



بررسی اثر عنصر تیتانیوم بر ریزساختار و خواص مکانیکی پوشش سخت پودری Fe-Ni-C-W

منصور صادقی نسب¹، محمد رضا خانزاده قره شیران^{2*}، عباس سعادت²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
2- استادیار، مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

* شهر مجلسی، صندوق پستی 8631656451، khanzadeh@iaumajlesi.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 1 مرداد 1397
پذیرش: 5 مهر 1397
ارائه در سایت: اسفند 1397

چکیده

در این مقاله اثر عنصر تیتانیوم بر ریزساختار و خواص مکانیکی پوشش سخت پودری Fe-Ni-C-W مورد بررسی قرار گرفت. روکش الکترودهای مورد استفاده توسط ترکیبی از پودرهای آهن، فرو بور، فرو نیکل، فروتیتانیوم، تنگستن و گرافیت ساخته شد. مفتول مورد استفاده از الکتروود 6013 به دست آمد. بررسی نتایج ریزساختاری نشان داد که ریزساختار فلز جوش نمونه 1 شامل زمینه مارتنزیت سوزنی، مناطق آستنیت باقیمانده و کاربیدها بود در حالی که ریزساختار فلز جوش نمونه 2 شامل زمینه آستنیتی (آستنیت معمولی) به همراه مناطق مارتنزیتی و آستنیت باقیمانده و همچنین کاربیدها بود. نتایج آنالیز EDS نشان داد که کاربیدها متشکل از کاربیدهای تیتانیوم و کاربیدهای تنگستن هستند. همچنین برخی از کاربیدهای تنگستن در اطراف کاربیدهای تیتانیوم به وجود آمده است. نتایج آنالیز XRD نشان داد که فازهای موجود در فلز جوش نمونه 1 و 2 شامل آستنیت، مارتنزیت، کاربید تیتانیوم، کاربید تنگستن و اکسید تیتانیوم بود. نتایج حاصل از آزمون ریز سختی سنجی ویکرز نشان داد که در فلز جوش نمونه 1 میانگین سختی مناطق آستنیتی برابر 714 HV و میانگین سختی مناطق مارتنزیتی برابر 804 HV است. همچنین در فلز جوش نمونه 2 میانگین سختی مناطق آستنیتی برابر 334 HV بوده و میانگین سختی مناطق مارتنزیتی برابر 565 HV می‌باشد. نتایج حاصل از آزمون سختی سنجی راکول C نشان داد که میانگین سختی فلز جوش نمونه 1 برابر 42 RC و میانگین سختی فلز جوش نمونه 2 برابر 49 RC است.

کلیدواژگان:

روکش کاری جوشی
کاربید تیتانیوم
سختی سنجی

Effect of Titanium Element on Microstructure and Mechanical Properties of Fe-Ni-C-W powder hardfacing coating

Mansor Sadegi Nasab, Mohammadreza Khanzadeh Gharahshiran^{*}, Abbas saadat

Center for Advanced Engineering Research, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

* P.O.B. 8631656451 shahre majlesi, Iran, khanzadeh@iaumajlesi.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 23 July 2018
Accepted 27 September 2018
Available Online March 2019

Keywords:

Welding coating
Titanium carbide
Hardness testing

Abstract

In this paper, the effect of titanium element on microstructure and mechanical properties of Fe-Ni-C-W powder hardfacing coating was investigated. Electrode coatings were made by a combination of iron, ferro-boron, nickel, ferro-titanium, tungsten and graphite powders. The electrode core was obtained from the E6013 electrode. The results of microstructural analysis showed that the microstructure of the weld metal of specimen 1 included the matrix of needle-like martensitic, residual austenite regions and carbides, while the microstructure of the weld metal of sample 2 consisted of austenite matrix with martensitic and residual austenite regions as well as carbides. The results of the EDS analysis indicated that the carbides consist of titanium carbides and tungsten carbides. There are also some tungsten carbides around titanium carbides. The results of XRD analysis showed that the phases present in the weld metal of samples 1 and 2 were austenite, martensite, titanium carbide, tungsten carbide and titanium oxide. The results of the Vickers microhardness test showed that in the weld metal of sample 1, the average hardness of the austenitic regions is 714 HV and the average hardness of the martensite regions is 804 HV. Also in the weld metal of sample 2, the average hardness of austenite regions is 334 HV and the average hardness of the martensite regions is 565 HV. The results of the Rockwell C hardness test showed that the average hardness of sample 1 weld metal is 42 RC and the average hardness of sample 2 weld metal is 49 RC.

1- مقدمه

در ابزارهای صنعتی که نیاز به مقاومت به سایش بالایی دارند، برای افزایش سختی استفاده می‌شود [2,3]. در این روش با استفاده از یک فرایند جوش کاری لایه نسبتاً ضخیمی که می‌تواند شامل یک فلز با ترکیبات فلزی همراه با افزودنی‌های سخت‌کننده مانند کاربیدها باشد، بر روی سطح ایجاد می‌شود. نقش فرایند جوش کاری به‌عنوان عامل ذوب و امتزاج بوده و

سخت کردن سطحی یکی از روش‌های اصلاح سطح است که برای بهبود خواص سطح بدون تغییر در خواص زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های سخت کردن سطحی پوشش دهی سطح به‌وسیله رسوب‌گذاری جوش می‌باشد [1]. این روش در ابزارآلات صنعتی، کشاورزی، حفاری، و به طور کلی

Please cite this article using:

M. Sadegi Nasab, M.R. Khanzadeh Gharahshiran, A. saadat, Effect of Titanium Element on Microstructure and Mechanical Properties of Fe-Ni-C-W powder hardfacing coating, *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 12-23, 2019 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

این برخی از محققان دیگر به بررسی تاثیر حرارت ورودی بر روی فازهای تشکیل شده و خواص مکانیکی پرداختند. به عنوان مثال اوزل و همکاران به بررسی حرارت ورودی بر روی پوشش‌های جوشی پایه 50FeCrC، 20FeW و 30FeB بر روی فلز پایه AISI 1020 پرداختند و مشاهده کردند که با افزایش حرارت ورودی سختی و مقاومت به سایش کاهش می‌یابد [12]. آلیاژهای آهنی متنوع دیگری نیز به عنوان ساختارهای روکش سخت برای سخت کاری سطحی با استفاده از روش‌های مختلف جوش کاری توسط محققان مورد بررسی قرار گرفته است که به عنوان مثال می‌توان به ساختارهای Fe-C-Nb و Fe-C-B و افزودنی‌هایی مانند W و Y و روش‌هایی مانند لیزر اشاره کرد [13-16]. همچنین برخی محققان به بررسی سخت کاری سطحی توسط روش‌های غیر از جوش کاری مانند روش آلیاژسازی مکانیکی و روش تخلیه الکتریکی پرداخته‌اند [17-19]. این روش‌ها دارای تکنولوژی بالاتری بوده و همچنین هزینه تمام شده بالاتری نیز دارند. اما تحقیقات مشخصی بر روی ساختارهای Fe-Ni-C-W توسط جوش کاری الکترو دستی انجام نشده است. در این تحقیق تاثیر افزودن مقادیر مختلف پودر تیتانیوم بر روی ریزساختار، نوع و توزیع کاربیدهای ایجاد شده در ریزساختار و خواص مکانیکی پوشش سخت پودری Fe-Ni-C-W مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از فلز پایه ساده کربنی St37 به عنوان زیر لایه برای انجام روکش کاری استفاده شد. نمونه‌های فلز پایه به تعداد دو عدد و با ابعاد 100×100×10 mm آماده شدند. الکترودهای مورد استفاده توسط ترکیبی از پودرهای آهن، فرو نیکل، گرافیت، تنگستن و مقادیر متفاوت فروتیتانیوم با نسبت ذکر شده در جدول 1 با تلورانس 0/01 گرم توسط ترازو FX300-EC توزین شدند. البته برخی پودرهای دیگر نیز به منظور بهبود عملکرد سرباره سازی، ایجاد گاز محافظ و پایدار نمودن قوس به مخلوط پودری اضافه شد. این پودرها عبارتند از اکسید تیتانیوم، تیتانات پتاسیوم، خاک رس، اکسید آهن، کربنات کلسیم و... جهت اطمینان از ایجاد مخلوطی کاملاً همگن هر یک از مخلوط‌ها به طور مجزا در یک آسیاب گلوله‌ای ارتعاشی¹ مدل SPEX8000 با گلوله سرامیکی از جنس آلومینا به مدت 60 دقیقه با سرعت 150 دور در دقیقه مخلوط شدند. در مرحله بعد پودرها با 10%

پوشش موردنظر را با بخشی از فلز پایه ذوب کرده و به خوبی با آن یکپارچه می‌کند. انتخاب پارامترهای مناسب جوش کاری جهت ایجاد پوششی مناسب با خواص موردنظر تأثیر بسزایی دارد [4].

