



بررسی تأثیر جریان جوش کاری بر ریز ساختار، سختی و مقاومت به سایش رسوب سخت پوشانی بر روی فولاد کربنی

مجید محمدی زیارانی¹، نصراله بنی مصطفی عرب^{2*}، حسن جعفری³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک (ساخت و تولید) دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

3- استادیار، مهندسی مواد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

*تهران، صندوق پستی 163-16785، n.arab@srttu.edu

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 03 تیر 1394

پذیرش: 04 آبان 1394

ارائه در سایت: 07 آذر 1394

کلید واژگان:

سخت پوشانی

جوش کاری

ریز ساختار

ریز سختی

مقاومت سایشی

چکیده

قطعات مهندسی در حین کار در معرض پدیده‌های مخربی نظیر سایش قرار دارند که در نتیجه ممکن است دچار تخریب گردند. لذا برای محافظت از آن‌ها و کاهش هزینه‌های ناشی از تعویض قطعات معیوب و افزایش بهره‌وری، استفاده از جوش کاری به عنوان یکی از راه‌های ایجاد پوشش مقاوم به سایش بر روی قطعات، مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیق حاضر تأثیر جریان جوش کاری بر کیفیت روکش نهایی حاصل از جوش کاری با الکتروود دستی و با استفاده از الکتروود سخت پوشانی پایه آهنی بر روی فولاد کربنی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. ترکیب شیمیایی روکش جوش کاری با استفاده از روش کوانتومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. از میکروسکوپ‌های نوری و الکترون روبشی و آنالیز طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو اشعه X و آزمون پراش پرتو X جهت مطالعه ریزساختار و بررسی فازهای تشکیل شده در روکش و از آزمون‌های ریزسختی سنجی و سایش پین بر دیسک جهت بررسی سختی و مقاومت به سایش روکش نهایی استفاده گردید. نتایج متالوگرافی و پراش پرتو X نشان - دهنده حضور فازهای مارتنزیت و آستنیت باقیمانده در ساختار روکش نهایی است. آنالیز ترکیب شیمیایی، ریزسختی سنجی و سایش نشان داد با افزایش شدت جریان، رقت جوش افزایش یافته و لذا عناصر آلیاژی تأثیرگذار بر سختی و مقاومت به سایش در رسوب جوش کاهش یافته در نتیجه سختی و مقاومت به سایش اندکی کاهش می‌یابد. بررسی سطوح ساییده شده نیز نشانگر آن است که مکانیزم سایش روکش نهایی از نوع سایش خراشان می‌باشد.

Effect of welding current on microstructure, hardness and wear resistance of hardfacing deposit on carbon steel

Majid Mohamadi Ziarani¹, Nasrollah Bani Mostafa Arab^{1*}, Hassan Jafari²

1-Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

2- Department of Materials Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

*P.O.B. 16785-163, Tehran, Iran, n.arab@srttu.edu

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 24 June 2015

Accepted 26 October 2015

Available Online 28 November 2015

Keywords:

Hardfacing

Welding

Microstructure

Microhardness

Wear Resistance

ABSTRACT

Engineering components during service are exposed to destructive phenomena such as wear which may lead to their destruction. For their protection and reduction of costs to replace these defective components and also increasing productivity, attention is given to welding processes for depositing a wear-resistant layer on the components. In this research, the effect of welding current on last layer weld quality deposited on carbon steel by shielded metal arc welding process using Fe-based hardfacing electrodes is investigated. The chemical composition of the weld deposit layers was studied by quantometry. Optical and scanning electron microscopes, energy dispersive X-ray fluorescence and X-ray diffraction were used for microstructural studies. Microhardness and pin on disk wear tests were also employed for microhardness and wear resistance evaluations. The metallography and X-ray diffraction results show presence of martensite and retained austenite in the microstructure of the last deposited weld layer. The results of chemical analysis and microhardness and wear-resistant tests show that increasing the current increases weld dilution which leads to reduction of alloying elements affecting hardness and wear resistance of the weld deposit and hence these properties decrease slightly. Evaluation of the worn surfaces shows that the wear mechanism on the last deposited layer is of abrasive wear type.

1- مقدمه

مقابل سطح جسم دیگر حرکت نسبی دارد [2,1]. این پدیده عمر قطعات را

کاهش داده و هزینه‌ها را افزایش می‌دهد که این امر به نرخ سایش و نوع

کاربرد قطعات نیز بستگی دارد [4,3]. هزینه‌های ناشی از سایش بسیار زیاد

سایش در قطعات صنعتی از جمله مهمترین مشکلات موجود در کاربردهای

مهندسی بوده که عبارت است از کاهش تدریجی ماده از سطح جسمی که در

Please cite this article using:

M. Mohamadi Ziarani, N. Arab, H. Jafari, Effect of welding current on microstructure, hardness and wear resistance of hardfacing deposit on carbon steel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 12, pp. 183-188, 2015 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. Mohamadi Ziarani, N. Arab, H. Jafari, Effect of welding current on microstructure, hardness and wear resistance of hardfacing deposit on carbon steel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 12, pp. 183-188, 2015 (in Persian)

داشته است. با توجه به تمایل بیشتر Ti به کاربیدسازی از شکل گیری بقیه کاربیدها ممانعت به عمل آمده است و یا در تحقیقی دیگر عظیمی و همکارانش [4] به بررسی رفتار سایشی و ریزساختار حاصل از رسوب دو نوع الکتروود پر کربن پر کروم که یکی از آن‌ها حاوی عناصر آلیاژی دیگری نظیر Nb, W, Mo و V نیز بوده است، پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که مقدار زیاد Cr به تنهایی باعث افزایش مقاومت به سایش در لایه‌های روکش نمی‌شود بلکه وجود ترکیب بهینه‌ای از Cr و عناصر آلیاژی کاربیدساز باعث افزایش موثر مقاومت به سایش می‌گردد. در این پژوهش عنوان شده که وجود عناصر Nb و Mo در الکتروود پر کروم نه تنها باعث ایجاد کاربیدهای NbC و استخوان ماهی شکل $(Fe, Mo, Cr)_7C_3$ می‌شود، بلکه باعث تغییر شکل کاربیدها، افزایش سختی و بهبود رفتار سایشی روکش می‌گردد. با توجه به این که تحقیقات بسیار معدودی به بررسی تأثیر پارامترهای جوش کاری بر کیفیت و خواص رسوب نهایی پرداخته‌اند لذا در تحقیق حاضر اثر شدت جریان‌های مختلف در عملیات جوش کاری با روش الکتروود دستی بر کیفیت رسوب نهایی به لحاظ ریزساختاری، سختی و مقاومت به سایش مورد مطالعه قرار گرفته است.

