

## بهبود خواص تریبولوژی فولاد St37 با ایجاد لایه کامپوزیتی حاوی ذرات آلومینا به روش جوشکاری GTAW

سعید سلیمی فر<sup>۱</sup>، دانیال داودی<sup>\*۲</sup>، سامان سلحشور<sup>۱</sup>، علیرضا لطفی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران

<sup>۲</sup>باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۳/۰۷/۱۹، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۴/۰۳/۰۶، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۴/۰۵/۱۴

**چکیده** فولاد ST37 از سختی و مقاومت به سایش کمی برخوردار است. هدف از این پژوهش بهبود خواص تریبولوژی این فولاد با ایجاد یک لایه کامپوزیتی حاوی ذرات آلومینا به روش جوشکاری GTAW می‌باشد. برای این کار سطح فولاد با ۱۰ درصد حجمی از ذرات آلومینا در سه جریان متفاوت ۹۰، ۱۱۰ و ۱۳۰ آمپر با این روش پوشش داده شد. آزمون سایش رفت و برگشتی، به منظور بررسی مقاومت به سایش نمونه‌ها انجام گرفت و سطوح سایش آن‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد که پوشش حاصل از این فرآیند دارای ساختار انجمادی دندریتی حاوی ذرات آلومینا است. حضور این ذرات به همراه کاهش حرارت ورودی، باعث افزایش سختی و بهبود رفتار سایشی پوشش مذکور می‌شود. دامنه افزایش سختی پوشش‌های ایجاد شده بین ۲۲۵ تا ۳۳۲ ویکرز اندازه‌گیری شد که این مقدار در نمونه بدون پوشش حدود ۱۸۰ ویکرز می‌باشد. نتایج بررسی رفتار سایشی پوشش‌ها بیانگر بهبود چشمگیر رفتار سایشی آن‌ها در حضور تقویت‌کننده آلومینا به همراه کاهش حرارت ورودی می‌باشد. مکانیزم عمده سایش در نمونه بدون پوشش و در نمونه‌های پوشش داده شده، سایش چسبان می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** GTAW، آلومینا، میکروساختار، سایش، حرارت ورودی.

## Improvement of Tribology Properties St37 Steel by Formation of Composite Layer Containing Alumina Particles by GTAW Welding Method

Saeed Salimifar<sup>1</sup>, Danial Davoodi<sup>\*2</sup>, Saman Salahshour<sup>1</sup>, Alireza Lotfi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Advanced Materials Research Center, Faculty of Materials Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

<sup>2</sup>Young Researchers and Elite Club, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

**Abstract** The St37 steel has low hardness and low wear resistance. The purpose of this study is improvement of tribology properties this steel by formation of a composite layer containing alumina particles by GTAW welding method. To do this, the steel surface with 10% volume of alumina particles at three different currents of 90, 110 and 130 Amper with this method was covered. Reciprocating wear test, for wear resistance of the samples was carried out and their wear surfaces were examined by scanning electron microscopy. The results show that the coating of this process is having freeze-dendritic structure containing the alumina particles. The presence of these particles with reducing heat input cause increasing hardness and improvement wear behavior of the coatings. The range of increasing hardness the coatings made between 225 to 332 Vickers was measured and the amount hardness of the uncoated sample is about 180 Vickers. The results of the wear behavior of the coatings represent a significant improvement in their wear behavior in presence of the alumina reinforce with reducing heat input. The main mechanism of wear in the uncoated sample and the coated samples is adhesive wear.

**Keywords:** GTAW, Alumina, Microstructure, wear, heat input.

\*عهده دار مکاتبات

نشانی: نجف آباد، فلکه دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی مواد

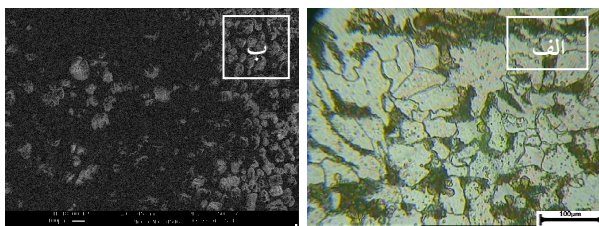
تلفن: ۰۳۱-۴۲۲۹۱۱۱۱، دورنگار: ۰۳۱-۴۲۲۹۱۰۱۶، پیام نگار: Davoodi.danial80@gmail.com

## ۱- مقدمه

نتایج مشاهده می‌شود که یک پیوند متالورژیکی خوب بین پوشش و بستر را می‌توان به دست آورد که پوشش یکنواخت، متراکم و تقریباً عاری از نقص بوده و باعث افزایش محسوس سختی خواهد شد [۷]. سانر و همکارانش سطح فولاد زنگ نزن AISI 304 را با پودر SiC به روش جوشکای قوسی تنگستن-گاز پوشش دادند و نتایج نشان داد که می‌توان با ترکیب ثابت پودر اولیه و فقط با کاهش حرارت ورودی و افزایش میزان پودر استفاده شده، ناحیه ذوب در زیرلایه را به حداقل رساند و میزان رقت را نیز حداقل کرد [۸]. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته تاکنون از آلومینا جهت بهبود خواص سطحی فولاد ST37 با ایجاد لایه کامپوزیتی در سطح آن به روش جوشکاری GTAW<sup>۴</sup> صورت نگرفته است. هدف از انجام این پژوهش ایجاد لایه کامپوزیتی از آلومینا به روش جوشکاری GTAW و تاثیر تغییر شدت جریان و در نتیجه تغییر در گرمای ورودی، بر ساختار شکل گرفته، سختی و رفتار سایشی پوشش، می‌باشد.