آلیاژهای مورد استفاده جهت ایجاد لایه مقاوم بر روی فلزات پایه آهن (فولادهای کربنی و کم آلیاژ) به دو دسته عمده آلیاژهای آهنی و غیر آهنی تقسیم می‌شوند. مهمترین آلیاژهای آهنی به کار رفته برای این منظور آلیاژهای پایه Fe-Cr-C-X (X عنصر کاربیدزا) می‌باشند [5]. مواد مختلفی برای آلیاژسازی سطحی به حوضچه مذاب اضافه می‌شود، انتخاب این مواد آلیاژی به کاربرد آن‌ها بستگی دارد. عناصر آلیاژی همچون کروم، کبالت، کربن، بور، نیوبیوم، تنگستن و مولیبدن از جمله این عناصر هستند [6-9]. آلیاژهای غیر آهنی مورد استفاده نیز به دو دسته آلیاژهای پایه کبالت و آلیاژهای پایه نیکل تقسیم‌بندی می‌شوند. آلیاژهای پایه آهن به علت قیمت مناسب و مقاومت سایشی مناسب‌تر بیشتر مورد توجه قرار دارند. بهبود قابلیت ابزارها و قطعات ماشین آلات و لوازم گوناگون و کاهش نرخ از کار افتادگی و شکست از ویژگی‌های این آلیاژها است

لیو و همکاران در مورد تاثیر کاربیدهای TiC بر روی تشکیل و توزیع ذرات M_7C_3 در ساختار هایپریوتکتوئید Fe-Cr-C که توسط روش روکش کاری جوشی ایجاد شده بود، بررسی‌هایی را انجام دادند [10]. در این تحقیق دو نمونه با و بدون افزودن تیتانیوم تحت روکش کاری جوشی قرار گرفت. این محققان مشاهده کردند که نتایج آنالیز XRD در تطابق با دیاگرام‌های فازی بود و TiC در نمونه با حاوی تیتانیوم تشکیل شد. مطالعات ریزساختاری نشان داد که نمونه حاوی تیتانیوم دارای ذرات ریزتر M_7C_3 در مقایسه با نمونه بدون تیتانیوم بود. همچنین مشاهده شد که کاربیدهای TiC درون ذرات M_7C_3 تشکیل شده‌اند. بنابراین نتیجه گرفتند که کاربیدهای TiC به عنوان مکان‌های جوانه زنی ناهمگن برای ذرات M_7C_3 عمل کرده‌اند و این امر باعث ریزتر شدن ذرات M_7C_3 و همچنین کاهش ترک‌های میکروسکوپی در ساختار شده است. زو و همکاران در مورد مقاومت به سایش پوشش سخت Fe-Cr-C حاوی ذرات کاربید تیتانیوم بررسی‌هایی را انجام دادند [11]. در این تحقیق مقادیر مشخصی تیتانیوم به نمونه‌ها اضافه شد و تحت سخت کاری سختی قرار گرفت و سپس رسوب کاربیدها در روکش مورد مطالعه قرار گرفت. مشاهده شد که با افزایش میزان تیتانیوم، کاربیدهای اولیه کوچکتر شده و همین مورد باعث افزایش سختی و مقاومت به سایش نمونه‌ها می‌شود. علاوه بر

¹ Vibratory Ball Mill

جدول 3 پارامترهای جوش کاری

Table 3 welding parameters

شماره نمونه	نمونه 1	نمونه 2
تعداد پاس	3 پاس	3 پاس
فرایند جوش کاری	SMAW	SMAW
اختلاف پتانسیل (ولت)	27-29	27-29
شدت جریان (آمپر)	380-480	380-480
سرعت جوش کاری (سانتی متر بر دقیقه)	40	40
قطبیت	DCEP	DCEP

آزمون متالوگرافی با استاندارد ASTM E3 انجام شد [20]. بعد از مانع کردن نمونه‌ها توسط مانع سرد، نمونه‌ها ابتدا توسط سمباده‌های 80 تا 3000 پرداخت شد و سپس پولیش نهایی توسط خمیر الماسه انجام گرفت. در ادامه نمونه‌ها توسط محلول نایتال اچ شدند. بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام شد. آزمون پراش پرتو ایکس توسط دستگاه دیفراکتومتر مدل ASENWAR.XRD با اشعه Cu K α انجام شد. آزمایش سختی سنجی را کول طبق استاندارد ASTM E18 توسط دستگاه KOOPA مدل UV1 در مقیاس را کول سی و با وزن 150 کیلوگرم و زمان اعمال بار 10-15 ثانیه انجام شد [21]. همچنین آزمون ریز سختی سنجی ویکرز توسط دستگاه ریز سختی Laizhou Huayin HV-1000A با وزن بار 100 گرم و زمان اعمال بار 10 ثانیه مطابق استاندارد ASTM E 384 انجام شد [22].

3- نتایج و بحث

3-1- بررسی‌های ریزساختاری

ریزساختار میکروسکوپ نوری فلزات پایه در شکل 1 با دو بزرگنمایی مختلف ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ریزساختار به صورت فریتی-پرلیتی همگن می‌باشد. دانه‌های سفید رنگ دانه‌های فریت هستند و نقاط و ردیف‌های تیره رنگ مناطق پرلیتی می‌باشند. وجود پرلیت‌های کشیده شده به دلیل عملیات نورد بر روی فلز پایه St37 می‌باشد.

ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوش نمونه 1 در شکل 2 در دو بزرگنمایی مختلف نشان داده شده است. ریزساختار شامل آستنیت باقیمانده در زمینه مارتنزیت به همراه مناطق نقطه‌ای ریز کاربید می‌باشد. نتایج آزمون کوانتومتری فلزات جوش در جدول 1 آورده شده است. با توجه به وجود کربن به میزان 1/21 درصد در فلز جوش نمونه 1 و همچنین وجود عناصر تسریع‌کننده استحال مارتنزیتی، وجود فاز مارتنزیت در

وزنی چسب سیلیکات سدیم (چسب شیشه) توسط همزن پارویی دستی با سرعت چرخش یکنواخت به مدت 5 دقیقه مخلوط شد و سپس به دور مغز الکتروود 6013 که پوشش اولیه آن به‌طور کامل جداسازی شده بود، پوشش کاری شد. ضخامت پوشش توسط غلطک هایی در طول الکتروود یکسان شد و سپس اندازه گیری ضخامت توسط کولیس انجام گرفت که مقدار آن 3 mm بود. در ادامه الکتروودها جهت پخت در کوره الکتريکی چینی مدل W 2400 Oven 101-1A قرار داده شدند و در دمای 120 درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت تحت پخت قرار گرفتند که استحکام کافی جهت انجام فرایند جوش کاری را داشته باشند. ترکیب شیمیایی فلز پایه، مغز الکتروود 6013 و پودرهای مورد استفاده در جدول 2 آورده شده است. میزان خلوص پودر تنگستن 99 درصد بود.

برای جوش کاری از فرایند جوش کاری SMAW برای هر دو نمونه استفاده شد. سطح هر دو فلز پایه در 3 پاس مورد جوش کاری قرار گرفت. پارامترهای جوش کاری در جدول 3 آورده شده است.

