

## فرآیندهای نوین در مهندسی مواد

ma.iaumajlesi.ac.ir

### بررسی اثر عنصر تنگستن بر ریزساختار و خواص مکانیکی پوشش سخت پودری Fe-C-Ni

عادل مصدقیان<sup>۱</sup>، حمید ناظمی<sup>۲\*</sup>، محمدرضا خانزاده قره شیران<sup>۳</sup>، منصور صادقی نسب<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲- استادیار، مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۳- دانشیار، مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۴- دانشجوی دکتری مهندسی مواد، واحد شهرضا، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرضا، ایران.

\* hamidnazemy@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۹	در این مقاله اثر عنصر تنگستن بر ریزساختار و خواص مکانیکی پوشش سخت پودری Fe-C-Ni مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تأثیر عنصر تنگستن بر روی خواص مکانیکی پوشش، میزان پودر تنگستن در دو الکترود ساخته شده به میزان ۱۰ و ۳۰ گرم در نظر گرفته شد. ریزساختار فلزات جوش شامل کاربیدهای ریز در زمینه مارتنزیت سوزنی و آستنیت‌های باقیمانده بود. بررسی‌های میکروسکوپی الکترونی نشان داد که ترک‌های بسیار ریز در فاز مارتنزیت فلز جوش با ۱۰ گرم تنگستن وجود داشت اما این ترک‌های میکروسکوپی در فلز جوش با ۳۰ گرم تنگستن مشاهده نشد. نتایج آنالیز EDS نشان داد که میزان عنصر تنگستن محلول در فاز آستنیت هر دو فلز جوش مقدار بالایی است. این مقدار در فلز جوش با ۳۰ گرم تنگستن حدود ۳/۶۶ درصد بیشتر از فلز جوش با ۱۰ گرم تنگستن بود. نتایج آنالیز XRD نشان داد که فازهای موجود در فلز جوش با ۱۰ گرم تنگستن شامل مارتنزیت، آستنیت و کاربید W <sub>2</sub> C بود اما در فلز جوش با ۳۰ گرم تنگستن علاوه بر این فازها اکسیدهای آهن نیز مشاهده شد. نتایج حاصل از آزمون سختی سنجی نشان داد که میانگین سختی فلز جوش با ۱۰ گرم تنگستن برابر RC ۴۲/۵ و میانگین سختی فلز جوش با ۳۰ گرم تنگستن برابر RC ۴۹/۶ است.

### Investigating the Effect of Tungsten Element on the Microstructure and Mechanical Properties of Fe-C-Ni Hard Coating

Adel Mosadegian<sup>1</sup>, Hamid Nazemi<sup>2\*</sup>, Mohammadreza Khanzadeh Gharahshiran<sup>3</sup>, Mansor SadeghiNasb<sup>4</sup>

1-Master of Material Engineering, Center for Advanced Engineering Research, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2-Assistant Professor, Center for Advanced Engineering Research, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

3-Associate Professor, Center for Advanced Engineering Research, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

4-PhD Student of Material Engineering, Shahreza Branch, Islamic Azad University, Shahreza, Iran.

\* hamidnazemy@yahoo.com

#### Article Information

Original Research Paper

Doi:

10.30495/apme.2021.564781.1768

#### Keywords:

Welding Coating

Tungsten Carbide

Hardness Testing

#### Abstract

In this paper, the effect of tungsten element on microstructure and mechanical properties of Fe-C-Ni hard coating was investigated. Two hard coating electrodes were made with 10 and 30 gr of tungsten powder. The microstructure of the welding metals included fine carbides in the area of needle martensite and residual austenite. Electron microscopy studies showed that there were very fine cracks in the weld metal martensitic phase with 10 gr of tungsten but these microscopic cracks were not found in weld metal with 30 gr of tungsten. The results of the EDS analysis showed that the amount of soluble tungsten element in the austenite phase of both welding metals is high. This amount in weld metal with 30 gr of tungsten was about 3.66% higher than the weld metal with 10 gr of tungsten. The results of the XRD analysis showed that the phases present in the weld metal with 10 gr of tungsten included martensite, austenite and W<sub>2</sub>C carbide, but in the weld metal with 30 gr of tungsten in addition to these phases also iron oxides were observed. The results of hardness test showed that the average hardness of weld metal with 10 gr of tungsten is 42.5 RC and the average hardness of welding metal with 30 gr of tungsten is 49.6 RC.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

#### Please cite this article using:

Mahnaz Karbassi, Saeid Baghshahi, Nastaran Riahi-Noori, Roozbeh Siavash Moakhar, Synthesis of (CZTS) Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Nanoparticles by Hydrothermal Method for Solar Cell Application, New Process in Material Engineering, 2021, 15(2), 83-92.

## ۱- مقدمه

فولادهای ساده کربنی به علت خواص مکانیکی بالا و قابلیت ماشین کاری مناسب، کاربرد فراوانی در ساخت قطعات دارند. از مهم ترین عیوب این دسته آلیاژها پائین بودن مقاومت آنها در برابر سایش و خوردگی است. برای این منظور، فولادهای ساده کربنی اغلب تحت عملیات سطحی قرار می گیرند [۱-۲]. سخت کردن سطحی یکی از روش های اصلاح سطح است که برای بهبود خواص سطح بدون تغییر در خواص زمینه مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش با ایجاد لایه ای سخت و مقاوم به سایش در سطح قطعه، عمر کاری قطعه افزایش داده می شود. انتخاب نوع فرآیند روکش کاری بستگی به عوامل متفاوتی دارد که از آن جمله می توان به نوع آلیاژ سطح خواص مورد نیاز از سطح، ضخامت پوشش و غیره اشاره کرد. یکی از روش های عملیات سطحی جهت افزایش عمر و سختی پذیری قطعات، استفاده از عملیات سخت کاری توسط جوشکاری است. کاربرد این روش برای محافظت از ابزارهای فلزی یا قطعات مهم در برابر سایش می باشد. به عنوان مثال در میله ی کمپرسورها، شیرهای بخار، پیچ های سانتریفیوژ، تیغه های فن، قالب ها و تجهیزات معدنی این روش مورد استفاده قرار می گیرد [۳-۴].

