نشریه علوم و فناو*ر*ی

کامیوزی۔ت





بررسی ریزساختار و رفتار تریبولوژیکی لایهی کامپوزیتی ایجاد شده حاوی ذرات کاربید سيليسيوم روى فولاد ASTM A106 بەروش جوشكارى GTAW

حسين مظاهري*، محمود فاضل نجف آبادي ، عليرضا اعلائي "

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد ۲- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه پیام نور، اصفهان ٣- استادیار، مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد * نجفاًباد، صندوق پستی ۸۵۱۴۱۴۳۱۳۱، Mazaheri2646@smt.iaun.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
در این پژوهش ایجاد پوشش کامپوزیتی حاوی ذرات کاربید سیلیسیوم بر سطح فولاد ASTM A106-Gr.B با به کارگیری فرآیند جوشکاری	دریافت: آبان ۹۳
قوسی تنگستن–گاز بررسی شده است. بدین منظور ذرات کاربید سیلیسیوم با درصدهای حجمی متفاوت بر سطح فولاد مورد نظر پیش نشانی شده و با تغییر شدت جریان، فرآیند ذوب و اختلاط آنها با فلز پایه انجام شد. مطالعه ریز ساختار پوشش ایجاد شده توسط	پذیرش: بهمن ۹۳
میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) همراه با آنالیز نقطهای انجام گرفت. یافته های آزمون ها نشان داد که پوشش حاصله ساختار دندریتی حاوی تقویت کنندهی کاربید سیلیسیوم را دارا میباشد که میتواند باعث بهبود سختی و رفتار سایشی پوشش مذکور شود. سختی پوشش ها در آزمون های ریز سختی سنجی و رفتار سایشی پوشش ها توسط آزمون سایش بهصورت رفت و برگشتی	کلیدواژگان: جوشکاری قوسی تنگستن-گاز، پوششدهی سطحی،
ار بابی سد. تایع ارمون ریز سحی سنجی نشان دهنده افرایش سحتی پوسش ایجاد سده (حدود ۵۳ تا ۱۹۰۰ ویدر) سبت به نمونهٔ بدون پوشش (حدود ۲۰۰ ویکرز) بود. بررسی های رفتار سایشی پوشش ها بیانگر بهبود چشمگیر رفتار سایشی آنها در اثر افزودن تقویت کنندهی کاربید سیلیسیوم بود. مکانیزم عمدهی سایش در نمونهی بدون پوشش سایش ورقهای و اکسایش سطحی و در نمونههای پوشش داده شده مخلوطی از سایش چسبان، اکسایش سطحی و سایش ورقهای تشخیص داده شد.	كامپوزيت فولاد-كاربيد سيليسيوم

Study of Microstructure and Tribological Behavior of the Composite Layer Produced of Silicon Carbide Particles on a Steel ASTM A106 GTAW Welding **Method**

Hossein Mazaheri*1, Mahmoud fazel Najafabadi², Alireza Alaei¹

1- Department of Material Engineering, Najafabad Branch of Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Payame Noor University, Esfahan, Iran

*P.O.B. 8514143131, Najafabad, Iran, Mazaheri2646@smt.iaun.ac.ir

Keywords	Abstract
Gas tungsten arc welding	In this study, formation of composite coating containing silicon carbide amplifiers on ASTM A106-Gr B steel surface using the gas tungsten arc welding process is investigated. Therefore silicon carbide particles with
Coaung surface	different volume percentages on the steel surface were placed and by changing the current density, malting
Steel-silicon carbide composite	and mixing process was done with the base metal. The study coating microstructure by optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) was conducted alongside the spot analysis. The result showed that the dendritic structure of the resulting coating contains silicon carbide is capable of reinforcing that could be improved hardness and wear behavior of the coatings. Hard coatings by a micro-hardness measurement and with slab vickers and wear behavior of the coatings was evaluated by testing the wear-trip basis. Microhardness test results showed increased hardness was created (about 650 to 1150 Vickers) compared to uncoated samples (about 200 Vickers) is. Reviews wear behavior of coatings represent significant
	improvements in wear behavior of is added silicon carbide reinforcement. The main wear mechanism of
	uncoated samples delamination wear and surface oxidation and the samples were coated with a mixture of
	delamination wear, surface oxidation and adhesive wear were detected.

Please cite this article using:

المُ كَامَبُوزَيت

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

Mazaheri, H. fazel Najafabadi, M. and Alaei. A., "Study of Microstructure and Tribological Behavior of the Composite Layer Produced of Silicon Carbide Particles on a Steel ASTM A106 GTAW Welding Method" Journal of Science and Technology of Composite, Vol. 2, No. 1, pp. 65-72, 2015. Steel ASTM A106 GTAW Welding Method" Journal of Science and Technology of Composite, Vol. 2, No. 1, pp. 65-72, 2015.

۱– مقدمه

عملیات سطحی بر روی فولادها میتواند مقاومت خوردگی، مقاومت سایشی یا رفتار خستگی آنها را بهبود دهد [۱]. یکی از روشهای سخت کاری سطحی^۱ استفاده از روشهای معمول جوشکاری برای پوششدهی روی سطح قطعات است. ویژگی منحصر به فرد این روش ضخامت زیاد پوشش، نرخ رسوبگذاری بالا، چسبندگی مناسب پوشش به زیر لایه و همچنین سهولت در ایجاد آن است. همین عوامل سبب گستردگی کاربرد آن برای پوششدهی قطعات شده است [۲، ۳].