جدول 1 میزان و نوع پودرهای استفاده شده به منظور ساخت پوشش الکتروود

Table 1 The amount and type of powder used to make the electrode coating

جنس پودر	میزان پودر نمونه 1 (گرم)	میزان پودر نمونه 2 (گرم)
آهن	10	10
گرافیت	15	15
فرو بور	15	15
فروتیتانیوم	10	30
نیکل	15	15
تنگستن	5	5

جدول 2 ترکیب شیمیایی فلز پایه و پودرهای مصرفی

Table 2 Chemical composition of base metal and consumed powders

عنصر	درصد وزنی مغز الکتروود E6013	درصد وزنی St37	درصد وزنی گرافیت	درصد وزنی فرو نیکل
C	0/08	0/08	98/5	0/06
Si	0/25	0/18	0/3	0/03
Ni	0/04	-	-	35
P	0/012	0/01	-	0/03
S	0/016	0/01	0/05	0/06
N	-	-	0/01	-
Co	-	-	-	0/8
Mn	0/39	-	-	-
Cr	0/04	-	-	-

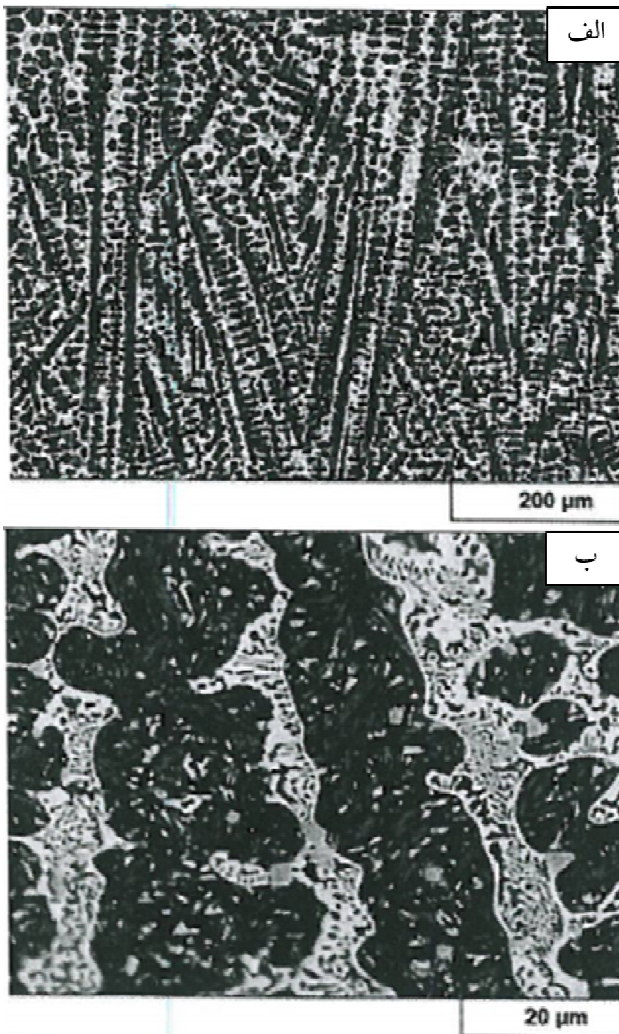


Fig. 2 Optical microscope microstructure of sample 1 weld metal in two different magnifications

شکل 2 ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوش نمونه 1 در دو بزرگنمایی مختلف

اثبات صحت فازهای اشاره شده در ریزساختار در بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی و آنالیز XRD بررسی خواهد شد. با توجه به نتایج کوانتومتری فلز جوش نمونه 2 که در جدول 4 ارائه شده است، مشاهده می‌شود که درصد عنصر فروتیتانیوم در فلز جوش نمونه 2 (9/75 درصد) بیشتر از فلز جوش نمونه 1 (4/54 درصد) است. این امر باعث تشکیل بیشتر کاربید در فلز جوش نمونه 2 شده است. تفاوت دیگر قابل مشاهده در نتایج آنالیز کوانتومتری دو فلز جوش وجود درصد کمتر کربن در نمونه 2 (1/05 درصد) نسبت به نمونه 1 (1/21 درصد) است. این عامل می‌تواند دلیلی بر کمتر بودن آستنیت باقیمانده در فلز جوش نمونه 2 باشد. با کاهش درصد کربن دمای شروع استحاله مارتنزیتی بیشتر شده و در نتیجه میزان آستنیت باقیمانده کمتر خواهد شد.

ریزساختار قابل توجه است. همچنین درصد بالای کربن باعث کاهش دمای شروع استحاله مارتنزیتی شده و در نتیجه آستنیت باقیمانده در ساختار تشکیل می‌شود [23]. وجود عناصر کاربید زا مانند Ti و W نیز باعث به وجود آمدن کاربیدهای ریز در ریزساختار شده است.

ریزساختار فلز جوش نمونه 2 در دو بزرگنمایی مختلف در شکل 3 آورده شده است. ریزساختار در این فلز جوش نیز شامل مارتنزیت، آستنیت و کاربید می‌باشد اما میزان آستنیت در این فلز جوش بسیار بیشتر از فلز جوش نمونه 1 است.

همچنین این آستنیت‌ها که به رنگ سفید و به صورت دانه‌ای در ساختار قابل مشاهده هستند، آستنیت باقیمانده نیستند. آستنیت‌های باقیمانده به رنگ خاکستری و مارتنزیت‌ها به رنگ تیره در ساختار حضور دارند.

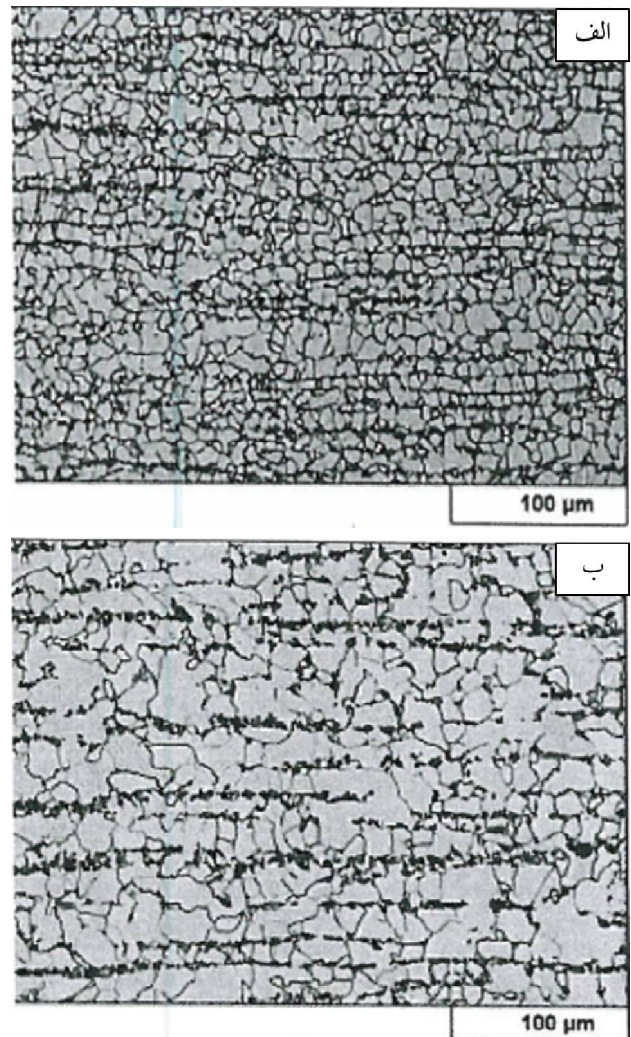


Fig. 1 Optical microscope microstructure of base metals a) sample 1 b) sample 2

شکل 1 ریزساختار میکروسکوپ نوری فلزات پایه. الف) نمونه 1 ب) نمونه 2

وجود درصد بیشتر عنصر نیکل در نمونه 2 نیز به علت اینکه عنصر پایدارکننده فاز آستنیت محسوب می‌شود، می‌تواند دلیلی بر بیشتر بودن فاز آستنیت در نمونه 2 باشد.