2- روش تحقیق

جهت انجام این پژوهش از فولاد کربنی A516 – Grade 70 که ترکیب شیمیایی آن مطابق آزمون کوانتومتری در جدول 1 درج گردیده است، استفاده شد. تعداد 4 نمونه با ابعاد $11cm \times 11cm \times 1cm$ از این آلیاژ فولادی با استفاده از فرآیند هوا برش، بریده شده و در هوا خنک گردیدند.

برای محاسبه کربن معادل قطعات و بدست آوردن دمای پیش گرم از رابطه (1) استفاده شده است که رقم 0.41 برای کربن معادل این فولاد بدست آمده که مطابق شکل 1 دمای $150^\circ C$ برای پیش گرم کردن قطعه کار انتخاب گردید [10, 11]. دمای بین پاسی نیز در طول فرآیند و برای تمامی نمونه‌ها در محدوده $150 \pm 25^\circ C$ حفظ گردید.

جهت جوش کاری از الکتروود سخت پوشانی پایه آهنی کم آلیاژ AMA1600V معادل DIN855 با ترکیب شیمیایی درج شده در جدول 2 و قطر الکتروود 3.2mm استفاده گردید [12].

قبل از آغاز اجرای فرآیند، به منظور بر طرف کردن زنگ زدگی، کلیه نمونه‌ها تحت عملیات سنگ زنی با دستگاه سنگ مغناطیس قرار گرفته و برای چربی زدایی و تمیزکاری سطح آن‌ها، از محلول استون استفاده شد.

همچنین الکتروودها جهت برطرف کردن رطوبت موجود در روکش، به مدت 2 ساعت در دمای $250^\circ C$ در کوره خشک گردیدند.

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5} + \frac{(\%Cu + \%Ni)}{15} \quad (1)$$

جهت بررسی تأثیر شدت جریان جوش کاری بر کیفیت رسوب نهایی، سه عدد از نمونه‌ها با شدت جریان‌های 100، 120 و 140 آمپر و به صورت تک لایه مورد جوش کاری قرار گرفته و به صورت کامل پوشش داده شدند. فرآیند

بوده و در حدود 1 تا 4% از تولید ناخالص ملی کشورها را در بر می‌گیرد. 85 تا 90% از قطعات از کار افتاده ماشین آلات صنعتی به دلیل سایش سطحی دچار شکست می‌گردند [5]. از لحاظ تئوری از اولین لحظه‌ای که یک قطعه در خط تولید مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، ممکن است در معرض انواع شکل‌های مختلف سایش مواد باشد، اگرچه این سایش به آسانی قابل مشاهده و اندازه گیری نباشد. مکانیزم‌های سایش به پنج گروه کلی تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از: الف) سایش ساینده (خراشان)، ب) سایش چسبنده، ج) سایش فرساینده، د) سایش خستگی و ه) سایش خوردگی. در این بین سایش خراشان متداول ترین مکانیزم سایش است و موقعی بوجود می‌آید که یک سطح سخت و زبر در مقابل سطحی نرم تر حرکت لغزشی داشته و در آن فرو رفته و شیارهایی را به وجود آورد [6-8]. اجرای عملیات سطحی برای بهبود خواص سطحی قطعه، از سال‌های دور مورد توجه بوده که یکی از این فرآیندها، جوش کاری است. در سال‌های اخیر این روش به دلایلی نظیر سهولت در اجرا، در دسترس بودن منابع و امکانات، تنوع در روش‌های جوش کاری، امکان اتصال فلزات مختلف و غیرهمجنس به یکدیگر، تولید و ارائه سیم جوش‌ها و الکتروودها با خواص گوناگون، امکان ایجاد پوشش بر روی انواع فلزات با اندازه و شکل‌های مختلف و پیچیده، سرعت اجرای مناسب، هزینه تمام شده معقول و ... جهت انجام عملیات سطحی مورد توجه زیادی قرار گرفته است [9, 10]. اساساً مواد مورد استفاده در سخت کاری سطحی از لحاظ ریزساختاری شامل رسوبات سخت نظیر بوریدها، کاربیدها یا فازهای بین فلزی می‌باشند که در یک زمینه نرم تر نظیر آهن، نیکل و یا کبالت قرار می‌گیرند. در حقیقت این رسوبات سخت هستند که مقاومت به سایش را در قطعات ایجاد می‌کنند. براساس نوع آلیاژ زمینه، آلیاژهای سخت کاری به دو دسته مواد آهنی کم آلیاژ و پر آلیاژ و مواد غیرآهنی تقسیم بندی می‌شوند. آلیاژهای سخت کاری پایه آهن، عمده ترین آلیاژهای سخت کاری هستند که شامل فولادهای فریتی- بینیتی، فولادهای مارتنزیتی، فولادهای تندبر و فولادهای آستنیتی کم کروم و پر کروم می‌باشد. مواد سخت پوشانی پایه آهنی پر آلیاژ نیز شامل مقدار زیادی کروم، تنگستن و یا مولیبدن بوده که منجر به تولید کاربیدهایی می‌شوند که مقاومت در برابر سایش و ضربه را تأمین می‌کند [6, 9].