آلیاژهای مورد استفاده جهت ایجاد لایه مقاوم بر روی فلزات پایه آهن (فولاد کربنی و کم آلیاژ) به دودسته عمده آلیاژهای آهنی و غیر آهنی تقسیم می شوند. آلیاژهای پایه آهن به علت قیمت مناسب و مقاومت سایشی مناسب تر بیشتر مورد توجه قرار دارند. بهبود قابلیت ابزارها و قطعات ماشین آلات و لوازم گوناگون و کاهش نرخ از کارافتادگی و شکست از ویژگی های این آلیاژها است. یکی از مهم ترین آلیاژهای سخت کردن سطحی آلیاژ Fe-C-Ni است. مواد مختلفی برای آلیاژسازی سطحی به حوضچه مذاب اضافه می شود، انتخاب این مواد آلیاژی به کاربرد آنها بستگی دارد. عناصر آلیاژی همچون کروم، کبالت، کربن، بور، نیوبوم، تنگستن و مولیبدن از جمله این عناصر هستند [۵-۸]. در تحقیقات انجام شده در زمینه سخت کاری سطحی فولادهای ساده کربنی و فولادهای کم آلیاژ، اثر افزودن عناصر مختلف کاربرد زا در پوشش ایجاد شده بر روی سختی

و مقاومت به سایش مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تحقیقات نشان داد که درصد افزودن عناصر مختلف کاربید زا نیز تأثیر مستقیمی بر روی خواص مکانیکی دارد. ثابت و همکاران در مورد ریزساختار و خواص مکانیکی لایه روکش سخت پایه Fe-C-Nb بر روی فولاد ساده کربنی تحقیقاتی را انجام دادند [۹]. در این تحقیق اثر میزان عنصر نیوبوم بر روی لایه روکش سخت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش نیوبوم در سیستم آلیاژی Fe-C-Nb از مقدار مارتزیت کاسته شده و به مقدار آستنیت زمینه افزوده می شود و همچنین مقدار کاربیدهای NbC در زمینه بیشتر شده و شکل کاربیدها از حالت میله ای به حالت مستقل تغییر می کند. علاوه بر این، با افزایش نیوبوم سختی میکروسکپی و ماکروسکپی لایه های سخت افزایش می یابد. محمدی خواه و همکاران به بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش خراشان خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه Fe-C-B بر روی فولاد ساده کربنی پرداختند [۱۰]. در این تحقیق از فلز پایه فولاد ساده کربنی St52 و فرآیند جوشکاری FCAW به همراه سیم تو پودری حاوی پودر بور استفاده شد. ریزساختار لایه روکش سخت شده شامل فاز Fe<sub>2</sub>B اولیه پرویوتکتیکی به همراه رسوبات FeB و یونکتیک (مارتزیت+آستنیت+Fe<sub>2</sub>B) بود. حضور این فازها سبب افزایش چشمگیر سختی در لایه های ایجاد شده در سطح فولاد ساده کربنی شد. علاوه بر این، مقاومت به سایش خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه بورادی به مراتب بالاتر از فلز پایه اندازه گیری شد. زو و همکاران در مورد سخت کاری سطحی پوشش های پرویوتکتوئید پایه Fe-Cr-C تحقیقاتی را انجام دادند [۱۱]. در این تحقیق از مقادیر مختلف عنصر تیتانیوم به منظور بررسی تأثیر تیتانیوم در میزان افزایش سختی نمونه های سخت کاری سطحی استفاده شد. رسوب کاربیدهای مختلف در روکش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیقات ریزساختاری نشان داد که پوشش ایجاد شده شامل کاربیدهای (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> و فاز زمینه آستنیت بود. با افزایش میزان عنصر تیتانیوم کسر حجمی کاربیدهای MC افزایش یافته و کاربیدهای M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> کاهش می یابد و همچنین کاربیدهای اولیه (Cr,Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub> توزیع و ساختار بهتری

مخلوطی کاملاً همگن هر یک از مخلوط‌ها به‌طور مجزا در یک آسیاب گلوله‌ای ارتعاشی<sup>۲</sup> مدل SPEX8000 با گلوله سرامیکی از جنس آلومینا به مدت ۶۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. در مرحله بعد پودرها با ۲۰٪ وزنی چسب سیلیکات سدیم (چسب شیشه) توسط همزن پارویی دستی با سرعت چرخش یکنواخت به مدت ۵ دقیقه مخلوط شد و سپس به دور مغز الکتروود ۶۰۱۳ که پوشش اولیه آن به‌طور کامل جداسازی شده بود، پوشش کاری شد. ضخامت پوشش توسط غلتک‌هایی در طول الکتروود یکسان شد و سپس اندازه‌گیری ضخامت توسط کولیس انجام گرفت که مقدار آن ۳ mm بود. در ادامه الکتروودها جهت پخت در کوره الکتریکی چینی مدل W 2400 Oven 101-1A قرار داده شدند و در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت تحت پخت قرار گرفتند که استحکام کافی جهت انجام فرآیند جوشکاری را داشته باشند. ترکیب شیمیایی فلز پایه، مغز الکتروود ۶۰۱۳ و پودرهای مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. میزان خلوص پودر تنگستن ۹۹ درصد بود.