به منظور بررسی ریزساختار فصل مشترک روکش - فلز پایه، ریزساختار فصل مشترک فلز پایه St37 و فلز جوش نمونه 2 در شکل 4 ارائه شده است. با دقت در تصویر می‌توان مشاهده نمود که رشد دانه در منطقه HAZ اتفاق افتاده و دانه‌های فلز پایه در ناحیه HAZ بزرگ‌تر شده است. دلیل این موضوع افزایش دما تا نزدیکی نقطه ذوب در این ناحیه می‌باشد. این افزایش دما باعث رشد دانه و بزرگ‌تر شدن اندازه دانه در این ناحیه شده است [24]. پدیده دیگر مشاهده شده وجود دانه‌های تیره رنگ بزرگ در منطقه HAZ نزدیک خط ذوب است. این دانه‌ها دارای ریزساختار پرلیتی می‌باشند. دلیل تشکیل ریزساختار پرلیتی در فصل مشترک می‌تواند به علت مهاجرت کربن از فلز جوش به ناحیه HAZ باشد. در شرایط دمای بالا نفوذ اتم‌ها با سهولت بیشتری انجام شده و در نتیجه، آستنیت موجود در آن ناحیه دارای درصد کربن بالاتری می‌شود و بعد از استحاله یوتکیوئید، میزان پرلیت بیشتری تشکیل می‌شود.

ریزساختار میکروسکوپ الکترونی فلز جوش نمونه 1 در شکل 5 با دو بزرگنمایی مختلف نشان داده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود ریزساختار در این تصاویر نیز متشکل از مناطق مارتنزیت سوزنی (زمینه تیره) مناطق آستنیت باقیمانده (مناطق خاکستری) و کاربیدها (مناطق تیره و سفید) هستند. کاربیدها در ریزساختار به صورت اشکال چند ضلعی و با رنگ متفاوت از زمینه کاملاً قابل تشخیص هستند.

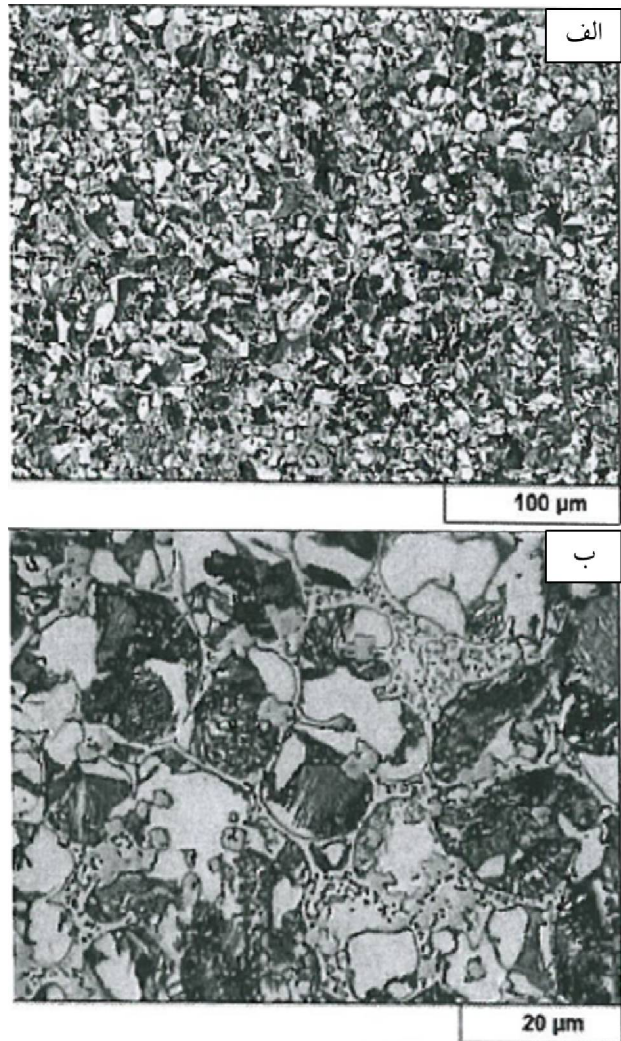


Fig. 3 Optical microscope microstructure of sample 2 weld metal in two different magnifications

شکل 3 ریزساختار میکروسکوپ نوری فلز جوش نمونه 2 در دو بزرگنمایی مختلف

جدول 4 نتایج آنالیز کوانتومتری فلزات جوش

Table 4 Quantometer analysis results of weld metals

عناصر	درصد وزنی (فلز جوش نمونه 1)	درصد وزنی (فلز جوش نمونه 2)
Fe	Rem	Rem
C	1/21	1/05
Ti	4/54	9/75
Si	0/78	0/78
Mn	0/419	0/32
Ni	1/05	3/97
Cr	0/078	1/266
Al	0/041	0/074
W	0/94	0/044
Cu	0/028	0/07
V	0/045	0/11
Nb	0/027	0/163

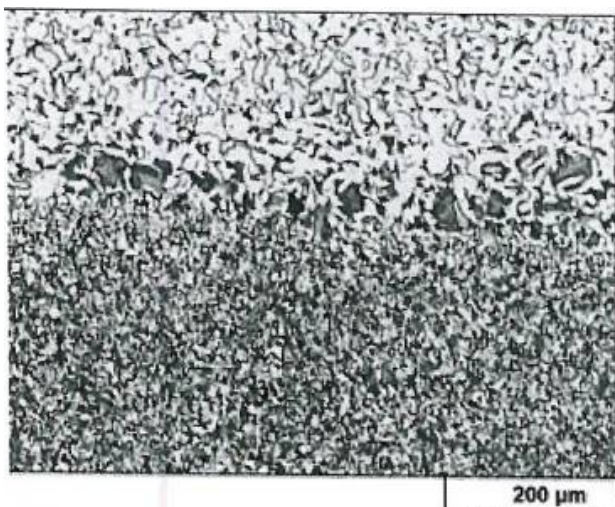


Fig. 4 St37 base metal and weld metal interface microstructure in sample 2

شکل 4 ریزساختار فصل مشترک فلز پایه St37 و فلز جوش در نمونه 2

حقیقت به صورت همگن جوانه زنی کرده‌اند. سپس با کاهش دما در برخی نقاط، این کاربیدهای تیتانیوم تشکیل شده به عنوان مکان‌های جوانه زنی ناهمگن برای کاربیدهای تنگستن عمل می‌کنند [26].

نتایج آزمون EDS از نقطه A و B که در روی شکل 5-ب مشخص شده، در شکل 6 آورده شده است. نقطه A دارای درصد تیتانیوم (52/05 درصد) و تنگستن (22/86 درصد) بالایی می‌باشد که نشان دهنده کاربید بودن این نقطه است. با توجه به اینکه درصد هر دو عنصر کاربیدزا تنگستن و تیتانیوم مقدار بالاییست، می‌توان نتیجه گرفت که این نقاط کاربیدهای کمپلکسی از تیتانیوم و تنگستن می‌باشند. نتایج آنالیز نقطه B (شکل 6-ب) نشان می‌دهد که این نقطه دارای درصد عنصر تیتانیوم بسیار بالایی می‌باشد (77/58 درصد). این موضوع نشان دهنده این است که این نقاط کاربیدهای تیتانیوم هستند.

ریزساختار میکروسکوپ الکترونی فلز جوش نمونه 2 در شکل 7 با دو بزرگنمایی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ریزساختار متشکل از مناطق مارتنزیتی، زمینه آستنیتی و کاربیدها می‌باشد. ریزساختار فلز جوش نمونه 2 کمی متفاوت‌تر از فلز جوش نمونه 1 است. در این ریزساختار زمینه به صورت آستنیتی است و مارتنزیت‌ها دارای حجم کمتر بوده و در مرز دانه‌های آستنیت تشکیل شده‌اند. درصد کاربیدها با نرم‌افزار Image J 11/28 درصد اندازه‌گیری شد.