عمده تحقیقات صورت گرفته نقش عناصر مختلف آلیاژی را در کیفیت رسوب نهایی مورد مطالعه قرار داده‌اند. به عنوان مثال وانگ و همکارانش [1] به بررسی نقش عنصر Mo در ریزساختار و خواص سایشی روکش سخت پوشانی پرداخته و دریافته‌اند که با افزایش مقدار Mo تا 4% به آلیاژهای سخت پوشانی پایه آهنی، کاربیدهای پیچیده در زمینه مارتنزیتی تشکیل شده و خواص سایشی بهبود یافته است و با افزایش بیشتر محتوای Mo در ریز ساختار ترک‌هایی مشاهده شده است. همین‌طور جیل و همکارانش [3] در بررسی اضافه کردن عنصر Ti به آلیاژ Fe-Cr-C جهت بررسی کیفیت رسوب نهایی چند لایه به این نتیجه رسیده‌اند که با اضافه شدن Ti ذرات ریز TiC در زمینه تشکیل شده که منجر به بهبود استحکام لایه رسوبی نهایی گشته است. در لایه‌های زیرین به دلیل تأثیر رقت، میزان آستنیت باقیمانده افزایش

جدول 1 ترکیب شیمیایی فلز پایه

Table 1 Chemical composition of the base metal

عنصر	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	V	S	P	Fe
مقدار (درصد وزنی)	0.204	0.270	1.120	0.067	0.066	0.002	0.011	0.002	0.002	0.001	باقیمانده

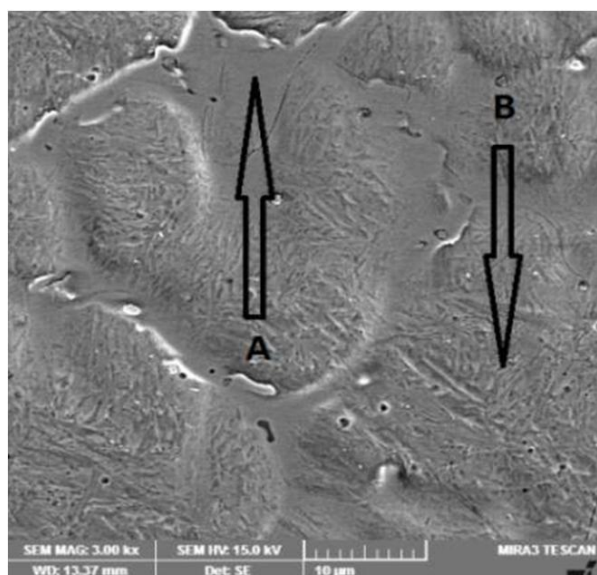
نمونه‌ها از آزمون سایش به روش پین بر دیسک تحت بار 180 نیوتن، مسافت 400 متر و با استفاده از پین جنس آلومینا با سختی 7.5 موهس⁷ و قطر 10mm مطابق با استاندارد ASTM G99، استفاده گردید [14]. برای به-دست آوردن تأثیر افزایش شدت جریان در رقت جوش⁸ از رابطه (3) و از میانگین مجموع رقت‌های بدست آمده برای عناصر کربن، کروم، وانادیوم و مولیبدن استفاده شد [2]. در رابطه (3)، P_{X1} غلظت عنصر X در رسوب نهایی، P_{X2} غلظت عنصر X در الکتروود مصرفی و P_{X3} غلظت عنصر موردنظر در فلز پایه می‌باشد.

$$\%D = \left(\frac{P_{X1} - P_{X2}}{P_{X3} - P_{X2}} \right) \times 100 \quad (3)$$

3- نتایج و بحث

در شکل 2 تصویر میکروسکوپی از ریزساختار حاصل از جوش کاری با سه جریان مختلف 100، 120 و 140 آمپر نشان داده شده است. آن چه در بررسی این تصاویر به نظر می‌رسد شکل‌گیری دو فاز مختلف می‌باشد. قسمت عمده ریزساختار دارای ساختاری سوزنی و تیغه‌ای شکل بوده (شکل 2 الف ناحیه B) که اطراف آن را مناطق فاقد این ساختار احاطه کرده است (شکل 2 الف ناحیه A). در شکل 3 تصویر میکروسکوپ نوری از ریز ساختار فلز پایه نشان داده شده است. همان گونه که مشخص است ریزساختار زمینه شامل فازهای پرلیت (سیاه رنگ) و فریت (سفید رنگ) می‌باشد. با بررسی شکل 3 با تصاویر ریزساختار روکش نهایی در شکل 2 بوضوح تفاوت ساختاری ایجاد شده در لایه نهایی با زیر لایه مشخص است. نتایج آنالیز EDS در شکل 4 حاکی از حضور بسیار زیاد عنصر آهن در ریزساختارها می‌باشد. در قطعات فولادی ساختارهای تیغه‌ای و سوزنی از ویژگی‌های ساختارهای مارتنزیتی و بینیتی می‌باشد [15]. الگوی پراش پرتو X بدست آمده از نمونه جوش کاری شده با شدت جریان 100 آمپر شکل‌گیری فازهای مارتنزیت (شکل 2 الف ناحیه B) و آستنیت (شکل 2 الف ناحیه A) را اثبات می‌کند (شکل 5).

ترکیب شیمیایی رسوب جوش نمونه‌ها نیز در جدول 3 قرار داده شده است. بررسی نتایج آزمون ترکیب شیمیایی نشان می‌دهد که با افزایش شدت جریان از حجم عناصر آلیاژی کاسته شده است که این امر بیانگر تغییر رقت رسوب در نمونه‌های مختلف می‌باشد. جدول 4 نیز نشان دهنده میزان رقت روکش نمونه‌ها است. مطابق نتیجه بدست آمده از محاسبه رقت جوش، مشخص است با افزایش شدت جریان و در نتیجه افزایش میزان حرارت ورودی، میزان رقت به شدت افزایش می‌یابد.