جدول (۱): میزان و نوع پودرهای استفاده‌شده به‌منظور ساخت پوشش الکتروود

میزان پودر نمونه ۲ (گرم)	میزان پودر نمونه ۱ (گرم)	جنس پودر
۱۰	۱۰	آهن
۱۵	۱۵	گرافیت
۱۵	۱۵	فرو بور
۳۰	۱۰	تنگستن
۱۵	۱۵	نیکل

جهت جوشکاری از فرآیند جوشکاری SMAW برای هر دو نمونه استفاده شد. سطح هر دو فلز پایه در ۳ پاس مورد جوشکاری قرار گرفت. پارامترهای جوشکاری در جدول ۳ آورده شده است. آزمون با روش سعی و خطا انجام گرفت و بهترین جوش از نظر کیفیت بعد از انجام حدود ۱۰۰ آزمایش به دست آمد. بعد از انجام جوشکاری نمونه‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ میلی‌متر جهت آزمون متالوگرافی تهیه شد. آزمون متالوگرافی در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد با استاندارد ASTM E3 انجام شد [۱۶]. بعد از مانع کردن نمونه‌ها

در ریزساختار ایجاد می‌کنند. در نتیجه مشاهده شد که افزایش تیتانیوم باعث بهبود قابل توجه مقاومت به سایش پوشش ایجادشده می‌شود. تحقیقات دیگری نیز در زمینه سخت کاری سطحی توسط روش‌های دیگر جوشکاری مانده جوشکاری زیرپودری و تشکیل کاربیدهایی مانند TiC صورت گرفت [۱۲-۱۳].

در زمینه پوشش دهی بر روی فلزات تحقیقات بسیاری در سراسر دنیا انجام شده است. هدف از این تحقیقات بهبود خواص سطح از جمله خواص خوردگی، سایشی و سختی بوده است. همچنین روش‌های ایجاد پوشش بر روی سطح از تنوع زیادی برخوردار است که از آن جمله می‌توان به روش‌های قدیمی‌تر مانند روش‌های مکانیکی و روش‌های نوین مانند لیزر و پلاسما اشاره کرد [۱۴-۱۵]. مسئله‌ای که در تمام فرآیندهای پوشش دهی باید در نظر گرفت این است که خواص فلز پایه بدون تغییر بماند و تنها خواص سطح با توجه به نیاز، تعیین شود. در این تحقیق سخت کاری سطحی پوشش پایه Fe-Ni-C به همراه افزودن مقادیر متفاوتی از عنصر تنگستن و تأثیر کاربیدهای ایجادشده بر روی ریزساختار و خواص مکانیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

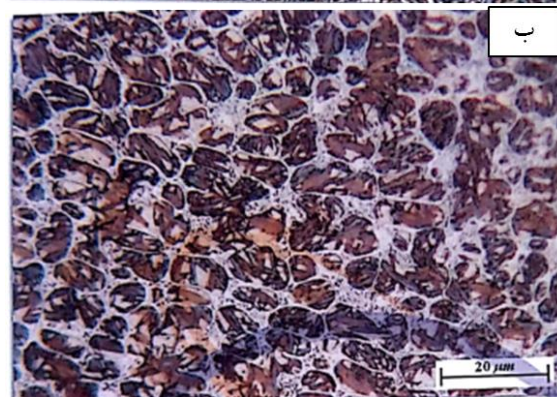
## ۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق از فلز پایه ساده کربنی St37 به‌عنوان زیر لایه جهت انجام روکش کاری استفاده شد. نمونه‌های فلز پایه به تعداد دو عدد و با ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ mm توسط گیوتین برشکاری شد. تمیزکاری سطح و رسوب‌زدایی توسط برس سیمی و سولفوریک اسید انجام شد. همچنین قبل از انجام فرآیند روکش کاری چربی‌زدایی توسط استون نیز انجام شد. الکتروودهای مورد استفاده توسط ترکیبی از پودرهای آهن، فرو نیکل، گرافیت و مقادیر متفاوت تنگستن با نسبت ذکرشده در جدول ۱ با تلورانس ۰/۰۱ گرم توسط ترازو FX300-EC توزین شدند. البته برخی پودرهای دیگر نیز به‌منظور بهبود عملکرد سرباره‌سازی، ایجاد گاز محافظ و پایدار نمودن قوس به مخلوط پودری اضافه شد. این پودرها عبارت‌اند از اکسید تیتانیوم، تیتانات پتاسیوم، خاک رس، اکسید آهن، کربنات کلسیم و... جهت اطمینان از ایجاد

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- بررسی‌های ریزساختاری

ریزساختار میکروسکوپ نوری فلزات جوش روکش کاری شده در شکل ۱ نشان داده شده است. ریزساختار شامل کاربیدهای ریز در زمینه مارتنزیت سوزنی و آستنیت‌های باقیمانده است. مارتنزیت‌ها در ریزساختار به رنگ تیره و آستنیت‌های باقیمانده به رنگ سفید قابل مشاهده هستند. ریزساختار تشکیل شده با توجه به نتایج داده‌های کوانتومتری قابل توجیه است. نتایج آزمون کوانتومتری فلزات جوش در جدول ۴ آورده شده است.



شکل (۱): ریزساختار فلز جوش (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۲

جدول (۴): نتایج آزمون کوانتومتری از فلزات جوش

عنصر	درصد وزنی نمونه ۱	درصد وزنی نمونه ۲
Fe	پایه	پایه
C	۰/۸۵	۱/۳
W	۳/۳۳	۳/۴۰
Si	۰/۶	۰/۸۹
Mn	۰/۴۱۷	۰/۴۷۴
Ni	۱/۲۹	۲/۱۵
Cr	۰/۰۳۷	۰/۰۵۱
Al	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳
Ti	۰/۰۵	۰/۰۶۴
Cu	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵

توسط مانت سرد، نمونه‌ها ابتدا توسط سمباده‌های ۸۰ تا ۳۰۰۰ پرداخت شد و سپس پولیش نهایی توسط خمیر الماسه انجام شد. 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 زاویه ۱۰ تا ۱۱۰ درجه و اشعه Cu Kα انجام شد. برای این منظور دستگاه جهت روبش نمونه از زاویه ۵ تا ۹۰ درجه با اندازه پله‌های ۰/۰۱۵ درجه و زمان توقف ۸ ثانیه برای هر پله تنظیم و آزمون مربوطه انجام شد. آزمایش سختی سنجی راکول طبق استاندارد ASTM E18 توسط دستگاه KOOPA مدل UV1 در مقیاس راکول سی و با وزن ۱۵۰ کیلوگرم و زمان اعمال بار ۱۵-۱۰ ثانیه انجام شد [۱۷]. همچنین آزمون ریز سختی سنجی ویکرز توسط دستگاه ریز سختی Laizhou Huayin HV-1000A با وزن بار ۱۰۰ گرم و زمان اعمال بار ۱۰ ثانیه مطابق استاندارد ASTM E 384 انجام شد [۱۸].