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق از فولاد St37 به عنوان زیر لایه و از پودر آلومینا با خلوص بالای ۹۰ درصد و اندازه ذرات متوسط ۳۰ تا ۴۰ میکرومتر استفاده گردید. شکل (۱) به ترتیب ریز ساختار میکروسکوپ نوری فولاد St37 و میکروسکوپ الکترونی آلومینا را نشان می‌دهد.



شکل ۱. الف) ریزساختار فولاد St37 و ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی پودر آلومینا.

جهت انجام فرآیند رویه کاری سطحی چهار نمونه مکعب مستطیل به ابعاد (۱۵×۴×۱) cm از فولاد St37 برش داده شد. در قسمت میانی هر یک از نمونه‌ها بخشی به ابعاد

اغلب روش‌های مهندسی سطح را می‌توان جهت پوشش‌دهی فولاد به کار برد. روش‌هایی مانند کربوره کردن، نیترووره کردن، رسوب فیزیکی بخار (PVD)<sup>۱</sup> و رسوب شیمیایی بخار (CVD)<sup>۲</sup> که برای به دست آوردن یک سطح سخت و مقاوم به سایش به کار می‌روند. یکی از روش‌های افزایش سختی و مقاومت به سایش فولاد، ذوب و آلیاژسازی سطح آن توسط منبع با چگالی بالای انرژی مانند پرتو لیزر، پرتو الکترونی و یا قوس جوشکاری (TIG)<sup>۳</sup> است [۱]. در سال‌های اخیر آلیاژسازی و ایجاد لایه کامپوزیتی با استفاده از فرآیند TIG جهت تامین انرژی لازم برای ذوب، مورد توجه قرار گرفته است. ویژگی‌های منحصر این روش عبارتند از ضخامت زیاد پوشش، نرخ رسوب گذاری بالا، چسبندگی خوب پوشش به زیرلایه به دلیل برقراری پیوندهای متالورژیکی و هم‌چنین سهولت مراحل تولید که سبب گستردگی کاربرد آن برای پوشش‌دهی قطعات شده است. این روش نسبتاً ارزان بوده و در اغلب کارگاه‌های جوشکاری در دسترس می‌باشد. در این روش عناصر آلیاژی همانند کرم، کربن، کبالت و مولیبدن یا ذرات سخت سرامیکی نظیر Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، TiC، WC و SiC به حوضچه مذاب افزوده می‌شوند، تا لایه‌های سطحی آلیاژی و یا کامپوزیتی سخت ایجاد کنند [۲-۴]. آلومینا به خاطر خواص سایشی بالا، سختی زیاد، مقاومت خوب در برابر اکسیداسیون در درجه حرارت‌های بالا و جوش‌پذیری مناسب، معمولاً بر سایر کاربیدها ترجیح داده می‌شود [۵]. طی سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه اعمال پوشش‌هایی بر سطح قطعات مختلف با استفاده از جوشکاری قوسی تنگستن-گاز انجام شده است. در یک تحقیق ذرات کاربید سیلیسیم با روش جوشکای قوسی تنگستن-گاز بر روی فولاد AISI 8620 پوشش داده شد که نتایج نشان داد ساختار تازه شکل گرفته در سطح فولاد می‌تواند مقاومت به سایش و سختی سطح را بهبود بخشد [۶]. یانگ و همکارانش ذرات TiC را بر روی آلیاژ Ti-6Al-4V با فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز با استفاده از سیم توپودری، پوشش دادند و در