(الف)

7- Mohs hardness
8- Dilution

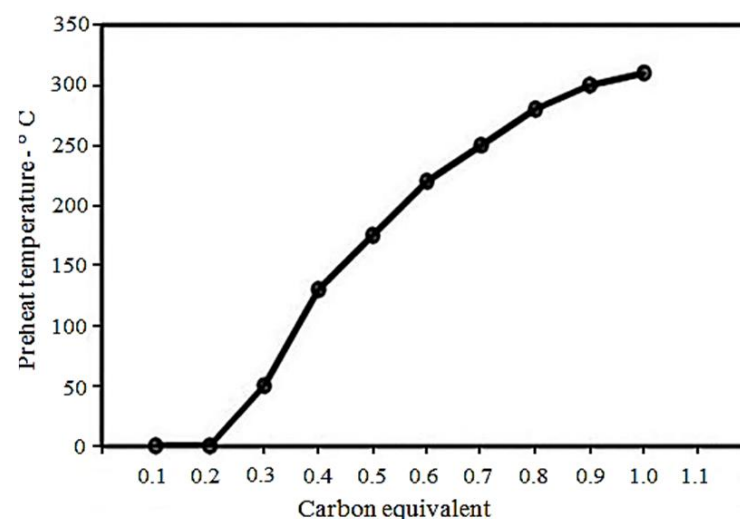


Fig. 1 Calculation of preheat temperature based on carbon equivalent [11]

شکل 1 محاسبه دمای پیش گرم براساس کربن معادل [11]

جدول 2 ترکیب شیمیایی الکتروود سخت پوشانی [12]

Table 2 Chemical composition of hardfacing electrode [12]

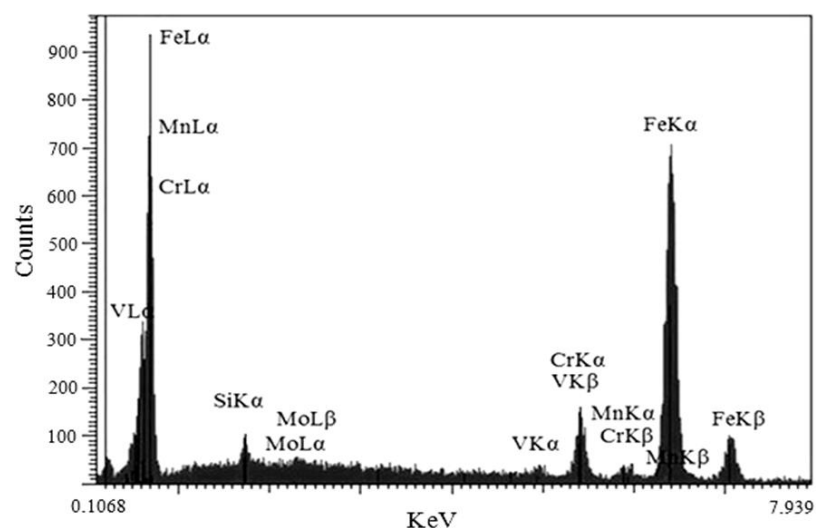
عنصر آلیاژی	C	Cr	Mn	Si	Mo	V
مقدار (درصد وزنی)	< 0.6	7.0	0.3	0.4	0.5	< 0.75

جوش کاری در وضعیت تخت و با ولتاژ ثابت ($V \approx 25V$) انجام شده و زاویه الکتروود با خط افقی حدود 70° تنظیم گردید. سرعت متوسط جوش کاری هر خط جوش در محدوده 168mm/min، 198mm/min و 228mm/min به ترتیب برای شدت جریان‌های 100، 120 و 140 آمپر اندازه‌گیری شد. به این ترتیب مطابق رابطه (2) حرارت ورودی به قطعه کار در تمامی نمونه‌ها حدود 0.68kJ/mm بدست می‌آید. در رابطه (2)، ولتاژ، V ، شدت جریان، I ، سرعت جوش کاری و E میزان بازدهی فرآیند می‌باشد که در فرآیند جوش کاری با الکتروود دستی، 0.75 در نظر گرفته می‌شود [10].

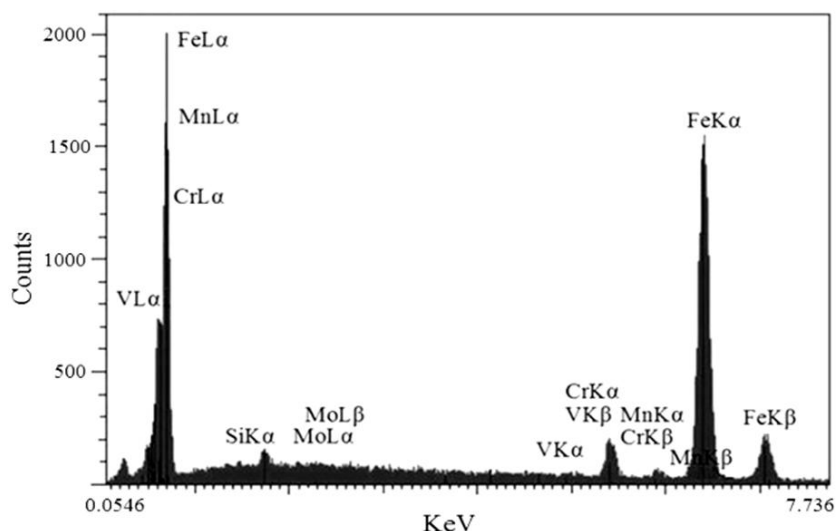
$$Q = \frac{V \times I \times 60}{S \times 1000} \times E \quad (2)$$