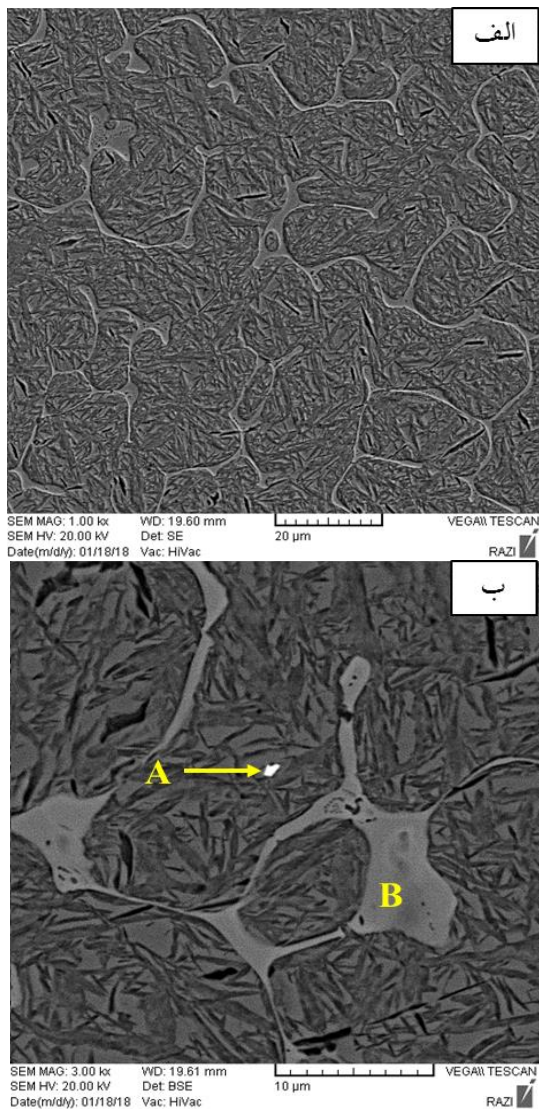
جدول (۲): ترکیب شیمیایی فلز پایه و پودرهای مصرفی

عنصر	درصد وزنی مغز الکتروود E6013	درصد وزنی St37	درصد وزنی گرافیت	درصد وزنی فرو نیکل
C	۰/۰۸	۰/۰۸	۹۸/۵	۰/۰۶
Si	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۳	۰/۰۳
Ni	۰/۰۴	-	-	۳۵
P	۰/۰۱۲	۰/۰۱	-	۰/۰۳
S	۰/۰۱۶	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۶
N	-	-	۰/۰۱	-
Co	-	-	-	۰/۸
Mn	۰/۳۹	-	-	-
Cr	۰/۰۴	-	-	-

جدول (۳): پارامترهای جوشکاری

شماره نمونه	نمونه ۱	نمونه ۲
تعداد پاس	۳ پاس	۳ پاس
فرایند جوشکاری	SMAW	SMAW
اختلاف پتانسیل (ولت)	۲۹-۲۷	۲۹-۲۷
شدت جریان (آمپر)	۴۸۰-۳۸۰	۴۸۰-۳۸۰
سرعت جوشکاری (سانتی‌متر بر دقیقه)	۴۰	۴۰
قطبیت	DCEP	DCEP

فصل مشترک مارتزیت-آستنیت شده و در نتیجه باعث عدم تشکیل ترک‌های مویی در ریزساختار می‌شود.



شکل (۲): ریزساختار میکروسکوپ الکترونی نمونه ۱ در دو بزرگنمایی مختلف

نتایج آنالیز EDS از نقاط A و B در روی شکل ۲ ب و نقطه C که در روی شکل ۳ ب مشخص شده است، در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج این آنالیز از نقطه A نشان می‌دهد که درصد وزنی W در این نقطه مقدار بالایی می‌باشد (۲۶/۳۹ درصد). علاوه بر عنصر W مقداری عنصر Ti نیز در آنالیز این نقاط قابل مشاهده است. این موضوع نشان می‌دهد که این نقاط کاربیدهای کمپلکسی از تنگستن و تیتانیوم می‌باشند. دلیل وجود درصد بالای عنصر Fe در نتایج آنالیز (۶۵/۹۰ درصد) می‌تواند به علت این موضوع باشد که به دلیل ریز

با توجه به وجود کربن به میزان ۰/۸۵ و ۱/۳ درصد و همچنین وجود عناصر تسریع کننده استحاله مارتزیتی، تشکیل فاز مارتزیت در ریزساختار قابل توجه است. همچنین درصد بالای کربن باعث کاهش دمای شروع استحاله مارتزیتی شده و در نتیجه آستنیت باقیمانده در ساختار تشکیل می‌شود. با مقایسه ریزساختار فلزات جوش نمونه ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که در فلز جوش نمونه ۲ (شکل ۱ ب) میزان آستنیت باقیمانده (فازهای سفیدرنگ) بیشتر از نمونه ۱ (شکل ۱ الف) است که دلیل آن بیشتر بودن درصد کربن و نیکل می‌باشد. با افزایش درصد کربن، دمای شروع استحاله مارتزیتی کمتر شده و در نتیجه میزان آستنیت باقیمانده بیشتر خواهد شد. وجود درصد بالاتر عنصر نیکل در نمونه ۲ نیز به علت اینکه عنصر پایدار کننده فاز آستنیت محسوب می‌شود باعث پایداری بیشتر فاز آستنیت در نمونه ۲ شده است.