<sup>1</sup> Physical vapour deposition

<sup>2</sup> Chemical vapour deposition

<sup>3</sup> Tungsten inert gas

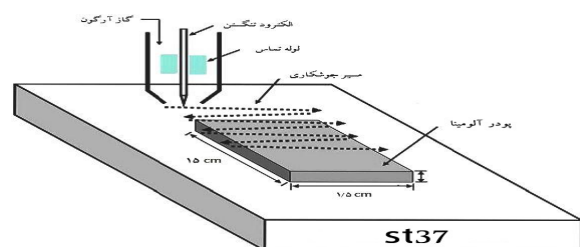
<sup>4</sup> Gas Tungsten Arc Welding

پس از ایجاد لایه رویه سختی توسط جوشکاری GTAW، سطح نمونه‌ها به صورت کاملاً ناهموار در آمد و ضخامت پوشش به حدود ۳ الی ۴ میلی‌متر رسید که برای انجام هیچ‌گونه عملیات بعدی مناسب نبود. به همین منظور همه نمونه‌ها تحت عمل سنگ‌زنی توسط سنگ مغناطیسی قرار گرفتند و ضخامت پوشش با انجام این مرحله به ۲ الی ۳ میلی‌متر کاهش پیدا کرد. جهت اندازه‌گیری و مقایسه سختی نمونه‌ها از دستگاه ریزسختی سنج مدل Koopa، و نرم افزار Hareh، استفاده شد. بدین منظور نمونه‌ها پولیش کاری گردیدند. لازم به اشاره است سنجش سختی با مقیاس ویکرز طی نیروی ۱۰۰ گرم و مدت بارگذاری ۱۰ ثانیه صورت گرفت. پروفیل سختی اندازه‌گیری شده با رسم منحنی سختی برحسب فاصله از سطح پوشش به سمت زیرلایه به دست آمد. جهت جلوگیری از تداخل حوزه کرنش اثرات ریزسختی مجاور هم، فاصله بین دو ریزسختی در راستای افقی و از سطح روکش به سمت زمینه ۰٫۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد. آزمون سایش خشک به صورت رفت و برگشت، در دمای محیط انجام گرفت. پین مورد استفاده در این آزمون از جنس فولاد بلبرینگ DIN۵۲۱۰۰ با سختی حدود ۶۴ راکول سی، ارتفاع ۵۰ میلی‌متر و شعاع عرقچین ۵ میلی‌متر بود که در یک مسیر رفت و برگشتی به طول ۸ سانتی‌متر و با سرعتی معادل ۰/۲۱ متر بر ثانیه بر روی نمونه سایش حرکت می‌کند. آزمون سایش تحت بار ثابت ۳۰ نیوتن انجام گرفت که پس از طی مسافت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ متر، کاهش وزن نمونه‌ها توسط ترازو اندازه‌گیری شد. جدول (۲) پارامترهای مربوط به آزمون سایش را نشان می‌دهد. آنالیز فازی نمونه‌ها توسط پراش سنج پرتو ایکس مدل Philips-PW30-40 صورت گرفت. ولتاژ مورد استفاده در دستگاه ۳۰ کیلو وات و جریان اعمالی ۳۰ میلی آمپر بود. همچنین از پرتو ایکس تک موج CuK $\alpha$  با طول موج ۱/۵۴۰۵ آنگسترم مورد استفاده قرار گرفت. برای شناسایی فازها نیز از نرم افزار X'Pert-MPD استفاده شد. سطوح سایش و ذرات سایش نیز به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل LEO-VP435 مورد ارزیابی قرار گرفت.

cm (۱۵×۱/۵) برای ایجاد روکش و انجام آزمون‌های بعدی در نظر گرفته شد. نمونه شماره ۱ به عنوان نمونه خام و نمونه ۲ تا ۴ برای کامپوزیت‌سازی سطحی مورد استفاده قرار گرفتند. برای اینکه سطوح نمونه‌ها جهت کامپوزیت‌سازی سطحی عاری از هرگونه لایه اکسیدی و چربی باشد در ابتدا نمونه‌ها توسط دستگاه سنگ مغناطیسی پرداخت و سپس در طی چند مرحله به کمک استون تمیزکاری سطحی شدند. نمونه‌های ۲ تا ۴ با ۱۰ درصد حجمی از پودر آلومینا پوشش داده شدند. به منظور اتصال موقت و اولیه پودر آلومینا بر روی نمونه‌های فولادی، پودر با مقدار کمی الکل آغشته و با استفاده از شابلون مقوایی بر روی سطح نمونه‌ها اعمال گردید. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در هوای آزاد قرار گرفته و خشک شدند. برای ایجاد پوشش، فراهم کردن دمای لازم و دستیابی به لایه‌های مورد نظر از روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) استفاده شد. پارامترهای مورد سنجش و آزمون شده در جدول (۱) ارائه گردیده است. همچنین شماتیکی از روش مورد استفاده در شکل (۲) مشاهده می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای فرآیند رویه سختی به روش GTAW.

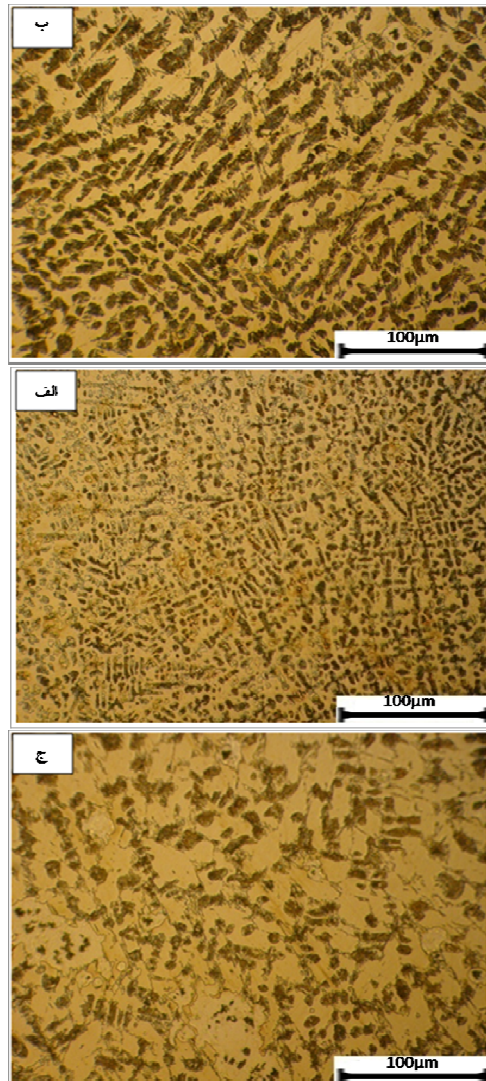
شماره نمونه	شدت جریان (A)	نوع گاز محافظ	نرخ دمش گاز Lit/ (min)	نوع قطبیت	سرعت (mm/min)	حرارت ورودی (Kj/mm)
۱	-	-	-	-	-	-
۲	۹۰	آرگون	۱۰	DCEN	۳۲/۶	۲۶/۸۷
۳	۱۱۰	آرگون	۱۰	DCEN	۲۹/۰۹	۳۶/۳۰
۴	۱۳۰	آرگون	۱۰	DCEN	۲۶/۶۸	۴۶/۷۸



شکل ۲. شماتیک روش مورد استفاده.