نوع قطبیت جوش کاری، برای تمامی نمونه‌ها، قطبیت معکوس با جریان مستقیم¹ در نظر گرفته شد [12]. همپوشانی خطوط جوش موازی با هم بر روی قطعه کار 30 تا 40% در نظر گرفته شده و قطعات پس از جوش کاری در هوا خنک گردیدند. پس از انجام جوش کاری نمونه‌هایی جهت انجام آزمایشات لازم با استفاده از دستگاه وایرکات² برش کاری گردیدند. جهت بررسی و مطالعه ریزساختار، ترکیب شیمیایی و تعیین درصد حجمی فازهای شکل گرفته در روکش، پس از انجام متالوگرافی و حکاکی با محلول نایتال 4% از میکروسکوپ‌های نوری و الکترون روبشی³، نرم‌افزار تحلیل تصاویر میکروسکوپی MIP⁴ و آنالیز EDS⁵ استفاده گردید. ترکیب شیمیایی رسوب ایجاد شده توسط روش آزمون کوانتومتری و پس از سنگ‌زنی سطح نمونه در فاصله حدودا 1.5–1.8mm از سطح و از میانگین سه نقطه مختلف بدست آمد. برای شناسایی فازهای تشکیل شده در رسوب ایجاد شده، از آزمون پراش پرتو X⁶ با دستگاه مجهز به آند مسی و در طیف 10 تا 80 درجه استفاده شد و الگوی بدست آمده توسط نرم‌افزار X'Pert مورد تحلیل قرار گرفت. ریزسختی سطح مقطع نمونه‌ها به روش ویکرز با نیروی اولیه 1kg و با زمان اعمال بار 20 ثانیه مطابق استاندارد ASTM E92 و از میانگین 5 نقطه مختلف، به دست آمد [13]. جهت بررسی خواص سایشی روکش نهایی

- 1- Direct current electrode positive
- 2- Wire cut
- 3- Scanning electron microscopes
- 4- Microstructure image processor
- 5- Energy dispersive X-ray fluorescence
- 6- X-ray diffraction



(الف A)



(ب B)

Fig. 4 EDS analysis of points A and B in welded layer with 100A A) point A, B) point B

شکل 4 آنالیز EDS نقاط A و B در روکش نمونه جوش کاری شده با 100 آمپر (الف نقطه A، ب نقطه B)

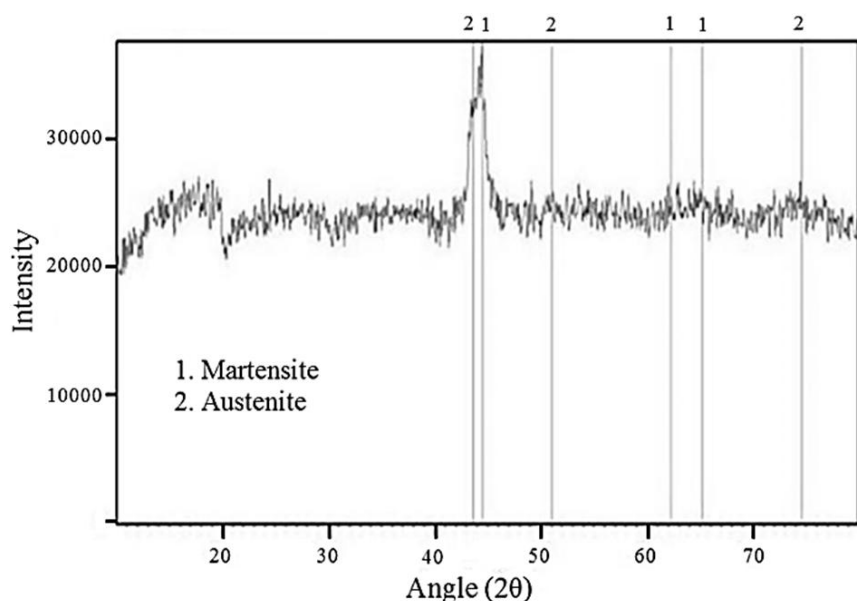
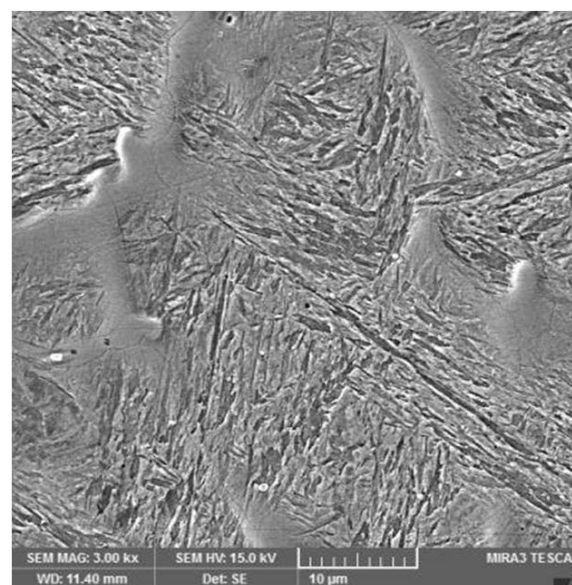
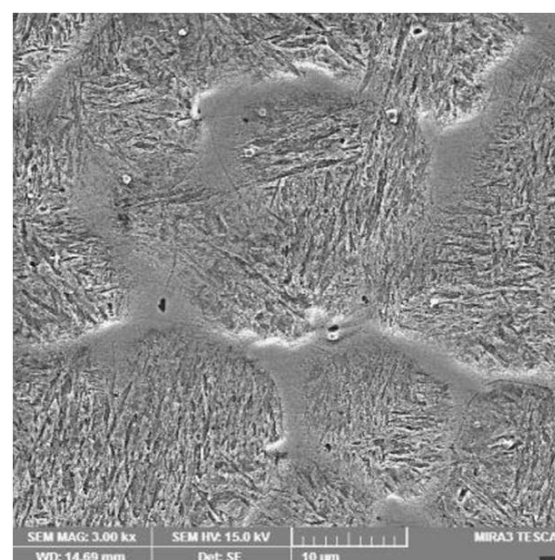


Fig. 5 XRD pattern of weld layer with 100A

شکل 5 الگوی پراش پرتو X روکش نمونه جوش کاری شده با 100 آمپر



(ب B)



(ج C)

Fig. 2 SEM of the welded layers deposited with A) 100A, B) 120A, C) 140A

شکل 2 تصاویر میکروسکوپ الکترونی روکش نمونه های جوش کاری شده با (الف 100 آمپر، ب 120 آمپر، ج 140 آمپر)