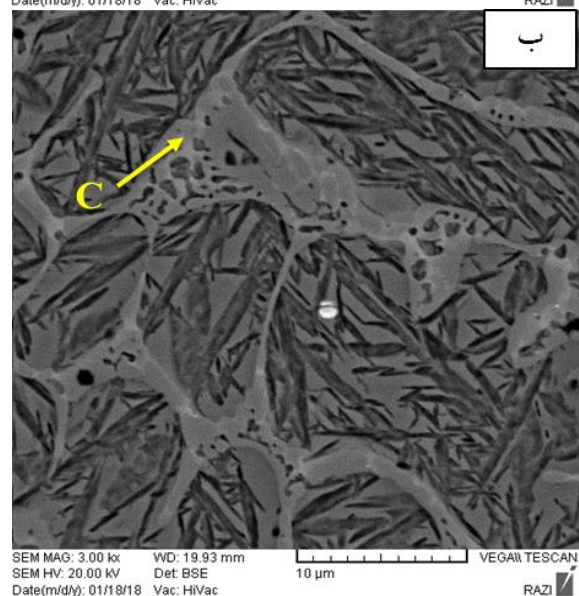
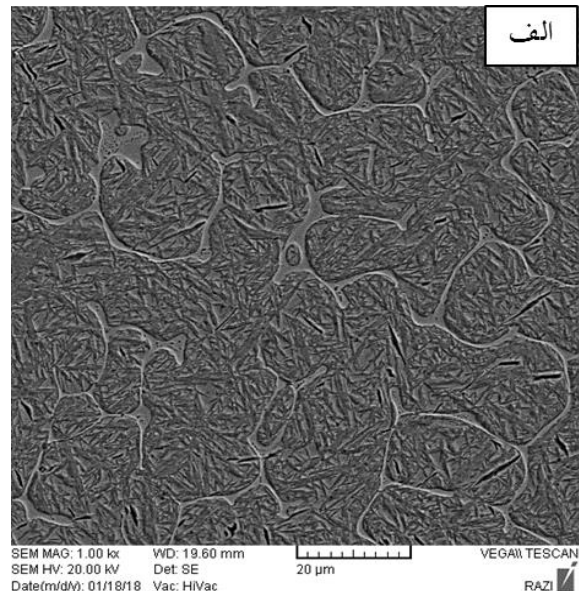
ریزساختار میکروسکوپ الکترونی فلزات جوش نمونه ۱ و ۲ در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ریزساختار در این تصاویر نیز متشکل از مناطق مارتزیت سوزنی (زمینه تیره) مناطق آستنیت باقیمانده (مناطق خاکستری) و کاربیدها (مناطق سفید) هستند. پدیده دیگر قابل مشاهده در ریزساختار وجود ترک‌های میکروسکوپی در فاز مارتزیت در نمونه ۱ (شکل ۲ الف و ب) است. مارتزیت توسط یک مکانیزم برشی به وجود می‌آید. این استحاله همواره همراه با مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر شکل موم‌سان در فاز آستنیت مادر است. اگر فاز آستنیت نتواند تغییر شکل‌های موم‌سان حاصل از برش‌های مارتزیت را تحمل کند، در فصل مشترک‌های مارتزیت-آستنیت مادر جدایش یا ترک خوردگی ایجاد می‌شود [۱۹]. وجود کربن نسبتاً بالا (۰/۸۵ درصد) باعث افزایش تنش‌های میکروسکوپی فصل مشترک مارتزیت-آستنیت مادر شده و در نتیجه باعث ایجاد ترک‌های میکروسکوپی در ریزساختار می‌شود. علت عدم وجود ترک‌های میکروسکوپی در ریزساختار نمونه ۲ (شکل ۳ الف و ب) بیشتر بودن درصد فاز آستنیت در ریزساختار این فلز جوش است. فاز آستنیت فاز نرم‌تری نسبت به مارتزیت محسوب می‌شود و باعث جذب تنش ایجاد شده در

نمود که درصد عنصر تنگستن فاز آستنیت نمونه ۱ برابر ۱۱/۲۰ درصد و درصد تنگستن فاز آستنیت نمونه ۲ برابر ۱۶/۹۲ درصد است. این موضوع نشان می‌دهد که میزان فاز تنگستن محلول در فاز آستنیت فلز جوش نمونه ۲ بیشتر از فلز جوش نمونه ۱ است. این امر بر روی خواص مکانیکی تأثیر گذار بوده و باعث بهبود خواص سایشی و سختی فلز جوش نمونه ۲ می‌شود.

نتایج آنالیز XRD فلزات جوش نمونه ۱ و ۲ در شکل ۵ ارائه شده است. فازهای موجود در ریزساختار فلز جوش نمونه ۱ (شکل ۵ الف) شامل آستنیت، مارتنزیت و کاربید تنگستن می‌باشد. شدت کم مربوط به پیک کاربید تنگستن نشان‌دهنده وجود مقدار کم این کاربید در ریزساختار است؛ اما نتایج آنالیز XRD فلز جوش نمونه ۲ (شکل ۵ ب) نشان می‌دهد که علاوه بر فاز آستنیت، مارتنزیت و کاربید تنگستن، اکسیدهایی نیز وجود دارد. اکسیدهای قابل مشاهده در نتایج XRD عبارت‌اند از  $Fe_3O_4$ ،  $Fe_2O_3$  و  $FeO$ . وجود این اکسیدهای آهن نشان‌دهنده این می‌باشد که حفاظت از حوضچه جوش در نمونه ۲ کمتر و ضعیف‌تر از نمونه ۱ بوده است. وجود اکسیدهای آهن در فلز جوش باعث کاهش چقرمگی فلز جوش می‌شود. البته میزان و توزیع این اکسیدها نیز تأثیر گذار است. توزیع بهتر اکسیدها باعث می‌شود که کاهش خواص مکانیکی کمتر صورت گیرد. با توجه به اینکه این اکسیدها در ریزساختار مشاهده نشد، می‌توان نتیجه گرفت که اندازه این اکسیدها بسیار ریز بوده و به صورت همگن در ساختار توزیع شده‌اند و در مناطق خاص تجمع نکرده‌اند. این امر باعث می‌شود که تأثیر مخرب این اکسیدها کمتر باشد.