یکی از روش های متداول بهبود رفتار سطحی، افزودن عناصر آلیاژی همچون کرم، کربن، کبالت و مولیبدن یا ذرات سرامیکی نظیر SiC، SiC، WC و B4C به مذاب ایجاد شده در سطح و تشکیل لایهای با ضخامت قابل توجه بر روی سطح است [۴]. به عنوان مثال یوچی لین و همکارانش در پژوهشی به بررسی ریزساختار و عملکرد سایشی لایه SiC پوشش داده شده بر روی فولاد کشته شدهی SKD61 با روش GTAW پرداختهاند. آنها گزارش دادهاند که ذرات SiC در طی فرآیند GTAW تجزیه شده و فازهای شبه پایدار مانند Fe-Si-C و Sics و همچنین فاز پایدار گرافیت در سیسستم سه تایی Fe-Si-C به وجود آمدهاند. این محققین مدعی شدهاند که همین رخدادها منجر به افزایش سختی و مقاومت به سایش لایه سطحی شده است [۵].

سانر و همکاران در تحقیقی دیگر سطح فولاد زنگ نزن AISI 304 را با پودر SiC بهروش جوشکای قوسی تنگستن – گاز پوشش دادند. آنها نشان دادند که میتوان با ترکیب ثابت پودر اولیه و فقط با کاهش حرارت ورودی و افزایش میزان پودر استفاده شده، ناحیه ذوب در زیر لایه را به حداقل رسانده و میزان رقت را به حداقل کاهش داد. با این کار ساختار هیپویونکتیک سطحی به ساختار هایپریوتکتیک تبدیل خواهد شد. آنها پیشنهاد کردند که بیشینه سختی به دست آمده به حضور کاربیدهای M7C3 پراکنده در سطح فولاد مربوط باشد [۶].

در همین رابطه یانگ و همکاران ذرات SiC را بر روی آلیاژ Ti6Al4V با فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن - گاز و با استفاده از سیم توپودری پوشش دادند. آنها مدعی هستند که به این شیوه یک پیوند متالورژیکی خوب بین پوشش و زیر لایه را میتوان به دست آورد که پوشش یکنواخت، متراکم و تقریباً عاری از نقص بوده و باعث افزایش قابل توجه سختی خواهد شد [۷]. اسمان و همکاران ذرات کاربید سیلیسیوم را با روش جوشکاری قوسی تنگستن - گاز بر روی فولاد AISI 8620 پوشش دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد ساختار تازه شکل گرفته در سطح فولاد میتواند مقاومت به سایش و سختی سطح را بهبود بخشد [۸].

در کامپوزیتهای زمینه فلزی، زمینه از یک فلز انعطاف پذیر تشکیل میشود. مواد تقویت کننده ممکن است به شکل ذرات، رشتههای پیوسته و ناپیوسته و یا ویسکرها باشند که ۱۰ الی ۶۰٪ حجمی کامپوزیت را تشکیل میدهد. رشتههای پیوسته شامل کربن، کاربید سیلیسیوم، بور، آلومینا و فلزات دیرگداز است و رشتههای ناپیوسته از ذرات همین مواد تشکیل میشوند. یک سیستم کامپوزیتی زمینه فلزی عمدتاً به سادگی و با استفاده از یک زمینهٔ تشکیل شده از یک آلیاژ فلزی ساخته میشود که بوسیله یک تقویت کنندهٔ سرامیکی محافظت میشود که سختی و مقاومت به سایش را افزایش خواهد داد. فولاد مقاوم به حرارت ASTM A106 Gr.B در صنایع نفت، پتروشیمی و شیمیایی به دلیل پایداری در شرایط سرویسدهی با دمای بالا،

1. Hrad facing

نشریه علوم و فناوری ک**امیو** *ز***یت**

دارای کاربرد بسیار وسیعی است ولی سختی و مقاومت به سایش ضعیف، محدودیتهایی را برای این فولاد ایجاد کرده است [۹، ۱۰]. در این پژوهش از روش جوشکاری GTAW به منظور تشکیل لایهای کامپوزیتی حاوی ذرات SiC بر روی سطح فولاد ASTM A106 Gr.B استفاده گردید. در این راستا، تأثیر تغییر درصد حجمی SiC و تغییر شدت جریان جوشکاری بر ساختار، سختی و رفتار سایشی پوشش ایجاد شده مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

۲- مواد و روش آزمون

در این پژوهش از فولاد کربنی ASTM A106 Gr.B (معادل با فولاد 858 St 45.8 مطابق با استاندارد DIN) با ابعاد ۸×۴۵×۱۵۰ میلیمتر استفاده شد. در ابتدا قطعات تمیز شده و تا سنبادهٔ شمارهٔ ۳۲۰ سنباده زده شد تا آلودگیهای سطحی آن بر طرف شود. سپس آنالیز عنصری بر روی ماده اولیه انجام شد. برای ایجاد لایه سطحی از پودر SiC با ابعاد متوسط ذرات ۳ تا ۴ میکرومتر استفاده شد. ثابت سازی ذرات با آغشته نمودن آنها به اتانول و استفاده از شابلون حاوی حفرهٔ با ابعاد ۲۱×۳۰۰ میلیمتر انجام شد. برای ذوب سطحی فولاد، از روش جوشکاری قوسی تنگستن – گاز (GTAW) استفاده شد. گاز محافظ مصرفی آرگون با خلوص ۹۹/۹۹، قطر الکترود تنگستنی ۲/۴ میلیمتر و شکل نوک الکترود مخروطی بود. عملیات ذوب سطحی بر روی گروههایی از نمونهها در شرایط مختلف مطابق با جدول ۱ انجام شد. تصویر نمادین از روش مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ پارمترهای فرآیند رویهسازی به روش GTAW با نرخ دمش ۸ لیتر بر دقیقه