## ۳- نتایج و بحث

جوشکاری قوسی تنگستن-گاز به وجود آمده است. دلیل دیگر به دست آوردن ساختار دندریتی، تفاوت زیاد بین نقطه ذوب آهن و دیگر فازهای موجود در ساختار از جمله آلومینا و اکسید آهن می‌باشد [۱۰].

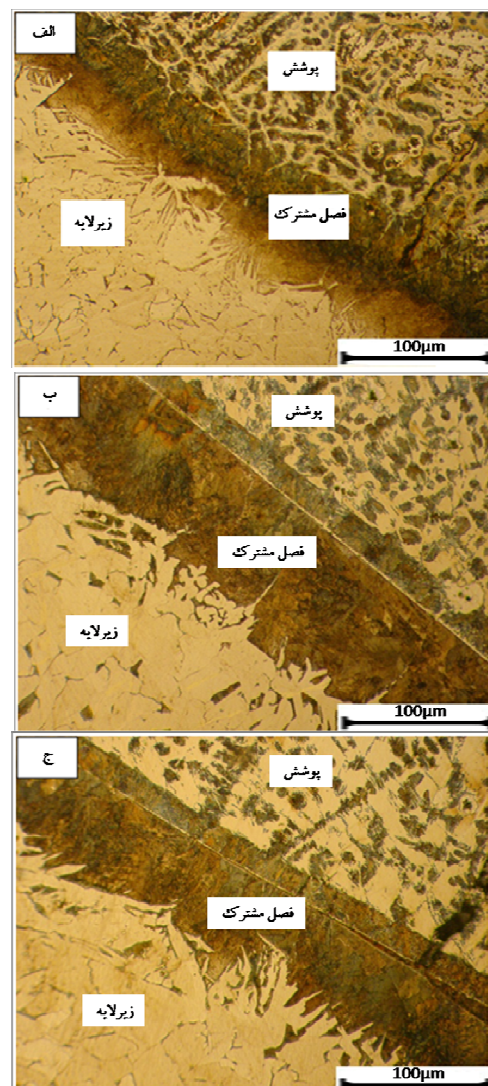


شکل ۴. ریزساختار پوشش ایجاد شده (الف) نمونه ۲، (ب) نمونه ۳، (ج) نمونه ۴.

نمونه ۴.

شکل (۵) الگوی پراش پرتو ایکس از لایه پوشش داده شده به همراه اندیس صفحات پراش نمونه شماره (۲) را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود فازهای  $Fe_2O_3$ ،  $Fe$  و  $Al_2O_3$  فازهای اصلی تشکیل دهنده پوشش بوده که در مرکز بین‌المللی داده‌های پراش دارای مشخصات (ICDD PDF #006-0696) برای  $Fe$ ، (ICDD PDF #004-0755) برای  $Fe_2O_3$  و (ICDD PDF #075-1862) برای  $Al_2O_3$  می‌باشند. همچنین احتمال حضور فازهایی مانند  $FeAl$ ،  $Fe_3Al$ ،  $FeAl_2$ ،  $FeAl_3$  و  $Fe_2Al_5$  و کاربیدهای  $M_7C_3$  در ساختار وجود دارد. اما خطوط پراش این فازها اصولاً دیده نمی‌شود. در این رابطه باید در نظر

شکل (۳) مقطع جانبی سطح پوشش ایجاد شده در نمونه ۲ تا ۴ را نشان می‌دهد. این شکل مشخص می‌کند سطح پوشش و همچنین فصل مشترک بین زیرلایه و پوشش، خالی از ترک و حفره با استفاده از این روش قابل دستیابی است. این عوامل بیانگر این هستند که لایه پوشش متراکم و با کیفیت به دست می‌آید و نشان‌دهنده امکان پذیر بودن نفوذ کامل لایه پیش‌نشانی شده به زیرلایه فولادی است [۹].



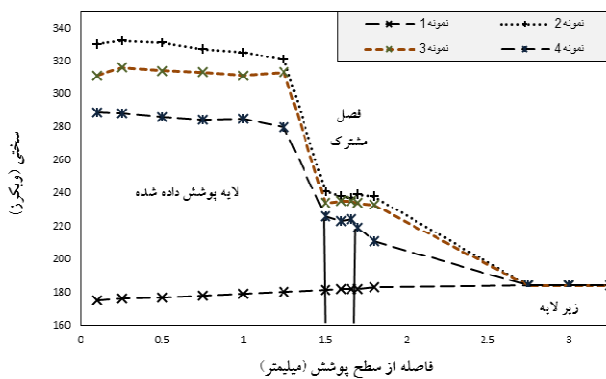
شکل ۳. مقطع جانبی نمونه‌های پوشش داده شده (الف) نمونه ۲، (ب) نمونه ۳ و (ج) نمونه ۴.

نمونه ۴.