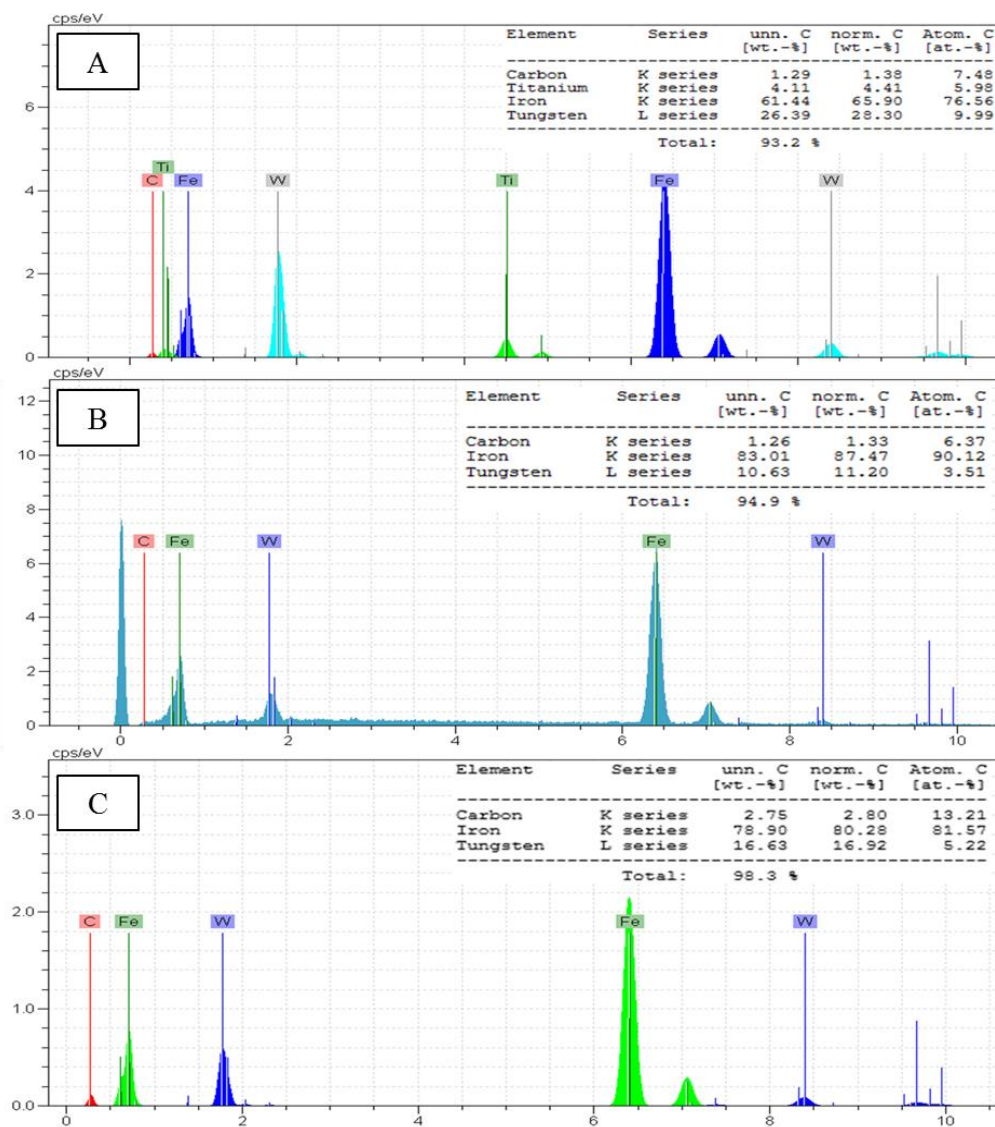
نکته قابل توجه در نتایج XRD هر دو فلز جوش وجود کاربید تنگستن کم در ریزساختار بود. با توجه به وجود درصد بالای تنگستن در فلزات جوش (۳/۳۳ و ۳/۴۰ درصد) انتظار می‌رفت که مقادیر بیشتری کاربید در نتایج XRD مشاهده شود. دلیل تشکیل کم کاربید تنگستن به علت این می‌باشد که میزان زیادی تنگستن در فاز آستنیت حل شده است که با توجه به نتایج آنالیز EDS اثبات شد.

بودن کاربیدها، هنگام انجام آنالیز، بیم الکترونی مقداری از فلز پایه اطراف را نیز در بر گرفته و اطلاعات مربوط به آن نقاط نیز توسط دتکتور دریافت شده است.



شکل (۳): ریزساختار میکروسکوپ الکترونی نمونه ۲ در دو بزرگنمایی مختلف

نتایج آنالیز EDS از نقطه B نشان‌دهنده وجود درصد بالایی از عنصر Fe بوده و در نتیجه مشخص کننده فاز آستنیت است. علاوه بر این، درصد وزنی بالای عنصر تنگستن در این فاز (۱۱/۲۰ درصد) نشان‌دهنده انحلال بالای تنگستن در فاز آستنیت می‌باشد. با مقایسه آنالیز EDS نقطه B و نقطه C (به ترتیب فاز آستنیت ۱ و فاز آستنیت نمونه ۲) می‌توان مشاهده