DCEN	قطبيت	آرگون و
------	-------	---------

مقدار حرارت	سرعت	شدت	درصد	شماره
ورودی(kJ/mm)	(mm/min)	جريان (A)	حجمى	نمونه
			ذرات	
-	-	-	- •	
2.114	37/18	٩٠	۴	٢
34/64	۱۸/۲۸	٩٠	٨	٣
31/14	18/99	٩٠	17	۴
۲۷/۸۴	27/66	11.		۵
WY/1V	۲٩/•٩	15.	٨	۶
	•		بدون پوشش	نمونه ۱: نمونه

سرعت جوشکاری/(۰/۴۸×ولتاژ×شدت جریان) = حرارت ورودی



شکل ۱ تصویر نمادین از شیوه مورد استفاده در ایجاد پوشش

پس از ایجاد لایه با جوشکاری GTAW سطح نمونهها به صورت کاملاً ناهموار درآمد. ضخامت پوشش در این حالت بین ۳ الی ۴ میلیمتر بود. برای انجام عمليات بعدى همه نمونهها تحت عمل سنگزنى توسط سنگ مغناطیسی قرار گرفتند و ضخامت پوشش با انجام این مرحله به ۲ الی ۳ میلیمتر کاهش پیدا کرد. پس از تهیه نمونههای متالوگرافی از مقاطع عرضی پوشش ایجاد شده و قرار گیری در مانت، به منظور بررسی ریز ساختار پوشش، فصل مشترک و زیرلایه، نمونههای مانت شده توسط سنبادههای ۶۰ الی ۲۵۰۰ سنباده کاری شد و سپس پولیش گردیدند. پس از آن نمونهها توسط محلول نایتال ۴ درصد (۹۶ میلیلیتر الکل + ۴ میلیلیتر اسید نیتریک یک مولار) اچ گردید. جهت مطالعات میکروسکوپی، از دستگاه میکروسکوپ نوری Philips مدل BH-2 و دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی OLYMPUS مدل XL 30 استفاده شد. پروفیل سختی از سطح به طرف فلز پایه و در مقطع عرضی پوشش توسط ریز سختی سنجی و با فرو روندهٔ ویکرز با بار اعمالی ۱۰۰ گرم در مدت زمان اعمال ۵ ثانیه به دست آمد. بررسیهای سایشی نیز توسط دستگاه سایش رفت و برگشتی، با استفاده از پینهایی از جنس فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰ و با بار ۱۵۰ ۸ مطابق با استاندارد ASTM G 133-95 انجام شد. جرم از دست داده شده در فواصل ۵۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰ متر توسط ترازوی GIBERTINIE 42 S-B با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازهگیری شد.

۳- نتايج و بحث

۳-۱- بررسیهای ریز ساختاری

شکلهای ۲ و ۳ ریز ساختار فلز پایه و ذرات کاربید سیلیسیوم مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد. دیده می شود، نمونههای اولیه از ساختاری فریت – پرلیتی با دانههای هم محور در محدوده ابعادی ۱۰ تا ۲۰ میکرون برخوردار بوده است. ابعاد ذکر شده برای ذرات کاربیدی تقویت کننده نیز با توجه به تصویر ۳ تأیید گردید. همچنین در جدول ۲ ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده ارائه گردیده است. ملاحظه می شود که ترکیب شیمیایی به خوبی با ساختار میکروسکوپی مشاهده شده در تصویر شکل ۲ تطابق دارد.

شکل ۴ سطح مقطع نمونههای پوشش داده شده را در بزرگنمایی پایین نشان میدهد. تصاویر نشان داده شده در این شکل مشخص میکند که در تمامی نمونهها، سطح و فصل مشترک زیر لایه و پوشش خالی از ترک و حفره است. به عبارت دیگر با استفاده از این روش لایهٔ کامپوزیتی متراکم، با کیفیت و با نفوذ کامل لایهٔ پیش نشانی شده به زیر لایهٔ فولادی به دست آمده است.