شکل (۴) تصاویر میکروسکوپی از ریزساختار پوشش را نشان می‌دهند. با بررسی این تصاویر ملاحظه می‌شود این پوشش‌ها ساختار دندریتی داشته و ترکیب این دندریته‌ها فاز آلومینا می‌باشد، در نتیجه انجماد سریع در طی فرآیند



سختی نمونه ۳ و ۴ بیشتر است. دلیل افت تدریجی (و نه ناگهانی) سختی در فصل مشترک، اثر رقت ناشی از ذوب جزئی زیرلایه است. از آنجا که تشکیل پوشش با سرعت زیاد رخ داده و امکان ذخیره تنش های پسماند (که بسته به تفاوت ضرایب انبساط حرارتی زیرلایه، کششی یا فشاری هستند) در پوشش وجود دارد، نفوذ از زیرلایه و کاهش تدریجی سختی موجب افزایش چسبندگی و کاهش تردی پوشش گشته و عاملی مطلوب ارزیابی می شود که می تواند از وقوع ترک در پوشش جلوگیری نماید. این نوع فصل مشترک، چسبندگی و خواص مکانیکی مطلوبی ایجاد می کند [۱۴].



شکل ۶. پروفیل ریزسختی سطح مقطع عرضی نمونه های پوشش داده شده و نمونه بدون پوشش.

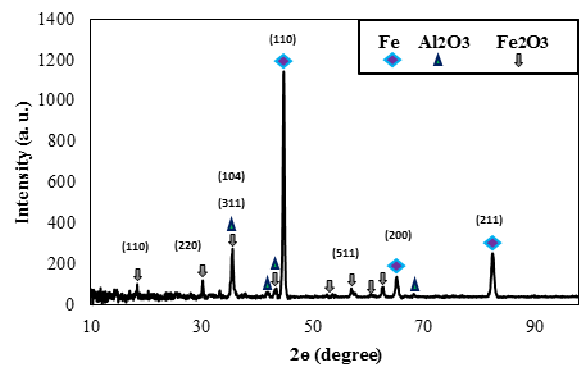
روش ترسیم نمودارهای ضریب اصطکاک بدین صورت است که نیروی مماسی منتقل شده به پین سایشگر، توسط حسگر نیرو اندازه گیری و با توجه به نیروی اعمالی عمودی سایش، ضریب اصطکاک با توجه به رابطه (۱) اندازه گیری می شود.

$$\mu = \frac{F}{W} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این رابطه  $F$  نیروی افقی،  $W$  نیروی عمودی اعمالی و  $\mu$  ضریب اصطکاک سایش است.

با توجه به ضریب اصطکاک متوسط تعیین شده در جدول (۲)، ضریب اصطکاک پایین پوشش دلالت بر این موضوع دارد که پوشش ایجاد شده دارای مقاومت به سایش عالی می باشد [۱۵].

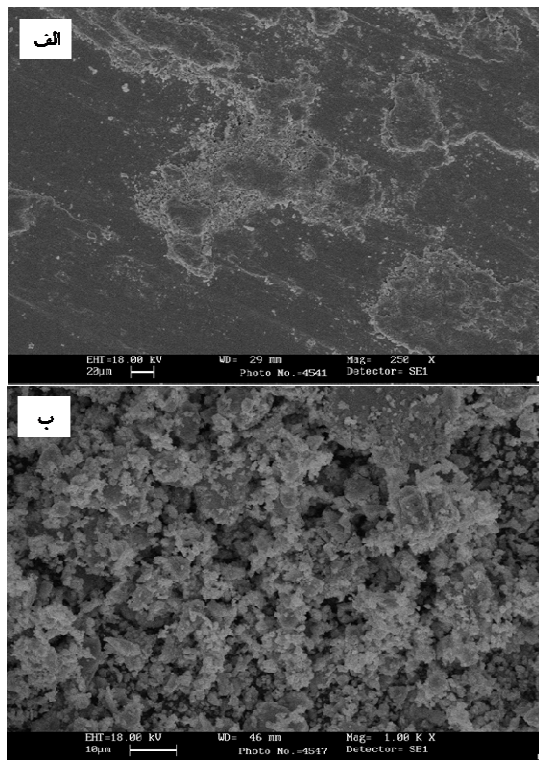
داشتن که فازشناسی به کمک پراش پرتو ایکس توانایی آشکارسازی فازهای با مقدار کم تر از ۵ درصد را ندارد. بنابراین با توجه به مقادیر احتمالی بسیار کم فازهای تشکیل شده اصولاً وجود این فازها با استفاده از این روش آنالیز قابل ردیابی نیست. هم چنین مقدار پایین آلومینا باعث شده است تا این فاز نیز به مقدار کم اما قابل تشخیص شناسایی گردد [۱۱]. در خصوص حضور اکسید آهن نیز باید دانست در حین فرآیند، آهن مذاب با هوا در تماس بوده و احتمال تشکیل قابل توجهی فاز اکسید آهن وجود دارد. در صورت تشکیل، این ذرات می توانند در حین ایجاد لایه سطحی در نواحی نزدیک به سطح شناور و محبوس گردند. آنچه نتایج فازشناسی نشان داده وجود همین ذرات اکسیدی احتمالی به نظر می رسد [۱۲].



شکل ۵. الگوی پراش پرتو ایکس از نمونه ۲.