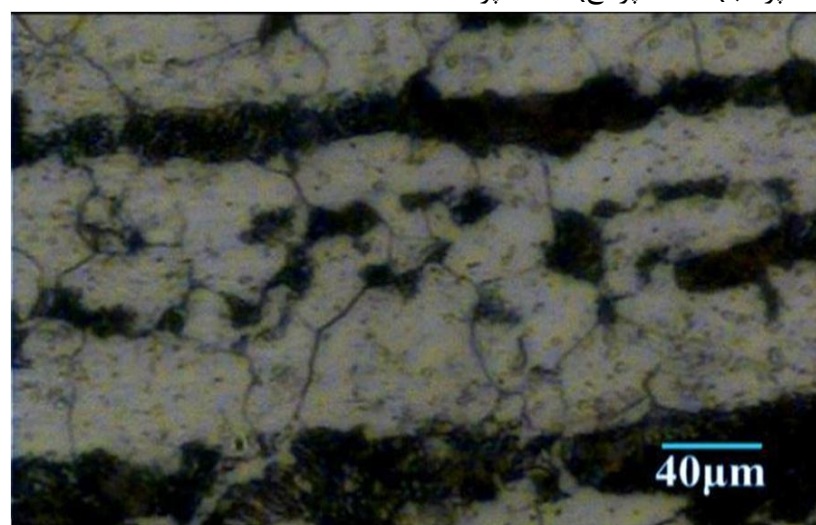


Fig. 3 Microstructure of the base metal A516

شکل 3 ریزساختار فلز پایه A516

جدول 3 ترکیب شیمیایی روکش سه نمونه جوش کاری شده با شدت جریان های مختلف

Table 3 Chemical composition of the three sample layers deposited with different welding currents

Fe	Ti	W	V	Mo	Ni	Cr	Si	Mn	C	نمونه / درصد وزنی
91.19	0.099	0.022	0.725	0.414	0.065	5.404	0.856	0.563	0.527	100 آمپر
92.42	0.067	0.014	0.599	0.377	0.068	4.980	0.705	0.571	0.489	120 آمپر
93.65	0.057	0.010	0.469	0.285	0.063	3.843	0.532	0.619	0.394	140 آمپر

جدول 4 رقت جوش روکش نهایی

Table 4 Percent dilution of last weld layer

نمونه	رقت %
100 آمپر	20.65
120 آمپر	29.88
140 آمپر	47.75

جدول 5 نتایج آزمون ریزسختی

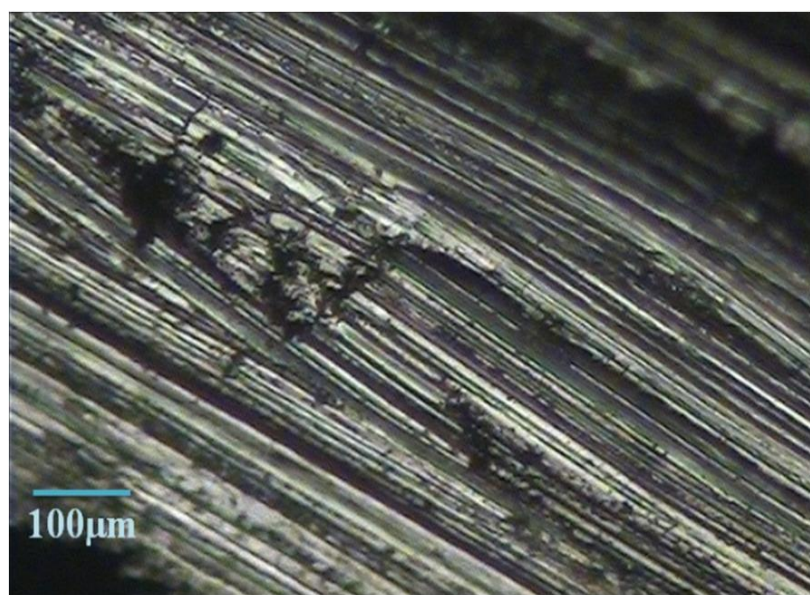
Table 5 Microhardness test results

نمونه	سختی ویکرز
100 آمپر	696
120 آمپر	681
140 آمپر	655
خام	152

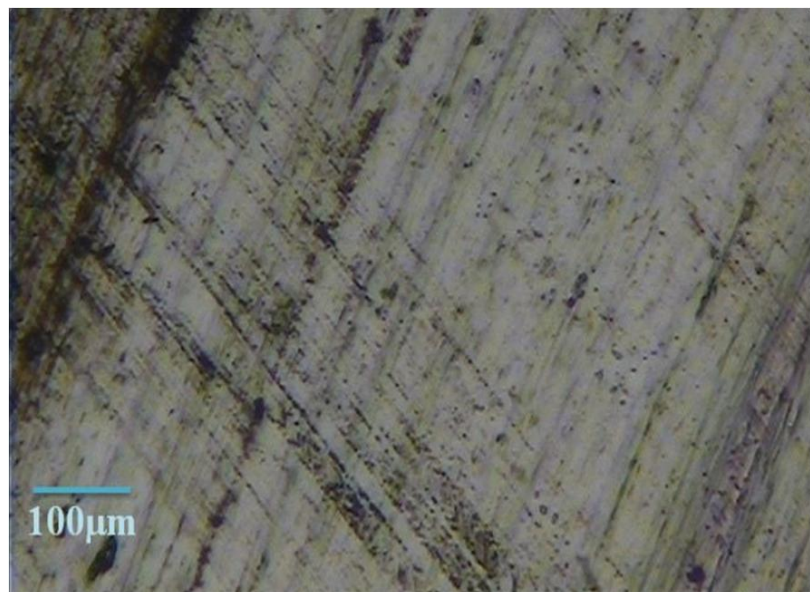
جدول 6 میزان کاهش وزن در آزمون سایش

Table 6 Decrease of weight in wear test

نمونه	کاهش وزن gr
100 آمپر	0.0019
120 آمپر	0.0085
140 آمپر	0.0112
خام	0.1889



(الف)