نشريه

علوم و فناوري

2 n t



شکل ۳ تصویر میکروسکوپی الکترونی از ذرات پودر SiC مورد استفاده در پوششسازی

فولاد ASTM A106 Gr.B	جدول ۲ ترکیب شیمیایی
----------------------	-----------------------------

Mn	Si	С	عنصر
۰/۴۸	۰/۱۶	•/17	درصد
Ni	S	Р	عنصر
•/\•	۰/۰۰۵	•/••۶	درصد
Fe	Cu	Al	عنصر
بقيه	•/\)	• / • ٣ ١	درصد

نتایج گزارش شده از مطالعات سایر محققین نیز همین نتیجه را در پی داشته است [۱۱]. شکل ۵ تصویر نمادین از نحوه انجماد حوضچه جوش حین انجماد را نشان می دهد. آنگونه که در این تصویر مشاهده میشود، ساختار انجمادی حوضچه جوش تابعی از نرخ سرد شدن مذاب و تفاوت دمایی بین المان مذاب تحت بررسی و مرز حوضچه میباشد [۱۲]. در نمونههای تحت بررسی در این پژوهش، حجم مذاب ایجاد شده در سطح در برابر کل فلز جامد بسیار کم است. لذا محتمل است که در رژیم انجمادی حاصل از این شرایط، سرعت سرد شدن بالای مذاب و در نتیجه آن، رشد دندریتی فاز جامد در جهت عکس انتقال حرارت انجام شود. از سوی دیگر با توجه دمای مذاب در حوضچه (بالای ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد) ذرات کاربید سیلیسیوم قابلیت انحلال در فولاد مذاب را دارند اما فرصت کافی برای این امر وجود ندارد. لذا تنها انحلال جزئی آنها با مکانیزم ذوب ترکیبی پیپ و ساواژ [۱۲] در اینجا محتمل است. بر اساس این مکانیزم با انحلال جزئی ذرات، ترکیب مذاب در فصل مشترک ذرات و فلز تغییر کرده و از سیلیسیوم و کربن غنی خواهد شد. لذا دو رخداد مهم محتمل خواهد بود. نخست آنکه این تغییر در ترکیب موجب افزایش هم سیمایی بین ذرات و زمینه شده و اتصال ذرات با زمینه تقویت شود. و دوم آنکه آهن غنی از سیلیسیم و کربن به صورت فریت غنی از این عناصر به صورت دندریتی رشد کرده و ذرات کاربیدی را در بر بگیرد. بدین صورت پیش بینی می شود، پس از اتمام فرآیند ایجاد پوشش، ذرات کاربیدی اولیه که دارای شکل هندسی بودهاند، با مورفولوژی غیر مسطح و قرار گرفته در میان فاز فریت مشاهده گردند. همچنین شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از ریز ساختار پوشش در بزرگنمایی بالاتر را نشان مىدهد. بررسى اين تصاوير مشخص مىكند كه پوشش ايجاد شده ساختار دندریتی دارد. به نظر میرسد بوجود آمدن این ساختار در نتیجهٔ انجماد سريع مذاب سطحي در طي فرآيند جوشكاري قوسي تنگستن-گاز باشد. زيرا حجم مذاب ایجاد شده در برابر کل فلز جامد مرتبط با آن چندان زیاد نیست. بنابر این قدرت سرد کردن بالایی که زیر لایه از آن برخوردار است، میتواند عامل ایجاد چنین ساختار انجمادی باشد.





شکل ۴ سطح مقطع نمونههای پوشش داده شده در بزرگنمایی کم، الف) نمونه ۲، ب) نمونه ۳، ج) نمونه ۴، د) نمونه ۵، ه) نمونه ۶



شکل ۵ تصویر نمادین از تغییرات حالت انجماد در سرتاسر منطقه ذوب [۱۲]

از سوی دیگر، تفاوت زیاد بین نقطهٔ ذوب آهن و فازهای تشکیل شده در اثر تجزیه کاربید سیلیسیوم میتواند دلیل دیگری در حصول ساختار دندریتی باشد، آن گونه که سایر محققین نیز به آن اشاره داشتهاند [۱۳]. بررسیهای دقیق تر نشان داد، بر اساس پیش بینی، ذرات کاربید سیلیسیوم وارد شده به لایهٔ سطحی در میان شاخههای دندریتی قرار گرفتهاند. تصویر ارائه شده در شکل ۷ حضور مقدار قابل توجه از ذرات کاربید سیلیسیوم در ساختار پوشش را به وضوح نشان میدهد. همچنین دیده میشود، این ذرات که قبل از استفاده، سطحی کاملاً مسطح داشتهاند (شکل ۳) پس از طی فرآیند و قرار گیری در لایهٔ سطحی دارای سطحی غیر یکنواخت و ناصاف شدهاند. این امر در تصویر ارائه شده در شکل ۷ به خوبی مشاهده میشود. این نکته نیز پیش بینی مربوط به مکانیزم انحلال ذرات و ذوب ترکیبی پیپ و ساواژ را به خوبی تایید مینماید.

همچنین در برخی از ذرات کاهش محسوس ابعادی مشاهده میشود. ناصافی سطح ذرات و کاهش ابعاد میتواند به دلیل انحلال بخشی از کاربید سیلیسیوم در آهن باشد. شکل ۸ ریز ساختار بخشی از پوشش ایجاد شده بر روی نمونهٔ ۲ را در بزرگنمایی بالاتر نشان میدهد.