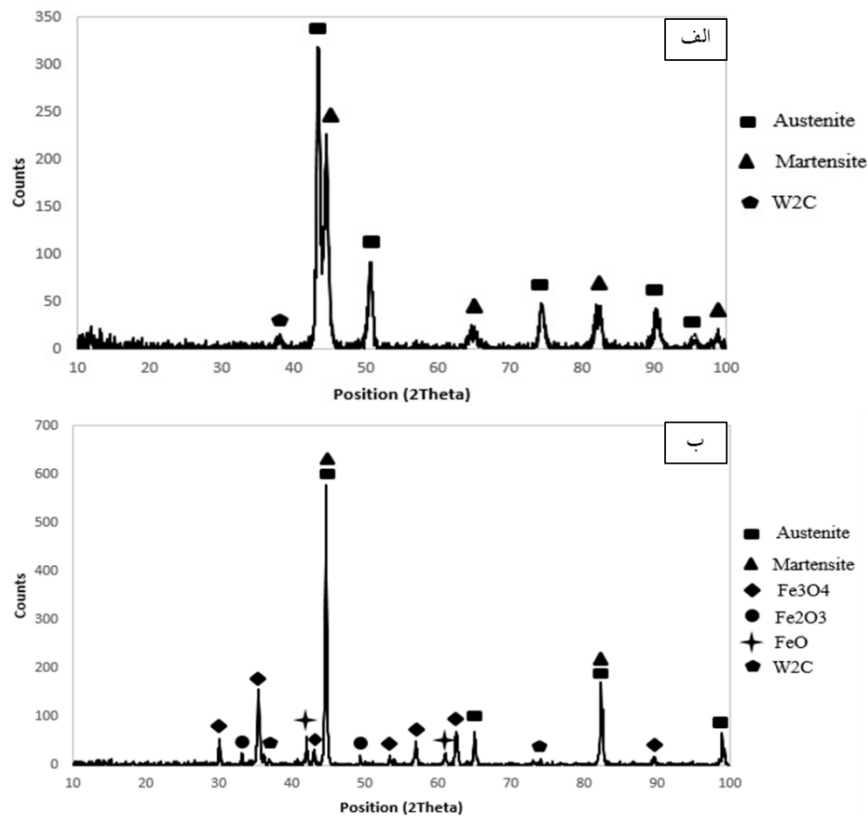


شکل (۴): نتایج آنالیز EDS از نقاط A و B در شکل ۲ و نقطه C در شکل ۳

به همراه بیشتر بودن کربن نمونه ۲ باعث افزایش سختی نمونه نسبت به نمونه ۱ شده است. مقایسه نتایج حاصل از آنالیز XRD دو نمونه نشان داد که میزان کاربیدهای تشکیل شده در نمونه ۲ بیشتر از نمونه ۱ بود که به دلیل بیشتر بودن میزان عنصر تنگستن و کربن در نمونه ۲ است. افزایش کاربید ریزساختار از عوامل افزایش سختی است. توزیع بیشتر کاربید به صورت همگن در زمینه باعث بهبود خواص مکانیکی نمونه می شود.

### ۳-۲- بررسی خواص مکانیکی

نتایج آزمون سختی سنجی راکول C از فلز پایه و فلزات جوش نمونه ۱ و ۲ در جدول ۵ آورده شده است. میانگین سختی فلز جوش نمونه ۱ برابر RC ۴۲/۵ و میانگین سختی فلز جوش نمونه ۲ برابر RC ۴۹/۶ است. بیشتر بودن سختی فلز جوش نمونه ۲ نسبت به فلز جوش نمونه ۱ با توجه به نتایج حاصل از آنالیز EDS و آزمون XRD قابل بررسی است. با توجه به نتایج آنالیز EDS مشخص شد که میزان تنگستن محلول در فاز آستنیت نمونه ۲ بیشتر از نمونه ۱ بود. این عامل



شکل (۵): نتایج آنالیز EDS (الف) نمونه ۱ (ب) نمونه ۲

جدول (۶): نتایج آزمون ریز سختی سنجی ویکرز از کاربیدهای موجود

در فلزات جوش	
فلز جوش نمونه ۲	فلز جوش نمونه ۱
۱۱۰۴	۱۰۰۰
۱۰۰۰	۹۵۸
۱۰۴۸	۱۰۴۸
۱۰۵۱	۱۰۰۲
	سختی ۱
	سختی ۲
	سختی ۳
	میانگین

موضوع دیگر قابل بررسی این است که انتظار می‌رود به دلیل بیشتر بودن سختی و میزان کربن نمونه ۲، چقرمگی این نمونه کمتر باشد. همان‌طور که در بررسی‌های ریزساختاری مشاهده شد، ترک‌های میکروسکوپی در نمونه ۱ وجود داشت که به دلیل وجود تنش‌های میکروسکوپی هنگام تشکیل مارتنزیت ایجاد شده بود؛ اما در نمونه ۲ به دلیل بیشتر بودن آستنیت باقیمانده، این ترک‌های میکروسکوپی مشاهده نشد. همین موضوع می‌تواند بر روی چقرمگی نیز تأثیر داشته باشد. وجود آستنیت بیشتر باعث بهبود چقرمگی در نمونه ۲ نسبت به نمونه یک می‌شود.

جدول (۵): نتایج آزمون سختی سنجی راکول C فلز پایه و فلزات جوش

فلز پایه	فلز جوش نمونه ۱	فلز جوش نمونه ۲
۴۱	۴۱	۴۹
۳۷	۴۲/۵	۴۸
۳۷/۵	۴۲	۵۲
۳۸/۵	۴۲/۵	۴۹/۶
سختی ۱		
سختی ۲		
سختی ۳		
میانگین		

نتایج آزمون ریز سختی سنجی ویکرز از کاربیدهای موجود در نمونه ۱ و ۲ در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سختی کاربیدها دارای مقدار بالایی در حدود ۱۰۰۰HV می‌باشد. این موضوع باعث افزایش سختی کل نمونه‌ها می‌شود. میانگین سختی کاربیدها در نمونه ۲ بیشتر از نمونه ۱ اندازه‌گیری شد که به دلیل بیشتر بودن درصد عنصر تنگستن و کربن در نمونه ۲ است. البته بیشتر بودن سختی می‌تواند مربوط به سایز کاربیدهای تشکیل شده نیز باشد. اگر سایز کاربیدها بزرگ‌تر باشد سختی اندازه‌گیری شده قابل اطمینان‌تر است اما در کاربیدهای با سایز کوچک‌تر امکان خطا بیشتر است چون امکان دارد فرورونده مقداری از زمینه را نیز دربر بگیرد.



