Shariff, and A.R. Choudhury, "Evaluation of modulus of elasticity, nano-hardness and fracture toughness of TiB₂-TiC-Al₂O₃ composite coating developed by SHS and laser cladding", *Materials Science and Engineering: A*, 528, 5327-5335, 2011.
- 7- X.H. Wang, M. Zhang, and B.S. Du, "Fabrication of multiple ceramic particle reinforced iron matrix coating by laser cladding", *Materials and Manufacturing Processes*, 28, 509-513, 2013.
- 8- X.H. Wang, M. Zhang, and B.S. Du, "Fabrication in situ TiB₂-TiC-Al₂O₃ multiple ceramic particles reinforced Fe-based composite coatings by gas tungsten arc welding", *Tribology letters*, 41, 171-176, 2011.
- 9- M. Sharifitabar, J.V. Khaki, and M.H. Sabzevar, "Microstructure and wear resistance of in-situ TiC-Al₂O₃ particles reinforced Fe-based coatings produced by gas tungsten arc cladding", *Surface and Coatings Technology*, 285, 47-56, 2016.
- 10- J. Lee, K. Euh, J.C. Oh, and S. Lee, "Microstructure and hardness improvement of TiC/stainless steel surface composites fabricated by high-energy electron beam irradiation", *Materials Science and Engineering: A*, 323, 251-259, 2002.
- 11- X.H. Wang, S.L. Song, Z.D. Zou, and S.Y. Qu, "Fabricating TiC particles reinforced Fe-based composite coatings produced by GTAW multi-layers melting process", *Materials Science and Engineering: A*, 441, 60-67, 2006.
- 12- Y. Chen, and H.M. Wang, "Growth morphology and mechanism of primary TiC carbide in laser clad TiC/FeAl composite coating", *Materials Letters*, 57, 1233-1238, 2003.
- 13- X. Wang, M. Zhang, and S. Qu, "Development and characterization of (Ti, Mo)C carbides reinforced Fe-based surface composite coating produced by laser cladding", *Optics and Lasers in Engineering*, 48, 893-898, 2010.

5th

iMAT 2016



پنجمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مواد و متالورژی و دهمین کنفرانس مشترک انجمن مهندسیین متالورژی ایران و انجمن علمی ریخته‌گری

INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS ENGINEERING AND METALLURGY

8, 9 Nov. 2016 Shiraz University

۸ و ۹ آبان ماه ۱۳۹۵ - دانشگاه شیراز



investigating the properties of in-situ composite coating on the surface of W500 low alloy tool steel

Seyyed Ali Seyyed Mohammadi, Behrooz Beidokhti*, Jalil Vahdati Khaki

**Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*
beidokhti@um.ac.ir

Abstract

The aim of this research was to improve the performance of hot work die steels through a wear-resistant coating. For this purpose, Fe-TiC-Al₂O₃ composite was coated on the surface of W500 low alloy tool steel using a combination of welding and self-propagating high-temperature synthesis. The flux-cored electrodes were filled with reactive powder mixtures containing TiO₂, Al, C and Fe with the stoichiometric composition of 3TiO₂-4Al-(3+x)C-yFe and coating was performed using submerged arc welding process. Composite coatings were subsequently characterized by X-ray diffraction (XRD), optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM) with energy dispersive spectroscopy (EDS) attachment. Also, hardness and wear measurements were conducted on specimens. The results showed that TiC and Al₂O₃ particles were formed in-situ in the martensitic matrix of weld. TiC particles were homogeneously distributed in the matrix with two kinds of morphologies, i.e. large cubic and fine rod-shape ones. The Al₂O₃ particles existed as small black dots and located in the core of cubic TiC particles. The maximum volume fraction of reinforcement particles (6%) provided by the electrode containing 3TiO₂-4Al-6C powder mixture. The hardness of the coating surface increased up to 690 HV which was higher than that of the substrate hardness (420HV) and improved the wear resistance up to 3 times.

Keywords: Composite coating, Welding, Self-propagating high-temperature synthesis, Wear resistance