شکل ۶ ریزساختار پوشش سطحی نمونههای مختلف الف) نمونه ۲، ب) نمونه ۳، ج) نمونه ۴، د) نمونه ۵، ه) نمونه ۶



شکل ۷ از ریز ساختار پوشش ایجاد شده بر روی نمونه۲



شکل ۸ ریزساختار پوشش ایجاد شده بر روی نمونه ۲

در این تصویر دانههای فریت، کولونیهای پرلیت و ذرات کاربید سیلیسیوم به خوبی قابل تشخیص هستند. دیده می شود، علیرغم مقدار کربن کم فولاد مورد استفاده، مقدار پرلیت تشکیل شده در پوشش بیش از مقدار مورد انتظار است. حضور این پدیده را می توان به انحلال بخشی از ذرات کاربید سیلیسیوم و ورود کربن به مذاب دانست. از سوی دیگر، در اطراف ذرات کاربید سیلیسیوم ناحیهای از فریت مشاهده می شود که حین اچ شیمیایی بیش از فریت زمینه خورده شده است. این به معنی فعال و ناپایدارتر بودن اتمها در این ناحیه است. این پدیده می تواند به انحلال ذرات کاربید سیلیسیوم در آهن اطراف و تشکیل فریتی حاوی سیلیسیوم و کربن بالاتر از حد حلالیت تعادلی کربن در یک شعاع مشخص در اطراف ذرات باشد. سیلیسیوم از عناصر پایدار کننده فریت است که منطقه پایداری فاز فریت را افزایش می دهد. همانگونه که دیده می شود این امر صحت پیش بینی اولیه در این خصوص را تایید مینماید. نتایج آنالیز EDS از این ناحیه که در شکل ۹ ارائه شده است، نشان میدهد که این مناطق از کربن و سیلیسیوم غنی هستند. این امر توسط سایر محققان نیز گزارش شده است[۱۴]. انحلال سريع سطحى ذرات حين فرآيند، موجب ناصافى سطح ذرات كاربيد سیلیسیوم شده و پیوندهای میکرو مکانیکی این ذرات با زمینه را تقویت نموده است. در حقیقت این پدیده نقش مهمی در ایجاد یک کامپوزیت سطحی و عدم جدایش ذرات حین فرآیند علیرغم تفاوت در چگالی این دو ماده داشته است.



شکل ۹ نتایج آنالیز EDS بخشهایی از پوشش ایجاد شده بر روی نمونه۲: الف) ذرات کاربید، ب) فریت اطراف ذرات ج) سمانتیت اطراف ذرات

۲-۲- نتایج حاصل از آزمون سختی سنجی

نتایج حاصل از ریز سختی پوشش های ایجاد شده در طی این پژوهش در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان گونه که دیده می شود، پوشش های کامپوزیتی تشکیل شده بر سطح به دلیل حضور فاز تقویت کنندهٔ کاربید سیلیسیوم، ورود کربن اضافی به سطح و در نتیجهٔ افزایش میزات پرلیت و نیز دانه های ریز ایجاد شده تحت شرایط انجمادی سریع جوشکاری، از سختی بالایی (در محدوده ۲۰۰۷ – ۲۵۰) برخوردار هستند. این شرایط می تواند مقاومت بالا در برابر سایش را در پی داشته باشد [10].



شکل ۱۰ پروفیل سختی سطح مقطع عرضی نمونههای پوشش داده شده

نمودارهای مربوط به پروفیل سختی پوششها نشان می دهد، با افزایش ذرات تقویت کننده، سختی لایه های ایجاد شده در سطح و در فصل مشتر ک افزایش می یابد. همچنین در خصوص نمونه های ۲، ۵ و ۶ که دارای مقدار یکسان از ذرات تقویت کننده بوده و با شدت جریان های متفاوت جوشکاری تحت عملیات سطحی قرار گرفته اند (طبق جدول ۱)، می توان گفت کاهش حرارت ورودی منجر به کاهش رقت آهن از زیر لایه و ریزتر شدن ساختار شده است. این عوامل باعث افزایش سختی نمونهٔ ۵ نسبت به نمونهٔ ۶ و ۳ و نیز افزایش سختی نمونهٔ ۶ نسبت به نمونهٔ ۳ گردیده است. در این رابطه محققین دیگر [18] نیز نتایج مشابهی را ارائه نموده اند.

۳-۳- رفتار تريبولوژيکی

بررسی رفتار سایشی نمونههای پوشش دهی شده نتایج جالبی را به همراه داشت. شکل ۱۱ نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت طی شده برای نمونههای آزمون سایش را نشان می دهد. مشاهده می شود که با افزایش مسافت طی شده میزان جرم از دست داده شدهٔ نمونهٔ ۱ به شکل پیوسته و بدون نشان دادن رفتار کند شونده، افزایش می یابد. این نتایج با توجه به رفتار سایشی ضعیف فولاد ASTM A106-Gr.B که توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است [۱۷] دور از انتظار نمی باشد.

این در حالی است که در سایر نمونهها و با افزایش سختی، میزان مقاومت در برابر سایش افزایش یافته است. آن گونه که نمودارهای کاهش وزن بر حسب مسافت سایش نشان میدهند، آنچه در میزان مقاومت به سایش نمونهها اهمیت داشته است، مقدار مطلق سختی بوده است. به گونهای که نمونههای شماره ۳، ۵ و ۶ علیرغم برخورداری از مقدار یکسان از ذرات تقویت کنندهٔ کاربیدی در پوشش، مقاومت در برابر سایش متفاوتی را از خود نشان دادهاند. اما دیده میشود با افزایش میزان ذرات سخت کاربیدی و افزایش قابل ملاحظه در سهم این ذرات از سختی کلی پوشش، میزان مقاومت به سایش به مقدار زیاد تقویت شده است.