(ب)

Fig. 6 Worn surfaces in wear test A)raw sample, B)last layer of welded sample with 100A

شکل 6 سطوح ساییده شده در آزمون سایش (الف) نمونه خام (ب) روکش نمونه جوش کاری شده با جریان 100 آمپر

می باشد. شکل 6 ب تصویر سطح ساییده شده نمونه جوش کاری شده با شدت جریان 100 آمپر را نشان می دهد، عمق بسیار کمتر شیارهای ایجاد شده در اثر سایش کاملاً واضح است، به گونه ای که حتی شیارهای ناشی از سنگ زنی سطح قطعه در آماده سازی آن به طور کامل از بین نرفته است. این امر نشان دهنده مقاومت بالای سایشی روکش قطعه جوش کاری شده با این شدت

اثر زمان بر روی خواص نهایی فولادها در تشکیل فازهای مختلف توسط نمودارهای زمان- دما- دگرگونی¹ مشخص می شود. تقریباً تمام عناصر آلیاژی بجز کبالت و آلومینیوم دگرگونی های نفوذی را به تأخیر می اندازند و موجب تأخیر در استحاله فازها می شوند و می توان عنوان نمود نمودار TTT را به سمت راست منتقل می کنند و به این صورت امکان تشکیل فاز مارتنزیت در سرعت های سرد شدن کمتر نیز فراهم می گردد. با توجه به آنالیز ارائه شده در جدول 3 می توان دریافت که عناصر آلیاژی مؤثر در انتقال نمودار TTT به سمت راست، در ترکیب شیمیایی رسوب تمامی نمونه ها وجود دارند که این امر موجب تأخیر در استحاله فاز آستنیت گشته و در نتیجه سرعت نسبتاً بالای سرد شدن حوضچه مذاب جوش، امکان شکل گیری فاز مارتنزیت را فراهم ساخته است [15-19]، اما با توجه به به کار بردن دمای پیش گرم و نیز با توجه به ورود چندین و چندباره سیکل حرارتی در طول فرآیند جوش کاری تمام سطح نمونه، سرعت سرد شدن قطعات کند شده و مقداری فاز آستنیت در نمونه باقیمانده است.

همان طور که از ترکیب شیمیایی مشخص است با افزایش رقت، درصد وزنی عناصر آلیاژی در رسوب جوش کاهش یافته که این امر موجب افزایش دمای شروع تشکیل مارتنزیت و در نتیجه افزایش حجم مارتنزیت تشکیل شده می گردد که این امر می تواند منجر به تغییر سختی روکش نهایی در نمونه های مختلف گردد [15].

نتایج آزمون ریزسختی ارائه شده در جدول 5 نشان می دهد که بالاترین میزان سختی از روکش نمونه جوش کاری شده با شدت جریان 100 آمپر حاصل شده است. این موضوع را می توان به کاهش رقت جوش و نزدیک شدن ترکیب شیمیایی رسوب جوش به ترکیب شیمیایی الکتروود نسبت داد. همچنین نتایج نشان می دهد که با افزایش رقت، میانگین ریزسختی سطح مقطع جوش کاهش می یابد. نتایج ارائه شده نشان می دهد که سختی روکش سخت پوشانی نمونه ها نسبت به فلز پایه با سختی 152 ویکرز بسیار بالاتر می باشد.

جدول 6 نتایج آزمون سایش را نشان می دهد و همان طور که به وضوح دیده می شود کمترین میزان فلز برداشته شده از روی نمونه ها مربوط به نمونه جوش کاری شده با 100 آمپر (کمترین شدت جریان) می باشد که نشان دهنده مقاومت سایشی بالاتر این نمونه است. در مقابل بیشترین میزان فلز برداشته شده و در نتیجه کمترین مقاومت سایشی مربوط به نمونه خام است. مقایسه مقاومت به سایش سه نمونه جوش کاری شده، نشان می دهد که افزایش مقاومت به سایش با کاهش شدت جریان جوش کاری و کاهش رقت جوش رابطه مستقیم دارد.

در شکل 6 الف که تصویر سطح ساییده شده قطعه خام است، شیارهایی با عمق زیاد در سطح دیده می شود و همان طور که مشخص است، مناطقی از سطح قطعه در اثر حرکت پین سخت بر روی آن دچار کندگی شده است. در این نمونه مکانیزم سایش به صورت ترکیبی از سایش خراشان و نیز کندگی