موضوع قابل توجه وجود دو نوع متفاوت از ریزساختار آستنیتی در تصاویر می‌باشد. آستنیت‌های باقیمانده که مشابه فاز آستنیت موجود در فلز جوش نمونه 1 هستند، در اثر پایین بودن دمای شروع استحاله مارتنزیتی یعنی M_s (به علت بیشتر بودن میزان کربن) و عدم وجود تحت تبرید پایین، تشکیل شده‌اند. فاز مارتنزیت و آستنیت باقیمانده در اثر استحاله از فاز آستنیت به وجود آمده‌اند. اما فاز آستنیت در نتیجه بزرگتر شدن حلقه γ به علت وجود درصد بیشتر نیکل در نمونه 2 (3/97 درصد) نسبت به فلز جوش نمونه 1 (1/05 درصد) به وجود آمده است. نیکل پایدار کننده فاز آستنیت است. در حقیقت هیچ نوع استحاله‌ای بعد از استحاله فریت δ به آستنیت γ در دمای 1493 درجه سانتی‌گراد بر روی این فاز رخ نداده است و این فاز مستقیماً از دمای 1493 درجه سانتی‌گراد تا دمای محیط سرد شده است [27، 23]. علاوه بر این، وجود درصد بالای عنصر تیتانیوم در فلز جوش نمونه 2 باعث کاهش حلقه γ و عدم تشکیل آستنیت نشده است. تیتانیوم از جمله عناصری است که باعث کوچکتر شدن حلقه γ می‌شود [27]. دلیل این موضوع

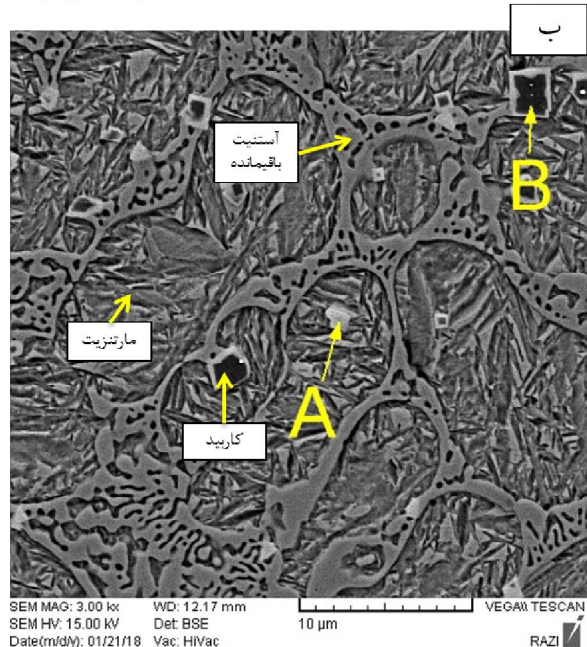
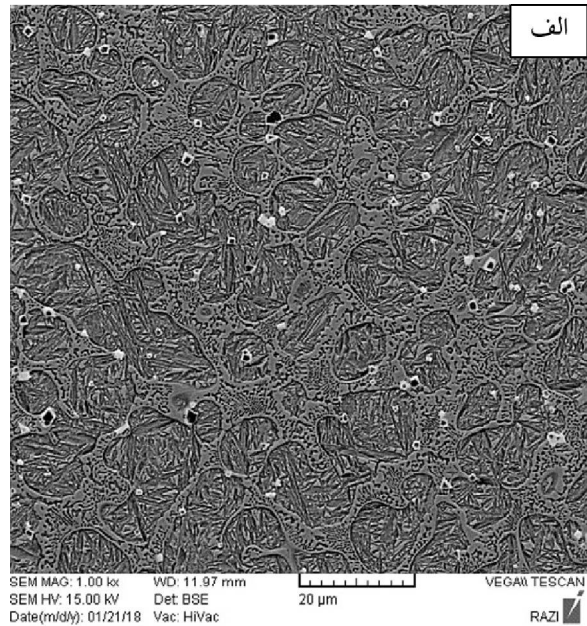


Fig. 5 Electron microscope microstructure of sample 1 weld metal in two different magnifications

شکل 5 ریزساختار میکروسکوپ الکترونی فلز جوش نمونه 1 در دو بزرگنمایی مختلف

همان‌طور که در شکل 5-الف مشاهده می‌شود این کاربیدها به صورت همگن در ساختار توزیع شده‌اند و این امر باعث بهبود خواص مکانیکی می‌شود. درصد کاربیدها با نرم‌افزار Image J 7/32 درصد اندازه‌گیری شد.

با دقت در ریزساختار میکروسکوپ الکترونی مشاهده می‌شود که در برخی موارد کاربیدهای تنگستن در اطراف کاربیدهای تیتانیوم تشکیل یافته‌اند. دلیل این موضوع بیشتر بودن دمای تشکیل کاربید تیتانیوم نسبت به کاربید تنگستن است [25]. کاربیدهای تیتانیوم در ابتدا درون مذاب تشکیل شده‌اند و در

نتایج آنالیز EDS از نقطه A و B مشخص شده در روی شکل 7-ب، در شکل 8 ارائه شده است. نتایج آنالیز EDS نقطه A (شکل 8-الف) نشان دهنده درصد بالایی از عنصر Ti (76/35 درصد) در این نقطه است.

محلول نبودن عنصر تیتانیوم در ریزساختار است. به علت تمایل بالای تیتانیوم به تشکیل کاربید اکثر تیتانیوم موجود در فلز جوش تبدیل به کاربید شده است. اما نیکل به صورت محلول در فلز جوش بوده و باعث افزایش حلقه γ شده است.

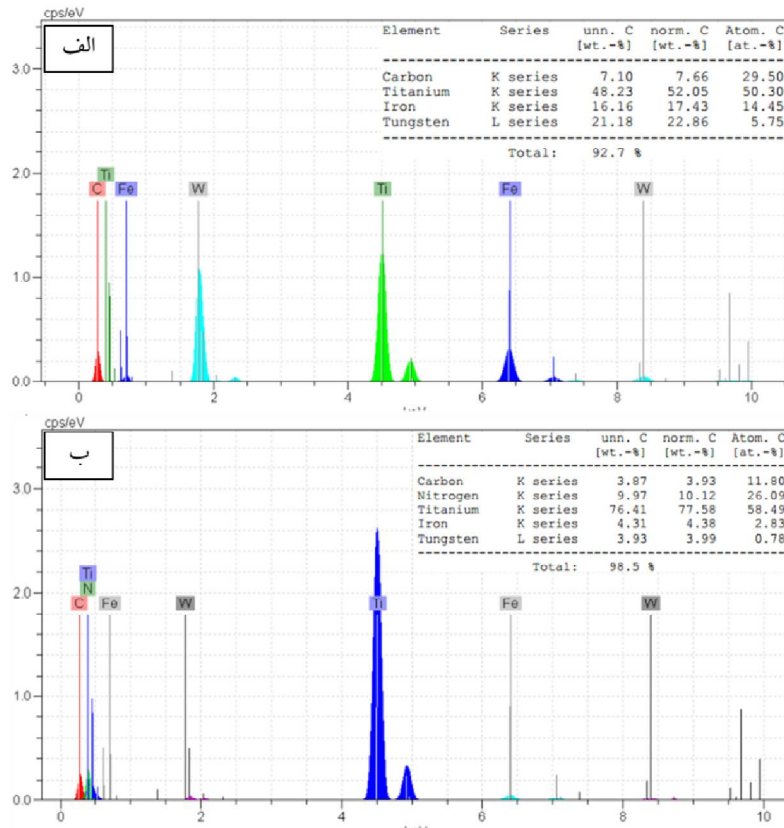


Fig. 6 The results of EDS analysis of the sample 1 weld metal from the points indicated on Fig. 5b. a) Point A, b) Point B

شکل 6 نتایج آنالیز EDS فلز جوش نمونه 1 از نقاط مشخص شده در روی شکل 5 ب. الف) نقطه A ب) نقطه B