شکل ۱۱ نمودار کاهش وزن برحسب مسافت طی شده برای نمونههای قرار گرفته تحت آزمون سایش

فاصله نتایج حاصل، خصوصاً در مسافتهای بالا تأیید کنندهٔ این مطلب است که حضور مقدار قابل ملاحظهای از ذرات سخت در لایهٔ سطحی و ایجاد شرایط بهینه فرآیند میتواند موجب افزایش متناسب سختی و مقاومت سایشی شود.

فاصله نتایج حاصل، خصوصاً در مسافتهای بالا تأیید کنندهٔ این مطلب است که حضور مقدار قابل ملاحظهای از ذرات سخت در لایهٔ سطحی و ایجاد شرايط بهينه فرآيند مىتواند موجب افزايش متناسب سختى و مقاومت سایشی شود. شکل ۱۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی حاصل از سطح سایش نمونهٔ شماره ۱ را پس از انجام آزمون سایش نشان میدهد. به نظر میرسد که بخشی از سطح به شکل لایهای از آن جدا شده و بخشی دیگر به صورت ورقههایی بر روی سطح تشکیل شده و در آستانهٔ جدا شدن بودهاند. این امر می تواند بر رخداد مکانیزم سایش ورقهای دلالت داشته باشد. در سایش ورقهای سطح ماده به صورت لایه لایهای تصور میشود که بر اثر فرآیند سایش در تریبوسیستم همانند جداسازی پوسته پوستهای پیاز از سطح جدا می شود. بر طبق طئوری ورقهای شدن، تغییر شکل پلاستیکی برشی، جوانهزنی ترک و اشاعه آن در عمق کوتاهی از سطح پدید آمده که نهایتاً به جدا سازی ورقهای ذرات سایش میانجامد. همچنین در بخشهایی از این سطح سایش، آثار اکسایش سطحی و ایجاد ذرات بسیار ریز اکسیدی مشاهده میشود. شکل ۱۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ذرات سایشی حاصل از آزمون انجام شده بر این نمونه را نشان میدهد. تصویر ارائه شده در شکل ۱۳ حضور همزمان ذرات سایشی ورقهای شکل به همراه ذرات بسیار ریز اکسیدی را نشان میدهد. وجود خردههای سایشی ریز دلالت بر سایش اكسيداسيوني دارد. اين امر تأييد كنندهٔ مكانيزمهاي سايش ورقهاي و اكسايش سطحي به شكل همزمان براي اين نمونه ميباشد.



شکل ۱۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح سایش نمونه ۱



شکل ۱۳ تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از ذرات حاصل از سایش نمونه ۱

چنین پدیدهای در تحقیقات سایر محققان [۱۸] نیز قبلاً گزارش شده است. در ادامه نتایج حاصل از آزمونهای انجام شده بر نمونههای پوشش داده شده تحلیل خواهد شد. شکل ۱۴ تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح سایش نمونهٔ شماره ۲ پس از انجام آزمون سایش را نشان میدهد. دقت در تصویر ۱۴ آثار خراشیدگی و کندگی بر روی سطح را به وضوح نشان نمیدهد. این امر میتواند دلیلی بر آن باشد که با ورود مقدار کم از ذرات کاربید سیلیسیوم (۴ درصد)، علیرغم افزایش در سختی سطح و وجود ذرات سخت در پوشش، سایش خراشان مکانیزم غالب سایش این نمونه نبوده است. یکی دیگر از عمومی ترین مکانیزمهای سایش، مکانیزم چسبان است که در آن ساییده شده و بر روی دیسک، فشرده شده و به آن میچسبد. مکانیزم چسبان، ندرتاً به تنهایی اتفاق میافتد، مگر در مواردی که یک سطح بسیار سخت، در برابر یک سطح با مقاومت سایشی بسیار پایین، قرار گیرد.



شکل ۱۴ تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح سایش نمونه شماره ۲، الف) تصویر بدست آمده از الکترونهای ثانویه، ب) همان تصویر با استفاده از الکترونهای پس پراکنده شده

تشریه علوم و فناوری **کا** *میو ز***یت**

در این شرایط، عموماً مشخصه واضحی در تصاویر ۲ ۹۲ به تنهایی، قابل جستجو نیست و شاید، فقط آثاری از فشرده شدن و لهیدگی، بر روی سطح، قابل مشاهده باشد. در تصویر ۱۴ – ب (BST) حضور دو فاز، مشهود است که احتمال رخداد مکانیزم سایش چسبان وجود دارد. به دلیل ایجاد سطوح تمیز در حین سایش، خصوصاً در نمونههای فلزی، امکان واکنش دهی سطوح مذکور با اتمسفر و مواد در تماس، به شدت فزایش می ابد. عمومی ترین واکنشی که در شرایط مذکور رخ می دهد، اکسیداسیون است. معمولاً نمی توان به نشانه یا مشخصه تصویری خاصی برای مکانیزم سایش اکسیداسیون در تصاویر ESL، اشاره نمود اما در تصاویر BSE، رخداد مکانیزم اکسیداسیون به صورت حضور فاز سیاهرنگی در لبهها قابل مشاهده است که در صورت درست بودن احتمال مکانیزم اکسیداسیون، انجام آنالیز نیز حضور عناصر یکی از سطوح، به علاوه مقادیر قابل توجهی اکسیژن را تایید می ماید. همچنین در شکل ۱۵ تصویر به دست آمده از ذرات سایشی مربوط به همین نمونه نشان داده شده است.