## ۴- نتیجه گیری

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

- ریزساختار فلزات جوش شامل کاربیدهای ریز در زمینه مارتنزیت سوزنی و آستنیت‌های باقیمانده بود. مارتنزیت‌ها در ریزساختار میکروسکوپ الکترونی به رنگ تیره، آستنیت‌های باقیمانده به رنگ خاکستری و کاربیدها به رنگ سفید مشاهده شد.
- بررسی‌های میکروسکوپ الکترونی نشان داد که ترک‌های بسیار ریز در فاز مارتنزیت فلز جوش نمونه ۱ وجود داشت اما این ترک‌های میکروسکوپی در فلز جوش نمونه ۲ مشاهده نشد.
- نتایج آنالیز EDS نشان داد که میزان عنصر تنگستن محلول در فاز آستنیت مقدار بالایی است. این میزان در فلز جوش نمونه ۲ (۱۶/۹۲ درصد) بیشتر از فلز جوش نمونه ۱ (۱۱/۲۰ درصد) بود.
- نتایج آنالیز XRD نشان داد که فازهای موجود در فلز جوش نمونه ۱ شامل مارتنزیت و آستنیت و کاربید  $W_2C$  بود اما در فلز جوش با ۳۰ گرم تنگستن علاوه بر این فازها اکسیدهای آهن نیز مشاهده شد.
- نتایج حاصل از آزمون سختی سنجی نشان داد که میانگین سختی فلز جوش نمونه ۱ برابر RC ۴۲/۵ و میانگین سختی فلز جوش نمونه ۲ برابر RC ۴۹/۶ است. همچنین نتایج حاصل از ریزسختی سنجی ویکرز از کاربیدها نشان داد که سختی کاربیدها دارای مقدار بالایی در حدود ۱۰۰۰HV می‌باشد. میانگین سختی کاربیدها در نمونه ۲ بیشتر از نمونه ۱ اندازه‌گیری شد.
- با توجه به مشاهدات میکروسکوپی و نتایج آزمون‌های XRD و خواص مکانیکی می‌توان نتیجه گرفت که فلز جوش نمونه ۲ با میزان تنگستن ۳۰ گرم دارای شرایط

بهتری بوده و خواص مطلوب‌تری از لحاظ مکانیکی و

ریزساختاری ارائه می‌نماید.

## ۵- مراجع

- [۱] ا. کوجی، تکنولوژی جوشکاری، چاپ ششم. انتشارات آزاده. ۱۳۹۲.
- [۲] ح. ثابت، ش. خیراندیش، ش. ا. میردامادی و م. گودرزی، "بررسی ریزساختار و مشخصات کاربیدهای  $(Cr,Fe)_7C_3$  در آلیاژها پیرویونیک راکش سخت پایه Fe-Cr-C"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۳۴-۲۱، ۱۳۹۰.
- [3] J. Yang et al., "Microstructure and wear resistance of the hypereutectic Fe-Cr-C alloy hardfacing metals with different  $La_2O_3$  additives", Appl. Surf. Sci., vol. 289, pp. 437-444, 2014.
- [۴] ح. ثابت، "اثر نسبت Cr/C بر ریزساختار و عمرخستگی حرارتی آلیاژ راکش سخت پایه Fe-Cr-C"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۱۰، شماره ۲، صفحه ۶۳-۴۵، ۱۳۹۵.
- [5] M. Kirchgäßner, E. Badisch & F. Franek, "Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact", Wear, vol. 265, no. 5-6, pp. 772-779, 2008.
- [6] Y. Fei & 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 & 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 & 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.
- [۹] ح. ثابت، س. ر. امیرآبادی زاده، م. صادقی و ن. میرزا محمد، "بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش لایه رویه سخت پایه Fe-C-Nb بر روی فولاد ساده کربنی"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۳، شماره ۳،

[۱۹] م. گلغذار، "اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۰.

صفحه ۵۰-۴۳، ۱۳۸۸.

[۱۰] م. محمدی خواه، ح. ثابت، ن. میرزا محمد، ا. هادی زاده، س. محرابیان و س. شکیب، "بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش خراشان خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه Fe-C-B بر روی فولاد ساده کربنی"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۹۶-۸۹، ۱۳۹۱.

## ۶- پی نوشت

- [1] Y. F. Zhou  
[2] Vibratory Ball Mill

[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.

[۱۲] م. محمدی خواه، ح. ثابت، ع. شکوه فر، س. محرابیان و ا. هادی زاده، "بررسی و مقایسه ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش لایه‌های سخت کامپوزیتی ایجاد شده به روش جوشکاری FCAW حاوی ذرات TiC و TiCN بر روی فولاد ساده کربنی"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۴، شماره ۱، صفحه ۳۱-۲۱، ۱۳۸۹.

[۱۳] ع. بهرامی، ک. امینی و ح. ثابت، "تأثیر نوع الکتروود و تعداد پاس بر خواص سایشی و ریزساختار روکش ایجاد شده به روش زیر پودری بر روی فولاد کم آلیاژ 42CrMo4"، فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره ۹، شماره ۲، صفحه ۱۱۶-۹۹، ۱۳۹۴.

[14] Y. Kathuria, "Nd-YAG laser cladding of Cr3C2 and TiC cermets", Surface and Coatings Technology, vol. 140, pp. 195-199, 2001.

[15] H. Zhang, Y. Zou, Z. Zou & 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.

[16] A. Standard, "E3, Standard guide for preparation of metallographic specimens", West Conshohecken, PA ASTM Int., 2001.

[17] E. ASTM, "18; Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials", Annu. B. of ASTM Stand., pp. 118-130, 2003.

[18] K. Herrmann, "Hardness testing: principles and applications", ASM International, 2011.