نتایج ریزسختی نمونه ها در شکل (۶) ارائه شده است. همان طور که دیده می شود پوشش های کامپوزیتی تشکیل شده به دلیل دارا بودن تقویت کننده آلومینا و همین طور شرایط انجمادی سریع جوشکاری، سختی نسبتاً بالایی (حدود HV ۳۳۲-۲۲۵) را دارا هستند که می توانند در کنار مقاومت به خوردگی خوب، منجر به مقاومت نسبتاً بالا در برابر سایش در محیط های خورنده گردند [۱۳]. سختی نمونه های حاوی تقویت کننده آلومینا بیش از سختی نمونه بدون تقویت کننده است که به دلیل سختی نسبتاً بالای فاز آلومینا می باشد. همان طور که از نمودار سختی پوشش ها مشخص است، کاهش حرارت ورودی منجر به کاهش رقت آهن از زیرلایه و هم چنین ریزتر شدن ساختار می شود و این عوامل باعث افزایش سختی خواهند شد بنابراین سختی نمونه ۲ به ترتیب از

شده و به آن می‌چسبد و چون آثاری از فشرده شدن و لهیدگی و ساختار لایه‌ای در شکل (۹-الف) قابل مشاهده می‌باشد پس مکانیزم غالب سایش، سایش چسبان است. شکل (۹-ب)، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات سایش نمونه ۱ را نشان می‌دهد که تداعی کننده مکانیزم سایش چسبان بوده زیرا ذرات سایش به صورت ذرات نسبتاً کروی هستند پس مکانیزم غالب سایش، سایش چسبان است. مکانیزم سایش چسبان، ندرتا به تنهایی اتفاق می‌افتد، مگر در مواردی که یک سطح بسیار سخت، در برابر یک سطح با مقاومت سایشی بسیار پایین، قرار گیرد [۱۷].



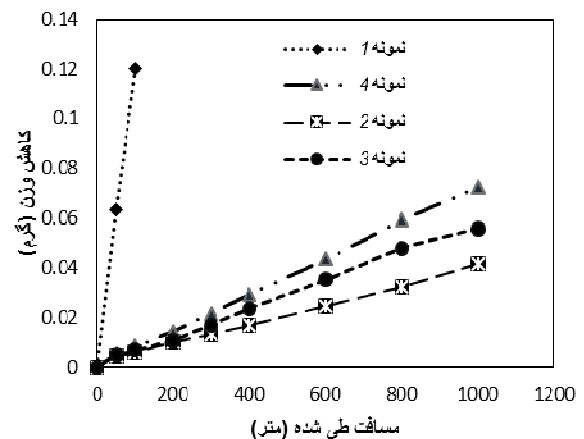
شکل ۸. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) از سطح سایش و (ب) ذرات حاصل از سایش نمونه ۱.

با توجه به رفتار کاهش جرم نمونه (۲) در آزمون سایش مطابق با شکل (۸) افت کاهش جرم در این نمونه نسبت به نمونه‌های دیگر را می‌توان به دلیل افزایش سختی پوشش در اثر کاهش حرارت ورودی و حضور فاز آلومینا در زمینه دانست. شکل (۹-الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی حاصل از سطح سایش نمونه ۲ را نشان می‌دهد. با توجه به تصویر به نظر می‌رسد که مکانیزم غالب سایش، سایش چسبان به همراه سایش اکسیداسیون باشد زیرا در طی آزمون سایش

جدول ۲. ضریب اصطکاک متوسط نمونه بدون پوشش و نمونه‌های پوشش داده شده برحسب مسافت لغزش.

نمونه	ضریب اصطکاک ( $\mu$ )
۱	$0.056 \pm 0.005$
۲	$0.047 \pm 0.005$
۳	$0.050 \pm 0.005$
۴	$0.052 \pm 0.005$

شکل (۷) نمودار کاهش وزن برحسب مسافت طی شده برای نمونه‌های آزمون سایش را نشان می‌دهد که با افزایش مسافت طی شده میزان جرم از دست داده شده نمونه ۱ نیز مرتباً و بدون نشان دادن رفتار کند شونده، افزایش می‌یابد. این نتایج با توجه به رفتار سایشی ضعیف فولاد St37 دور از انتظار نمی‌باشد [۱۶].

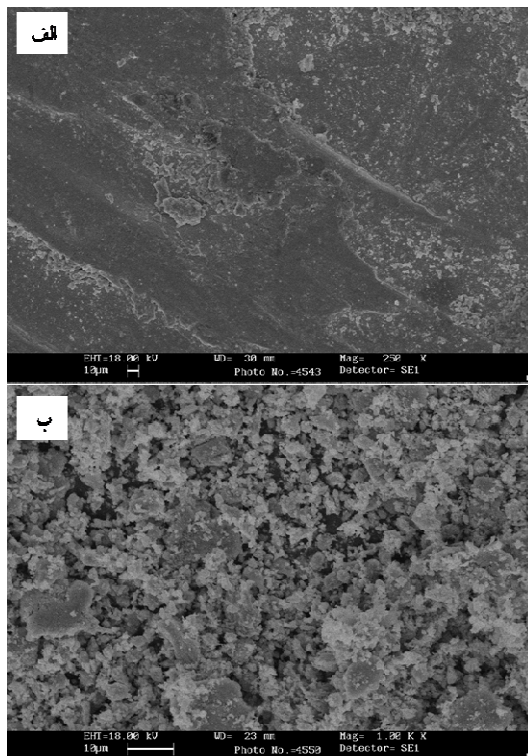


شکل ۷. نمودار کاهش وزن برحسب مسافت طی شده برای نمونه‌های آزمون سایش.