بررسی این تصویر حاکی از آن است که همچنان ذرات اکسیدی و ورقههای فلزی، تشکیل دهندگان محصولات سایش هستند. برای اطمینان بیشتر ذرات ریز حاصل از سایش با استفاده از سیستم EDS میکروسکوپ الکترونی روبشی آنالیز گردیده و نتیجهٔ آن در شکل ۱۶ ارائه شده است.



شکل ۱۵ تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از ذرات حاصل از سایش نمونه ۲



می ۲۰ میباد اندیز دادند درت ریز موجود در درت سایسی عاصل از ارسون بر نمونه شماره ۲

نتيجهٔ آناليز عنصری این ذرات سایشی نشان میدهد آنها از ترکیب

اکسیژن و آهن تشکیل شدهاند. که خود تأیید کنندهٔ رخداد همزمان مکانیزمهای سایش چسبان و اکسایش سطحی میباشد. در این رابطه، بررسیهای ریز ساختاری این نمونهها و کیفیت سطحی حاصل برای ذرات کاربید سیلیسیوم در حین فرآیند، که قبلاً به آن پرداخته شد، تأیید مینماید که ذرات کاربیدی به شکل قابل ملاحظهای با زمینه در پیوند بودهاند. این امر به گونهای بوده است که خروج آنها از سطح سخت و تأثیر گذاری مؤثر بر مکانیزم سایش رخ نداده است.

در ادامه سطوح سایش مربوط به سایر نمونهها بررسی گردید. شکل ۱۷ تصاویر میکروسکوپی الکترونی حاصل از سطح سایش نمونههای گروه ۳، ۴، ۵ و ۶ را نشان میدهد.

تصاویر "ب" و "ج" به نمونه های با سختی بالا مربوط است. آن گونه که در این تصاویر قابل مشاهده است، در سطح سایش آثار کنده شدن لایههای سطحی توام با ترک خوردگی در سطح وجود دارد. سطحی که در معرض سایش چسبان قرار گرفته است دارای سطحی با ظاهر لایهای و دارای حفره است. تغییر رنگ سطح از دیگر نشانههای وقوع این نوع سایش است. با توجه به مسیر سایش دیده می شود که در سطح سایش، مناطقی ایجاد شده که تغییر شکل پلاستیکی در آن رخ داده و در نتیجه این تغییر شکل پلاستیکی، ایجاد اتصالات موضعی در نواحی تماس و از هم گسیختگی این اتصالات در ادامه لغزش است. از این رو می توان نتیجه گرفت مکانیزم غالب در سایش، مکانیزم سایش چسبان بوده و احتمالاً سایش ورقهای و خراشان نیز رخ داده است. البته وجود اين ريز تركها ميتواند نتيجهٔ كار سختي سطحي نيز باشد. این ترکها در صورتی که در مراحل اولیه سایش مشاهده شوند، میتوانند در مراحل بعدی با کاهش شدید جرم همراه شوند. مشاهده ترکها پس از طی مسافت ۱۰۰۰ متر البته مىتواند نشان دهندهٔ مقاومت بالاى پوشش باشد. زیرا تنها به این دلیل است که پس از تحمل مسافت بالای سایشی، این پدیده (ایجاد ترکهای ناشی از کارسختی) در مراحل اولیه خود قرار دارد.

از سوی دیگر دقت در تصاویر "الف" و "د" شکل ۱۷ نشان می دهد، در سطح سایش علاوه بر وجود آثار رخداد مکانیزمهای سایش چسبان و اکسایش سطحی، شیارهای ناشی از خراش سطحی نیز وجود دارد. اما میزان این خراشها چندان زیاد نیست. لذا به نظر می رسد مکانیزم غالب سایش در تمامی نمونهها چسبان بوده و اکسایش سطحی و سایش ورقهای نیز رخ داده



شکل ۱۷ تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی از سطح سایش نمونه ها الف) نمونه ۳. ب) نمونه ۴، ج) نمونه ۵، د) نمونه ۶

^{1.} Secondary electrons

^{2.} Back scattered electrons

welding", Materials and Design, Vol. 47, pp. 828-835, 2013.

- [6] Buytoz, S. and Ulutan, M., "In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying", Surface & Coatings Technology, Vol. 200, pp. 3698-3704, 2006.
- [7] Lin, Y. C., "Microstructure and tribological performance of Ti-6Al-4V cladding with SiC powder", Surface & Coatings Technology, Vol. 205, pp. 5400-5405, 2011.
- [8] Nuri Celik, O. and Ulutun, M., "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, Vol. 206, pp. 1423- 1429, 2011.
- [9] ASTM A-106. Standard specification for seamless carbon steel pipe for high temperature service. USA: ASTM International, 2011.
- [10] Tavares, S. S. M. and Pardal, J. M., "Failure of ASTM A-106 Gr.B tube by creep and erosive wear", Engineering Failure Analyses, Vol. 26, pp. 337-343, 2012.
- [11] Lippold, J. and Koteecki, D., "Welding metalurgy and weld ability of stanless stells", John Wiley & Sons, New York, 2007.
- [12] Buytoz, S., "Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel" Surface & Coatings Technology, Vol. 200, pp. 3734-3742, 2006.
- [13] Sindo, K., Welding Metallurgy, 1987.
- [14] Buchely, M. F. and Gutierrez, J. C., "The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys", Wear, Vol. 259, pp. 52-61, 2005.
- [15] Kia Jamali, N., "Increasing the wear resistance of the surface layer by Friction Stir Process (FSP) on aluminum alloy" In Persian, Fifth Joint Conference of Iranian Metallurgical Engineers Society, 2012.
- [16] Majumdar, J., "Studies on compositionally graded silicon carbide dispersed composite surface on mild steel developed by laser surface cladding", Vol. 203, pp. 505-512, 2008.
- [17] Yang, R. and Liu, Z., "Study of in-situ synthesis TiCp/Ti composite coating on alloy Ti6Al4V by TIG cladding", Vol. 36, pp. 349-354, 2012.
- [18] Lin, Y. C., "Elucidating the microstiucture and wear behavior of tungsten carbide", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, pp. 219-225, 2010.
- [19] Amini, K. and Akhbarizadeh, A., "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, Vol. 45, pp. 316-322, 2013.