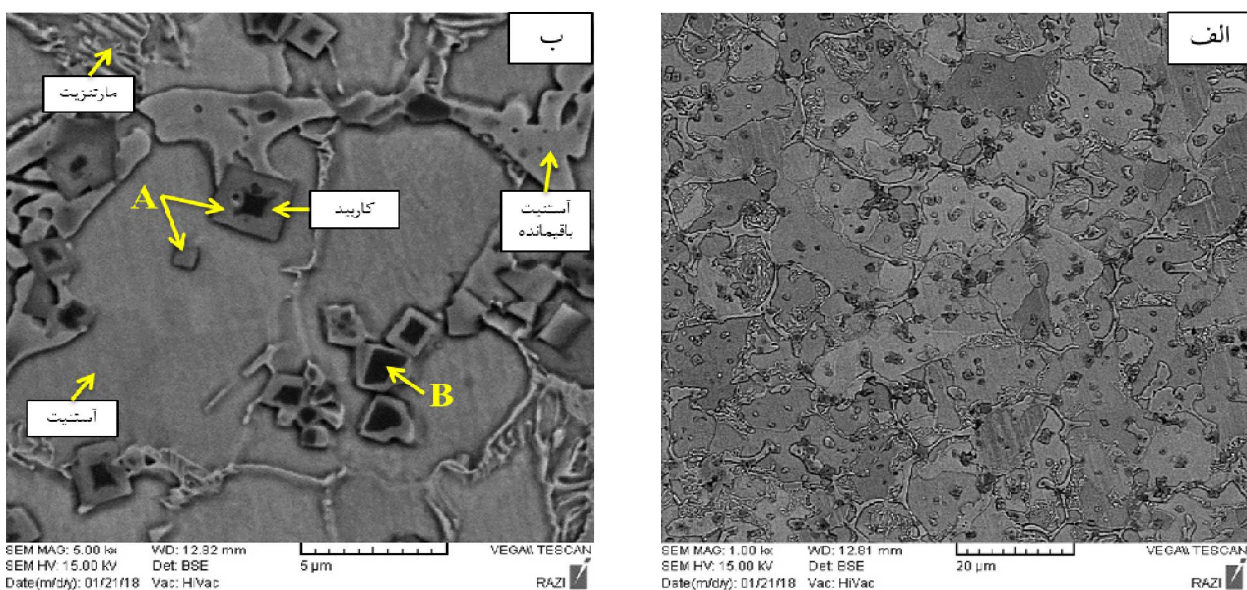


Fig. 7 Electron microscope microstructure of sample 2 weld metal in two different magnifications

شکل 7 ریزساختار میکروسکوپ الکترونی فلز جوش نمونه 2 در دو بزرگنمایی مختلف

آنالیز XRD نمونه 2 با نمونه 1 دارد شدت بالای پیک مربوط به فاز آستنیت است. همان‌طور که در بخش بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت، فاز آستنیت در نمونه 2 دو نوع بود. نوع اول که دارای حجم کمتری بود آستنیت باقیمانده بود و نوع دوم آستنیتی بود که از دمای بالا سرد شده و تحت هیچ استحاله‌ای قرار نگرفته بود. همچنین مشاهده شد که مقدار این فاز در نمونه 2 بیشتر از نمونه 1 بود و میزان فاز مارتزیت نیز کمتر بود. این موارد به خوبی در نتایج آنالیز XRD نیز مشخص است. دلیل ریز بودن پیک‌های مربوط به اکسید و کاربید تیتانیوم و کاربید تنگستن شدت بالای پیک آستنیت (دارای شدت 1271 در ناحیه 44/7 $2\theta =$) است که باعث ریزتر دیده شدن پیک‌های دیگر می‌شود.

3-2- بررسی خواص مکانیکی

نتایج آزمون سختی سنجی ویکرز از فلزات جوش در جدول 5 آورده شده است. آزمون سختی سنجی ویکرز از نواحی مارتزیتی و آستنیتی گرفته شده است. در فلز جوش نمونه 1 میانگین سختی مناطق آستنیتی برابر 714 HV و میانگین سختی مناطق مارتزیتی برابر 804 HV اندازه گیری شد. سختی بالای این مناطق به علت وجود درصد کربن بالا (1/21 درصد) و همچنین سرعت سرد کردن بالای این فلز جوش می‌باشد. در فلز جوش نمونه 2 میانگین سختی مناطق آستنیتی برابر 334 HV و میانگین سختی مناطق مارتزیتی برابر 565 HV می‌باشد. سختی کمتر مارتزیت در این فلز جوش نسبت به فلز جوش نمونه 1 به دلیل کمتر بودن درصد کربن (1/05) فلز جوش نمونه 2 است. اما تفاوت خیلی زیاد سختی مناطق آستنیتی در فلز جوش نمونه 1 و فلز جوش نمونه 2 به دلیل تفاوت نوع آستنیت تشکیل شده در این فلزات جوش است. همان‌طور که در بخش بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی بحث شد، آستنیت‌های تشکیل شده در فلز جوش نمونه یک فقط آستنیت‌های باقیمانده بودند ولی در فلز جوش نمونه 2 علاوه بر آستنیت‌های باقیمانده آستنیت‌های معمولی نیز در ساختار تشکیل شدند. بررسی مطالعات مختلف نشان داد که میزان سختی آستنیت‌های باقیمانده بسیار بیشتر از آستنیت‌های معمولی می‌باشد [30-32].

نتایج آزمون سختی سنجی راکول C از فلزات جوش نمونه 1 و 2 در جدول 6 ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین سختی فلز جوش نمونه 1 برابر RC 42 و میانگین سختی فلز جوش نمونه 2 برابر RC 49 اندازه‌گیری شده است.

اما با توجه به اینکه این نقطه و نقاط مشابه کاملاً تیره نیستند و به رنگ خاکستری می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که این نقاط کاربیدهای خالص تیتانیوم نیستند و کاربیدهای کمپلکس می‌باشند.

نتایج آنالیز EDS از نقطه B (شکل 8-ب) این نقطه دارای میزان تیتانیوم بالاتری (82/44) از نقطه A است و می‌توان گفت که کاربید تیتانیوم می‌باشد. علت دقیق نبودن نتایج می‌تواند به دلیل کوچک بودن کاربیدها و هم‌پوشانی بیم الکترونی با مناطق کناری ناحیه A باشد. با مقایسه رنگ دو کاربید می‌توان نتیجه گرفت که کاربیدهای تیره‌تر دارای میان تیتانیوم بیشتری هستند و کاربیدهای روشن‌تر دارای میزان تیتانیوم کمتری بوده و عناصر کاربیدی دیگری مانند تنگستن در این کاربیدها بیشتر می‌باشند (میزان تنگستن نقطه A برابر 8/67 درصد و میزان تنگستن نقطه B برابر 4/15 درصد). با توجه به سنگین بودن عنصر تنگستن، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نقاط حاوی تنگستن (به شکل کاربید) به رنگ روشن دیده می‌شود. در حقیقت، عنصر تنگستن باعث تابش الکترونی بیشتری از آن نقاط شده و در نتیجه تصاویر آن نقاط روشن‌تر دیده می‌شوند. اما کاربیدهای تیتانیوم دارای رنگ تیره هستند که به علت سبک بودن عنصر تیتانیوم است. این موضوع در نتایج محققان دیگر نیز اثبات شده است [28،29].

در حالت کلی مقایسه کاربیدهای دو فلز جوش نشان می‌دهد که کاربیدهای فلز جوش نمونه 2 دارای میزان تیتانیوم بیشتری نسبت به کاربیدهای فلز جوش نمونه 1 است. این موضوع با مقایسه رنگ کاربیدها نیز قابل دستیابی است. کاربیدهای کمپلکس تشکیل شده در فلز جوش نمونه 2 تیره‌تر از کاربیدهای کمپلکس تشکیل شده در فلز جوش نمونه 1 است. نتایج آنالیز XRD فلزات جوش در شکل 9 ارائه شده است. فازهای موجود در فلز جوش 1 (شکل 9-الف) عبارتند از آستنیت، مارتزیت، کاربید تیتانیوم، کاربید تنگستن و اکسید تیتانیوم. فازهای شناسایی شده توسط این آزمون مطابقت کامل با تصاویر ریزساختاری دارند. بیشترین شدت پیک‌ها مربوط به فاز آستنیت می‌باشد که نشان دهنده بیشتر بودن این فاز در ریزساختار است. شدت پیک‌های کاربید تیتانیوم نیز کمی بیشتر از کاربید تنگستن است. اکسید تیتانیوم در هنگام جوش کاری و در نتیجه عدم محافظت کامل حوضچه جوش کاری توسط گازهای آزاد شده به وجود آمده است. نتایج آنالیز XRD فلز جوش 2 (شکل 9-ب) نشان می‌دهد که فازهای تشکیل شده در این فلز جوش مشابه فلز جوش نمونه 1 می‌باشد. تفاوتی که