1- Time Temperature Transformation

5 - مراجع

- [1] X.H.Wang, F.Han, X.M.Liu, S.Y.Qu, Z.D.Zou, Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coating, *Material Science and Engineering*, Vol. 489, pp. 193-200, 2008.
- [2] M. MohamadiKhah, H. Sabet, A. HadiZade, S. Mehrabian, N. Mirzade, The effect of dilution of welding layers on microstructure and abrasive wear resistance of Fe-C-Mn based hardfacing alloy on plain carbon steel, *New Materials*, Vol. 1, No. 4, pp. 63-74, 2011. (فارسی)
- [3] A.Jilleh, N.Babu, V.Thota, M.Harun, M.Talari, Microstructural and mechanical properties investigation of TiC reinforced hardface alloy deposited on mild steel substrate, *Transactions of the Indian Institute of Metals*. Vol. 66, pp. 433-436, 2013.
- [4] G. Azimi, M. Shamanian, Weld cladding of low carbon steel with high chromium- high carbon electrodes and evaluation of the microstructure and wear behavior, *Iranian Journal of Surface Science and Engineering*, Vol. 6, pp. 77-84, 2008. (فارسی)
- [5] C.Lin, C.Chang, J.Chen, C.Hsieh, W. Wu, Microstructure and wear characteristics of high-carbon Cr-based alloy claddings formed by gas tungsten arc welding, *Surface and Coating Technology*, Vol. 205, pp. 2090-2096, 2013.
- [6] K. Zarabi Hamedani, *Against mechanical wear in industrial equipment*, pp. 26-39 & 127-140, Raaz-e-Nahan publications, 2011. (فارسی)
- [7] M. Mohamadikhah, H. Sabet, A. Shokoh far, S. Mehrabian, A. Hadizade, Evaluation and comparison of microstructure, hardness and wear resistance of hard composite layer produced by FCAW with content of TiC and TiCN on plain carbon steel, *New Processes on Materials Engineering*, Vol. 4, No. 12, pp. 21-31, 2010. (فارسی)
- [8] J.Stokes, *The Theory and Application of the HVOF Thermal Spray Process*, pp. 1-14: Dublin City University, 2008.
- [9] A. Kokabi, *Welding Technology*, pp. 205-218, Azadeh publications, 2013. (فارسی)
- [10] L. Jeffus, Sh. Gholizade, *Welding Principle and Applications*, pp. 421-425, Tarrah publications, 2011. (فارسی)
- [11] N. Najari, M. Shamanian, A. Saatchi, Hardfacing of stellite 6 on plain carbon steel and evaluation of the effect of a martensitic and austenitic stainless steel interlayer, *Iranian Journal of Surface Science and Engineering*, Vol. 9, pp. 55-65, 2010. (فارسی)
- [12] AMA electrodes catalog. AMA1600-V, 2014.
- [13] *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*, Accessed10, 2015; <http://www.astm.org/Standards/E92>.
- [14] *Standard test method fo wear testing with Pin-On-Disk apparatus*, Accessed 10, 2015; <http://www.astm.org/Standards/G99>.
- [15] M. Golozar, *Principle and Applications of Heat Treatment of Steels*, pp. 57-71 & 83-98, Industrial university of Isfahan, 2012. (فارسی)
- [16] D.Kotecki, J.Ogborn. Abrasion resistance of Iron-based hardfacing alloy, *Welding Journal*, Vol. 74, pp. 269-278, 1995.
- [17] D.Dwivedi, Microstructure and abrasive wear behavior of Iron Base Hardfacing, *Materials Science and Technology*. Vol. 20, pp. 1326-1330, 2004.
- [18] F.Xiao, B.Liao, Effect of deformation on phase transformation of 86CrMoV steel, *Material Characterization*, Vol. 57, pp. 306-313, 2006.
- [19] M. Shahmiri, M. Hoseinion, E. Rahimi, R. Yazdi, Hardfacing of cutting edges by welding process on low alloy steel dies to increase wear and cutting behavior, *9th national seminar on surface engineering and heat treatment*, pp. 1495-1504, Iran university of science and technology, 2008. (فارسی)

جدول 7 درصد حجمی فازهای تشکیل شده

Table 7 The volume percent of formed phases

نمونه	آستنیت (درصد حجمی)	مارتنزیت (درصد حجمی)
100 آمپر	16.5	83.5
120 آمپر	16	84
140 آمپر	15.5	84.5

جریان می باشد، در این تصویر اثری از کندگی نیز دیده نمی شود و می توان نتیجه گیری نمود که مکانیزم سایش خراشان، مکانیزم غالب سایش در روکش نمونه های جوش کاری شده می باشد. جدول 7 میانگین درصد حجمی فازهای مارتنزیت و آستنیت باقیمانده حاصل از آنالیز دو تصویر میکروسکوپی از روکش هر نمونه را بدون در نظر گرفتن حجم آستنیت باقیمانده در لابه لای ساختار مارتنزیتی نشان می دهد.

با مقایسه حجم مارتنزیت تشکیل شده در روکش نمونه ها در جدول 7 و نتایج ریزسختی در جدول 5 می توان عنوان نمود با وجود افزایش اندک حجم مارتنزیت تشکیل شده در اثر افزایش شدت جریان جوش کاری که ناشی از کاهش عناصر آلیاژی و تأثیر آن در دمای شروع تشکیل مارتنزیت می باشد، سختی و مقاومت به سایش کاهش یافته است که این امر ناشی از حضور کمتر عناصر آلیاژی تأثیرگذار بر سختی مارتنزیت نظیر کربن، کروم، مولیبدن و وانادیوم در رسوب جوش می باشد [15].

4 - نتیجه گیری

در این پژوهش اثر جریان جوش کاری در فرآیند جوش کاری با الکتروستاتی سخت پوشانی پایه آهنی بر کیفیت روکش نهایی ایجاد شده بر روی فولاد کربنی مورد ارزیابی قرار گرفت و موارد زیر را می توان نتیجه گیری کرد:

- 1- در رسوب نمونه ها شکل گیری فاز مارتنزیت و مقداری آستنیت باقیمانده مشخص است.

- 2- با افزایش جریان جوش کاری و حرارت ورودی، رقت جوش افزایش می یابد که این امر منجر به کاهش سختی و مقاومت به سایش گردیده است.
- 3- بیشترین سختی در نمونه جوش کاری شده با کمترین شدت جریان، یعنی 100 آمپر با 696 ویکرز می باشد. سختی بسیار بالاتر رسوب نهایی ایجاد شده نسبت به فلز پایه (با سختی 152 ویکرز) به دلیل شکل گیری فاز سخت مارتنزیت و وجود عناصر آلیاژی نظیر کروم، وانادیوم و مولیبدن که تأثیر مثبتی بر سختی پذیری فولاد دارند، می باشد.

- 4- بیشترین مقاومت به سایش در نمونه جوش کاری شده با کمترین شدت جریان، یعنی 100 آمپر می باشد. مقاومت سایشی نمونه ها افزایش حدود 98% نسبت به قطعه خام را نشان می دهد که این امر نشان دهنده مقاومت مناسب فاز مارتنزیت تشکیل شده در شرایط سایشی می باشد.

- 5- مطابق تصاویر میکروسکوپی مکانیزم سایش روکش نمونه های جوش کاری شده از نوع سایش خراشان می باشد.