شکل (۸) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی حاصل از سطح سایش نمونه ۱ پس از انجام آزمون سایش را نشان می‌دهد. با دقت در تصویر (۸-الف)، آثار خراشیدگی و کندگی بر روی سطح مشاهده نمی‌گردد که دلیل خوبی برای رخ ندادن مکانیزم سایش خراشان است. یکی دیگر از عمومی‌ترین مکانیزم‌های سایش، مکانیزم سایش چسبان است که در آن موادی بر روی سطوح در حال سایش، می‌چسبند. به طور مثال، بخشی از پین، ساییده شده و بر روی نمونه، فشرده

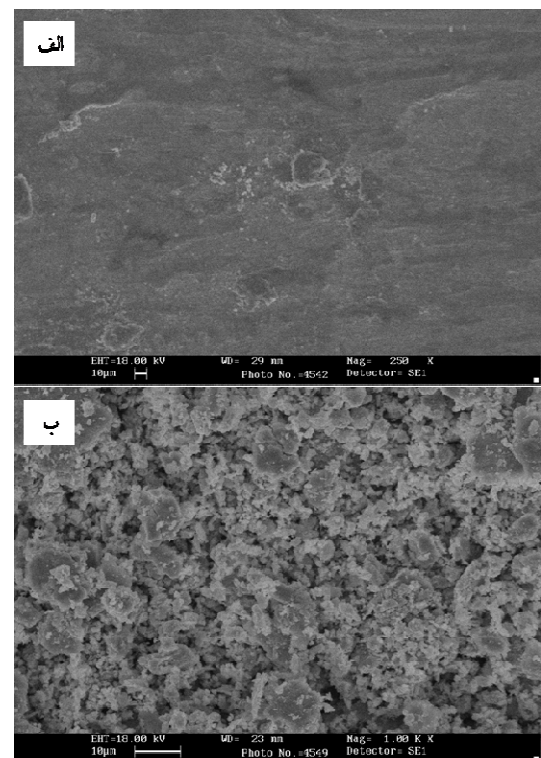
که می‌توان مکانیزم غالب ساییش در این نمونه را چسبان دانست [۱۹ و ۲۰].

با توجه پوشش نمونه ۴ و نمودار شکل (۷) کاهش محسوس جرم از دست داده شده نسبت به نمونه بدون پوشش در این نمونه از مراحل اولیه آزمون مشهود است. علت بهبود رفتار سایشی در سختی بالاتر نمونه پوشش داده شده را می‌توان به دلیل حضور فاز آلومینا و همین‌طور سرعت انجماد بالا دانست. شکل (۱۱-الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی حاصل از سطح سایش نمونه ۴ و شکل (۱۱-ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات سایش نمونه ۴ را نشان می‌دهد که می‌توان مکانیزم غالب ساییش در این نمونه را چسبان دانست [۲۱].



شکل ۱۰. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) از سطح سایش، (ب) ذرات حاصل از سایش نمونه ۳.

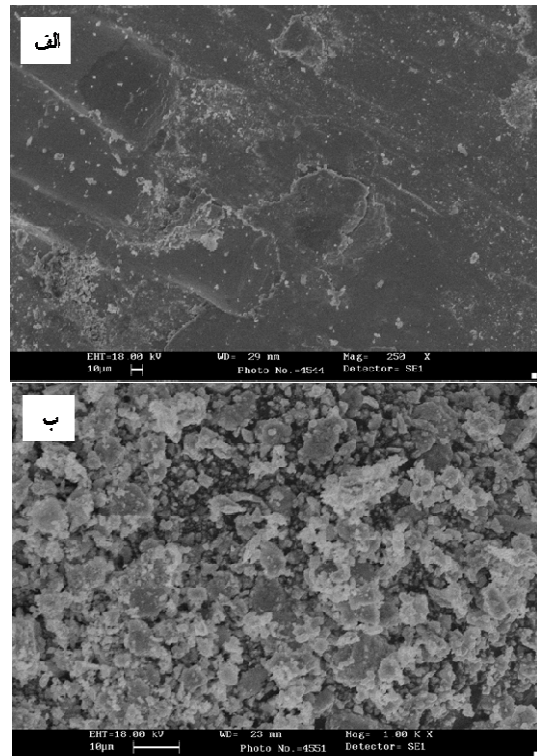
دمای سطح نمونه ۲ به دلیل سختی نسبتاً بالا در اثر حرکت پین، افزایش یافته و فیلم اکسیدی ضخیمی تولید و پین ساییده می‌شود و بر روی نمونه، فشرده شده و به آن می‌چسبد و معمولاً نمی‌توان به نشانه یا مشخصه تصویری خاصی برای مکانیزم ساییش اکسیداسیون در تصاویر میکروسکوپ الکترونی، اشاره نمود اما شکل (۸-ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات سایش نمونه ۲ را نشان می‌دهد که این احتمال وجود دارد ذرات سایشی ریز، دلالت بر ساییش اکسیداسیون داشته باشد [۱۸].



شکل ۹. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) از سطح سایش و (ب) ذرات حاصل از سایش نمونه ۲.