در همین رابطه سایر محققان نیز وجود این مکانیزم را تأیید کردهاند [۱۹]. آنچه در این مورد اهمیت دارد آن است که علیرغم وجود ذرات سخت سرامیکی درون زمینهای نسبتاً نرم از فولاد کم کربن، مکانیزم سایش خراشان مکانیزم غالب سایش نبوده است. در این رابطه میتوان، میزان نسبتاً پایین ذرات سخت وارد شده به زمینه و اتصال مناسب بین زمینه و ذرات را عامل این پدیده قلمداد نمود. از سوی دیگر وجود زمینهای نرم حاوی مقدار فریت نسبتاً بالا میتواند عامل چسبندگی موضعی سطح نمونهها به سطوح در تماس و رخداد سایش چسبان باشد.

با عنایت به آنچه تا کنون ذکر گردید، میتوان نتیجه گرفت، تغییر در پارامترهای فرآیند همچون میزان جریان مورد استفاده و سرعت پیشروی میتواند کنترل کنندهٔ حرارت ورودی باشد. نتایج نشان داد تغییر در حرارت ورودی مستقیماً بر میزان انحلال ذرات در حوضچه مذاب، نحوهٔ اختلاط آنها با زمینه و در نتیجه میزان چسبندگی آنها به زمینه موثر است. از سوی دیگر میزان ذرات وارد شده به زمینه و کیفیت و مکانیزم اتصال زمینه به ذرات که تحت کنترل انحلال سطحی ذرات در زمینه است، کنترل کننده خواص مکانیکی و تریبولوژیکی از جمله رفتار سایشی خواهد بود.

۴- نتیجهگیری

اهم نتايج حاصل از اين پژوهش بهصورت زير خلاصه مىشود

- ۱) با استفاده از این شیوه، پوشش و فصل مشترک زیر لایه و پوشش خالی از ترک و حفره قابل دستیابی بود.
- پوشش ایجاد شده دارای ساختاری دندریتی و ریز دانه همراه با تقویت
 کنندههای کاربید سیلیسیوم در نواحی بین دندریتی بود.
- ۳) دامنهٔ سختی پوشش ایجاد شده بر حسب شرایط ایجاد، در محدودهٔ ۶۵۰ تا ۱۲۰۰ ویکرز قرار داشت.
- ۴) افزایش میزان تقویت کنندهٔ کاربید سیلیسیوم و کاهش حرارت ورودی
 منجر به افزایش سختی پوشش شد.
- ۵) رفتار سایشی پوشش ها با افزایش میزان تقویت کننده و کـاهش حـرارت ورودی بهبود یافت.
- ۶) مکانیسم سایش در نمونهٔ بدون پوشش از نوع ورقهای و اکسایش سطحی و در نمونههای پوشش داده شده ترکیبی از مکانیزمهای چسبان، اکسایش سطحی و سایش ورقهای بود.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم میدانند از همکاری مسئولین آزمایشگاههای دانشکده مهندسی مواد دانشگاه آزاد نجفآباد و دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان به خصوص آقایان مهندس عربیان و مهندس مویدی، به سبب همکاری هایشان، تشکر نمایند.

8- مراجع

- Buytoz, S. and Yildirim, M., "Microstructural and microhardness characterstics of gas tungsten arc synthesized Fe-Cr-C coating on AISI 4340", Materials Letters, Vol. 59, pp. 607-614, 2005.
- [2] Udhayabanu, V. and Ravi, K. R., "Synthesis of in-situ NiAl-Al₂O₃ nanocomposite by reactive milling and subsequent heat treatment", Intermetallics, Vol. 18, pp. 353-358, 2010.
- [3] Madadi, F. Ashrafizadeh, F. and Shamanian, M., "Optimization of pulsed TIG cladding process of stellite alloy on carbon steel using RSM", Journal of Alloy and Compounds, Vol. 510, pp. 71-77, 2012.
- [4] Chen, Y. C., " Reinforcements affect mechanical properties and wear haviors of WC clad layer by gas tungsten arc welding" Materials and Design, Vol. 45, pp. 6-14, 2013.
- [5] Lin, Y. C. and Chen, H. M., "Analysis of microstructure and wear performance of SiC clad layer on SKD61 die steel after gas tungsten arc

نشریه علوم و فناوری **کامیو زیت**