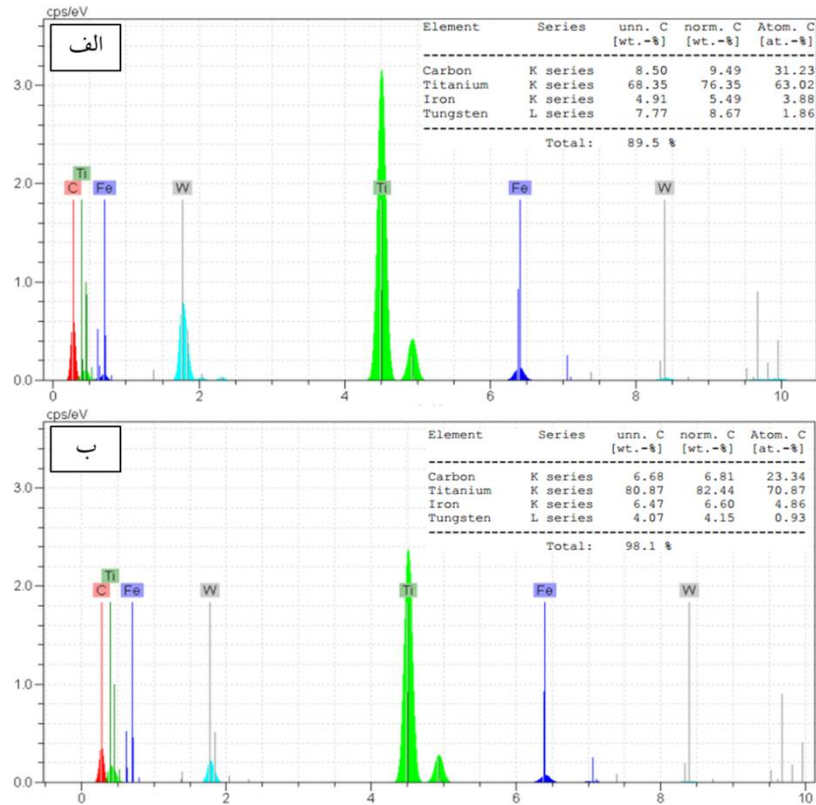


Fig. Results of EDS analysis of the sample 2 weld metal from the points indicated on Fig. 7b. a) Point A, b) Point B

شکل 8 نتایج آنالیز EDS فلز جوش نمونه 2 از نقاط مشخص شده در روی شکل 7 ب. الف) نقطه A ب) نقطه B

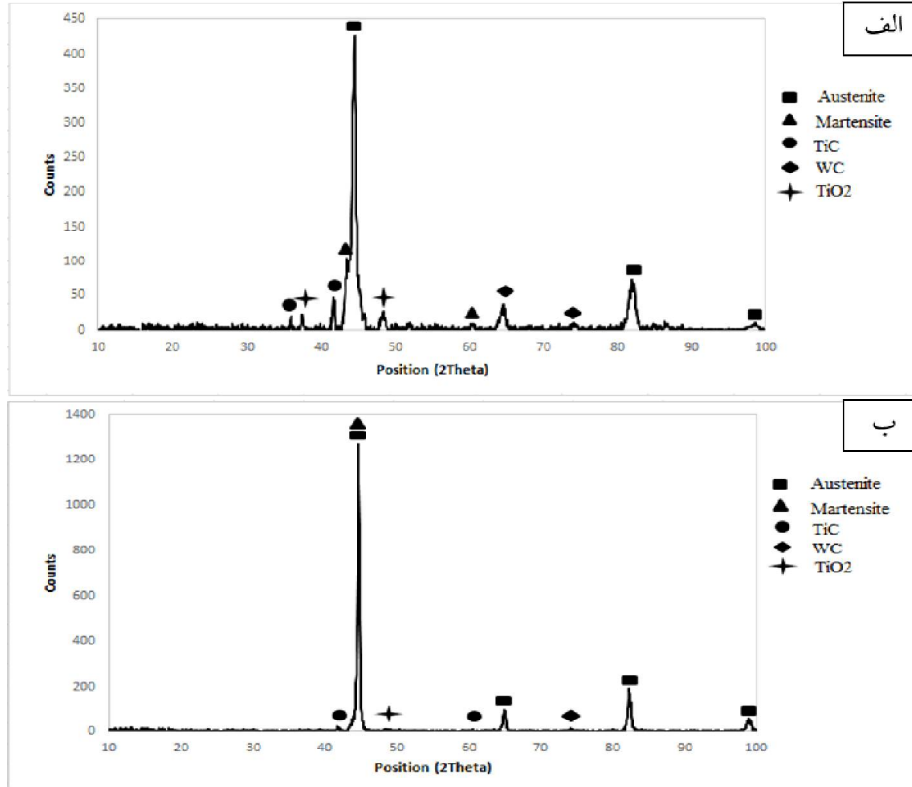


Fig. 9 Results of XRD analysis. a) Sample 1 weld metal b) Sample 2 weld metal

شکل 9 نتایج آنالیز XRD. الف) فلز جوش نمونه 1 ب) فلز جوش نمونه 2

ریزساختار فلز جوش نمونه 2 شامل زمینه آستنیتی (آستنیت معمولی) به همراه مناطق مارتنزیتی و آستنیت باقیمانده و همچنین کاربیدها بود.

- نتایج آنالیز EDS نشان داد که کاربیدها متشکل از کاربیدهای تیتانیوم (مناطق تیره) و کاربیدهای تنگستن (مناطق سفید) هستند. همچنین برخی از کاربیدهای تنگستن در اطراف کاربیدهای تیتانیوم تشکیل شده‌اند که به علت بیشتر بودن دمای تشکیل کاربید تیتانیوم از دمای تشکیل کاربید تنگستن است.

- نتایج آنالیز XRD نشان داد که فازهای موجود در فلز جوش نمونه 1 و 2 شامل آستنیت، مارتنزیت، کاربید تیتانیوم، کاربید تنگستن و اکسید تیتانیوم بود. پیک‌های آستنیت در فلز جوش نمونه 2 بزرگتر از فلز جوش نمونه 1 مشاهده شد.

- نتایج حاصل از آزمون ریز سختی سنجی ویکرز نشان داد که در فلز جوش نمونه 1 میانگین سختی مناطق آستنیتی برابر 714 HV و میانگین سختی مناطق مارتنزیتی برابر 804 HV است. همچنین در فلز جوش نمونه 2 میانگین سختی مناطق آستنیتی برابر 334 HV بوده و میانگین سختی مناطق مارتنزیتی برابر 565 HV می‌باشد.

- نتایج حاصل از آزمون سختی سنجی راکول C نشان داد که میانگین سختی فلز جوش نمونه 1 برابر 42 RC و میانگین سختی فلز جوش نمونه 2 برابر 49 RC می‌باشد. سختی بیشتر در فلز جوش نمونه 2 به علت وجود درصد کاربید بیشتر بود (میزان کاربید در فلز جوش نمونه 2 برابر 11/28 درصد و میزان کاربید در فلز جوش نمونه 1 برابر 7/32 درصد اندازه‌گیری شد).

- با توجه به نتایج بدست آمده فلز جوش نمونه 2 دارای خواص مکانیکی مطلوب‌تری بوده و برای استفاده در صنعت مناسب‌تر می‌باشد.

5- مراجع

- [1] M. Salehi and F. Ashrafzadeh, "Tribology and interface engineering," Iranian Society of Science and Interface Technology, 1995. (In Persian)
- [2] J. Yang, J. Tian, F. Hao, T. Dan, X. Ren, Y. Yang, *et al.*, "Microstructure and wear resistance of the hypereutectic Fe-Cr-C alloy hardfacing metals with different La₂O₃ additives," *Applied Surface Science*, Vol. 289, pp. 437-444, 2014.
- [3] H. Sabet, "The Effect of Chromium and Carbon Density on the Microstructure and Wear Resistance (Fe) Cr (x) C Base Coating Alloys on Carbon Steel

جدول 5 نتایج آزمون سختی سنجی ویکرز از فلزات جوش

Table 5 Vickers micro-hardness test results from weld metals

	فلز جوش نمونه 1		فلز جوش نمونه 2	
	آستنیت	مارتنزیت	آستنیت	مارتنزیت
سختی 1	686	773	339	582
سختی 2	713	839	334	515
سختی 3	742	799	328	598
میانگین	714	804	334	565

جدول 6 نتایج آزمون سختی سنجی راکول C از فلزات جوش

Table 6 Rockwell C micro-hardness test results from weld metals

	فلز جوش نمونه 1		فلز جوش نمونه 2	
	سختی 1	41	46	50
سختی 2	43	42	51	49
سختی 3	42	42	49	49
میانگین	42	42	49	49

باوجود اینکه فلز جوش نمونه 1 دارای مناطق آستنیتی و مارتنزیتی سخت‌تری نسبت به فلز جوش نمونه 2 بود اما نتایج آزمون راکول C نشان داد که سختی کلی فلز جوش نمونه 2 بیشتر از فلز جوش نمونه 1 است. دلیل این امر وجود کاربید تیتانیوم بیشتر در فلز جوش نمونه 2 است. در تست ریزسختی سنجی ویکرز سختی سنجی فقط از مناطق مارتنزیتی و آستنیتی گرفته شده است بنابراین تاثیر کاربیدها در نتایج تست سختی نیابوده شده است. اما در آزمون سختی سنجی راکول C به علت وجود فرورنده بزرگتر تاثیر کاربیدها نیز در نتایج تست سختی نمایان شده و باعث افزایش سختی شده است.