با توجه به پوشش نمونه ۳ و همچنین نتایج به دست آمده از آزمون ساییش در شکل (۷) و مقایسه آن با نتایج نمونه‌های ۲ و ۴ مشاهده می‌شود با ثابت بودن درصد فاز تقویت‌کننده و افزایش میزان حرارت ورودی نسبت به نمونه ۲ و کاهش میزان حرارت ورودی نسبت به نمونه ۴، میزان سختی و در نتیجه کاهش جرم این نمونه مابین نمونه‌های ۲ و ۴ قرار دارد. شکل (۱۰-الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی حاصل از سطح سایش نمونه ۳ و شکل (۱۰-ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی ذرات سایش نمونه ۳ را نشان می‌دهد

3. Anvari, S.Z. , Karimzadeh, F. , Enayati, M.H. "Synthesis and characterization of NiAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite powder by mechanical alloying", *Journal of Alloys and Compounds*, 477, 178-181, 2009.
4. Udhayabanu, V. , Ravi, K.R. , Vinod, V. "Synthesis of in-situ NiAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposite by reactive milling and subsequent heat treatment", *Intermetallics* 18, 353-358, 2010.
۵. س. عرب سرهنگی، ع. میرحبیبی، ح. صداقتی، "معرفی پوشش های سرامیکی مورد کاربرد در صنایع هوافضا توسط روش های پاشش حرارتی"، دهمین سمینار ملی مهندسی سطح، اصفهان، ۱۳۸۸.
6. Nuri Celik, O. , Ulutun, M. , Buytoz, S. "Effects of graphite content on the microstructure and wear properties of an AISI 8620 steel surface modified by tungsten inert gas (TIG)", *Surface & Coatings Technology*, 206, 1423- 1429, 2011.
7. Yang, R. , Liu, Z. , Yang, G. , Wang, Y. "Study of in-situ synthesis TiCp/Ti composite coating Ti6Al4V by TIG cladding", *Procedia Engineering*, 36, 349-354, 2012.
8. Buytoz, S. , Ulutan M. "In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying", *Surface & Coatings Technology*, 200, 3698-3704, 2006.
9. Lippold, J. , Kotecki, D. "Welding metallurgy and weld ability of stainless steels", *John Wiley & Sons*, New York, 2007.
10. Buytoz, N. S. "Microstructural properties of SiC based hard facing on low alloy steel", *Surface & Coatings Technology*, 200, 3734-3742, 2006.
۱۱. د. مصباحی، م. زند رحیمی، "ایجاد پوشش بهینه آلومینا و زیرکونیا و پوشش همزمان آلومینا-زیرکونیا بر روی زیرلایه فولادی به روش رسوب گذاری الکتروفورتیک و بررسی مقاومت به سختی پوشش"، دهمین سمینار ملی مهندسی سطح، اصفهان، ۱۳۸۸.
12. Buchely, M.F. , Gutierrez, J.C. "The effect of microstructure on abrasive wear of hard facing alloys", *Wear*, 259, 52-61, 2005.
13. Majumdar, J. , "Studies on compositionally graded silicon carbide dispersed composite surface on mild steel developed by laser surface cladding", *Journal of Materials Processing Technology*, 203, 505-512, 2008.
۱۴. ا. دوستوندی، ح. ثابت، "اثر نوع جریان و نسبت SiC/Al پوشش بر خواص ظاهری، ریزساختار و سختی لایه کامپوزیتی ایجاد شده بر آلومینیم با استفاده از فرآیند جوشکاری GTAW"، یازدهمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی، تهران، ۱۳۸۹.
15. Zhong, M. , Liu, W. , "Formation of WC/Ni hard alloy coating by laser cladding of W/C/Ni pure element powder blend", *International Journal of Refractory metals & hard materials*, 24, 453-460, 2006.
16. Yang, R. , Liu, Z. , "Study of in-situ synthesis TiCp/Ti composite coating on alloy Ti6Al4V by TIG cladding", *Procedia Engineering*, 36, 349-354, 2012.
۱۷. م. صالحی، ف. اشرفی زاده، "متالورژی سطح و تریبولوژی"، انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران، 1374.
18. Ye, H. , Liu, Y. , Li, D. , "Development of a new wear-resistant material TiC/TiN composite", *Scripta Materilia*, 41, 1039-1045, 1999.
19. Lin, Y.C. , "Elucidating the microstructure and wear behavior of tungsten carbide" *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 219-225, 2010.



شکل ۱۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (الف) از سطح سایش، (ب) ذرات حاصل از سایش نمونه ۴.

#### ۴- نتیجه گیری

- ۱- پوشش و همچنین فصل مشترک بین زیرلایه و پوشش، خالی از ترک و حفره با استفاده از این روش قابل دستیابی است.
- ۲- پوشش ایجاد شده ریزساختار دندردریتی همراه با تقویت کننده آلومینا را دارا می باشد.
- ۳- پوشش ایجاد شده دارای یک سختی نسبتا بالا حدود ۲۲۵ تا ۳۳۲ ویکرز می باشد.
- ۴- کاهش حرارت ورودی منجر به افزایش سختی شد.
- ۵- رفتار سایشی پوشش ها با کاهش حرارت ورودی بهبود یافت.
- ۶- مکانیزم سایش در نمونه بدون پوشش و در نمونه های پوشش داده شده از نوع چسبان می باشد.

#### مراجع

1. Madadi, F. "Optimization of pulsed TIG cladding process of stellite alloy on carbon steel using RSM", *Journal of Alloys and Compounds*, 510, 71-77, 2012.
2. Michalski, A. , Jaroszewicz, J. , Rosinski, M. , "NiAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composites produced by pulse plasms sintering with the precipitation of the SHS reaction", *Intermetallics* 14, 603-606, 2006.



- 
21. Soner, B. , Mustafa, U. , “Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings”, *Applied Surface Science*, 252, 1313-1323, 2005.
20. Amini, K. , Akhbarizadeh, A. , Javadpour, S. “Investigating the effect of the quench environment on the final microstructure and wear behavior of 1.2080 tool steel after deepcryogenic heat treatment” *Materials and design*, 45, 316-322,2013.