با توجه به اینکه فلز جوش نمونه 2 دارای زمینه نرم‌تر اما سختی ماکرو بالاتر (به علت وجود کاربید بیشتر) از فلز جوش نمونه 1 است، برای استفاده در صنعت در شرایط کاری با سایش بالا مناسب‌تر است. وجود سختی زمینه بالا (فلز جوش نمونه 1) باعث کاهش چقرمگی و افزایش احتمال ایجاد ترک در هنگام استفاده در شرایط سایش زیاد در صنعت می‌شود.

4- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر عنصر تیتانیوم بر ریزساختار و خواص مکانیکی پوشش سخت پودری Fe-Ni-C-W مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

- بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ریزساختار فلز جوش نمونه 1 شامل زمینه مارتنزیت سوزنی (زمینه تیره) مناطق آستنیت باقیمانده (مناطق خاکستری) و کاربیدها (مناطق سفید و تیره) بود در حالی که

- Materials Journal*, Vol. 1, p. 4, 2011. (In Persian فارسی)
- [15] S. Liu, J. Zhang, Z. Wang, Z. Shi, Y. Zhou, X. Ren, *et al.*, "Refinement and homogenization of M7C3 carbide in hypereutectic Fe-Cr-C coating by Y2O3 and TiC," *Materials Characterization*, Vol. 132, pp. 41-45, 2017.
- [16] Y. Kathuria, "Nd-YAG laser cladding of Cr3C2 and TiC cermets," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 140, pp. 195-199, 2001.
- [17] F. Saba, E. Kabiri, J. V. Khaki, and M. H. Sabzevar, "Fabrication of nanocrystalline TiC coating on AISI D2 steel substrate via high-energy mechanical alloying of Ti and C," *Powder Technology*, Vol. 288, pp. 76-86, 2016.
- [18] S. J. Algodí, J. W. Murray, M. W. Fay, A. T. Clare, and P. D. Brown, "Electrical discharge coating of nanostructured TiC-Fe cermets on 304 stainless steel," *Surface and Coatings Technology*, Vol. 307, pp. 639-649, 2016.
- [19] C. Prakash, H. Kansal, B. Pabla, and S. Puri, "Experimental investigations in powder mixed electric discharge machining of Ti-35Nb-7Ta-5Zrβ-titanium alloy," *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 32, pp. 274-285, 2017.
- [20] A. Standard, "E3, Standard guide for preparation of metallographic specimens," *West Conshohocken, PA: ASTM International*, 2001.
- [21] K. Herrmann, *Hardness testing: principles and applications*: ASM International, 2011.
- [22] E. ASTM, "Standard test methods for rockwell hardness and rockwell superficial hardness of metallic materials," 1999.
- [23] M. Golozar, "Principles and application of steels heat treatment," Isfahan University of Technology publishing center, 1999. (In Persian فارسی)
- [24] J. C. Lippold, *Welding metallurgy and weldability*: John Wiley & Sons, 2014.
- [25] B. Uhrenius, "Calculation of the Ti-C, WC and Ti-WC phase diagrams," *Calphad*, Vol. 8, pp. 101-119, 1984.
- [26] M. C. Flemings, "Solidification processing," *Materials Science and Technology*, 2006.
- [27] M. Maalekian, "The effects of alloying elements on steels (I)," 2007.
- [28] Y. Liu, J. Mu, X. Xu, and S. Yang, "Microstructure and dry-sliding wear properties of TiC-reinforced composite coating prepared by plasma-transferred arc weld-surfacing process," *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 458, pp. 366-370, 2007.
- [29] S. Gopalakrishnan and N. Murugan, "Production and wear characterisation of AA 6061 matrix titanium Made with the GTAW Welding Process," *New Materials Journal*, 2010. (In Persian فارسی)
- [4] M. Haroni, "Welding coating of carbon steel with in situ method with TiNi and TiNi-TiC compounds and comparison of their tribological behavior," *Isfahan University of Technology, Faculty of Material Science Engineering*, 2007. (In Persian فارسی)
- [5] L. Zhang, D. Sun, and H. Yu, "Effect of niobium on the microstructure and wear resistance of iron-based alloy coating produced by plasma cladding," *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 490, pp. 57-61, 2008.
- [6] Y. Fei and E. Brosh, "Experimental study and thermodynamic calculations of phase relations in the Fe-C system at high pressure," *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 408, pp. 155-162, 2014.
- [7] M. Gouné, F. Danoix, S. Allain, and O. Bouaziz, "Unambiguous carbon partitioning from martensite to austenite in Fe-C-Ni alloys during quenching and partitioning," *Scripta Materialia*, Vol. 68, pp. 1004-1007, 2013.
- [8] A. Rohrbach, S. Ghosh, M. W. Schmidt, C. H. Wijbrans, and S. Klemme, "The stability of Fe-Ni carbides in the Earth's mantle: evidence for a low Fe-Ni-C melt fraction in the deep mantle," *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 388, pp. 211-221, 2014.
- [9] H. Zhang, Y. Zou, Z. Zou, and D. Wu, "Microstructure and properties of Fe-based composite coating by laser cladding Fe-Ti-V-Cr-C-CeO2 powder," *Optics & Laser Technology*, Vol. 65, pp. 119-125, 2015.
- [10] S. Liu, Y. Zhou, X. Xing, J. Wang, and Q. Yang, "Refining effect of TiC on primary M7C3 in hypereutectic FeCrC harden-surface welding coating: Experimental research and first-principles calculation," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 691, pp. 239-249, 2017.
- [11] Y. Zhou, Y. Yang, J. Yang, P. Zhang, X. Qi, X. Ren, *et al.*, "Wear resistance of hypereutectic Fe-Cr-C hardfacing coatings with in situ formed TiC," *Surface Engineering*, Vol. 29, pp. 366-373, 2013.
- [12] C. Özel and T. Gürgeç, "Effect of heat input on microstructure, wear and friction behavior of (wt.-%) 50FeCrC-20FeW-30FeB coating on AISI 1020 produced by using PTA welding," *PloS one*, Vol. 13, p. e0190243, 2018.
- [13] H. Sabet, "Investigation of microstructure and wear properties of Fe-Cr-C with different Cr/C weight ratio and their comparison," 2009. (In Persian فارسی)
- [14] M. Mohammadikhah "The effect of the dilution of welding pass on the microstructure and the scraping wear resistance of the iron, carbon and manganese base alloy harfacing coating on carbon steel," *New*

- [31] A. Itman Filho, W. d. S. Cardoso, L. C. Gontijo, R. V. d. Silva, and L. C. Casteletti, "Austenitic-ferritic stainless steel containing niobium," *Rem: Revista Escola de Minas*, Vol. 66, pp. 467-471, 2013.
- [32] E. Björklund, "The Influence of Hardness and Retained Austenite on the Fatigue Limit after Shot Peening," ed, 2014.
- carbide particulate reinforced composite by enhanced stir casting method," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 43, pp. 302-308, 2012.
- [30] B. Shaw, "Characterization of retained austenite in case carburized gears and its influence on fatigue performance," in *20 th ASM Heat Treating Society Conference*, 2000, pp. 62-69.