

اثر حرارت ورودی بر ریزساختار و مقاومت به سایش استلایت ۴ روکش شده روی فولاد زنگ‌نزن 15-5PH با فرآیند GTAW

رضا خلیلی^۱، مجید عباسی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مواد دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (reza_185@yahoo.com)

۲- استادیار گروه مهندسی مواد دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (abbasim@nit.ac.ir)

Effect of Heat Input on Microstructure and Wear Resistance of Stellite4 Cladded on 15-5PH Stainless Steel using GTAW

R. Khalili¹, M. Abbasi^{2*}

1. Master of Science in Materials Engineering Noshirvani University of Technology,
(reza_185@yahoo.com)

2. Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Noshirvani University of Technology,
(abbasim@nit.ac.ir)

چکیده

در این تحقیق اثر حرارت ورودی بر ریزساختار و مقاومت به سایش روکش سوپر آلیاژ پایه کبالت (استلایت ۴) ایجاد شده روی فولاد زنگ‌نزن رسوب سخت‌شونده مارتنزیتی 15-5PH مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور، روکش‌هایی از سیم‌جوش استلایت ۴ با روش جوشکاری قوسی تنگستن-گازروی فولاد 15-5PH در حرارت ورودی‌های مختلف ایجاد گردید. حرارت ورودی به صورت تابعی از شدت جریان جوشکاری، ولتاژ جوشکاری و سرعت روکش‌کاری کنترل شد. ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش روکش‌ها توسط میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آنالیزگر خطی، ریزسختی سنج ویکرز و آزمون سایش پین روی دیسک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ریزساختار روکش شامل محلول جامد غنی از کبالت دندردیتی همراه با کاربیدهای یوتکتیکی لایه‌ای بین دندردیت‌ها است. با کاهش حرارت ورودی، دندردیت‌ها و کاربیدهای یوتکتیک در روکش ظریف‌تر شده و غلظت آهن در روکش‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه سختی و مقاومت به سایش روکش افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: روکش‌کاری، استلایت ۴، فولاد زنگ‌نزن 15-5PH، حرارت ورودی، GTAW.

Abstract

In this paper effect of heat input on the microstructure and wear resistance of cobalt base super alloy (stellite 4) cladded on precipitation hardened martensitic stainless steel 15-5PH were investigated. For this purpose, stellite4 filler metal was clad on 15-5PH steel by gas tungsten arc welding process (GTAW). The different input heats were controlled as function of welding current, welding voltage and speed of cladding. The microstructure, hardness and wear resistance of clads were investigated by optical microscopy, scanning electron microscopy, Vickers micro-hardness and pin-on-disc wear tests. The results showed that the microstructure of the clad layer consists of dendritic Co-rich solid solution and lamellar eutectic carbides in inter-dendritic spaces. Decreasing the heat input creates a finer dendritic structure and finer eutectic carbides distribution. In addition decreasing the heat input reduces the dilution of iron in the clad layer. Therefore the hardness and wear resistance of clad increase by decreasing of heat input.

Keywords: Cladding, Stellite 4, 15-5PH stainless steel, Heat input, GTAW.

(کد: ۹۱۱۰۶۲)

مقدمه

بالا و مقاومت به خوردگی مناسب هستند [۹]. فولادهای زنگ‌نزن رسوب‌سخت‌شونده مارتنزیتی معمولاً حاوی ۴ تا ۷ درصد نیکل برای نگه داشتن دمای M_s در بالای دمای اتاق هستند. همچنین عناصر مس، مولیبدن، آلومینیم، تیتانیم و نیوبیم برای تشکیل رسوب اضافه می‌شوند [۱۰]. فولاد 15-5PH یک فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی کم‌کربن حاوی تقریباً ۳٪ مس است. یک رسوب غنی از مس در این فولاد ایجاد می‌گردد که سبب افزایش استحکام می‌شود [۱۱].

وقتی استلایت روی فولاد روکش می‌شود، رقت آهن در پوشش بالا می‌رود (مخصوصاً در لایه اول) که سبب کاهش مقاومت به خوردگی و کاهش مقاومت به سایش استلایت به دلیل کاهش کروم و افزایش انرژی نقص در چیده شدن شبکه کبالت و کاهش در محتوی کربن می‌شود. با کاهش رقت آهن یا نیکل مقدار فازهای ترد کاربیدی کاهش می‌یابد که باعث کاهش تردی می‌شود [۱۲].

توزیع کاربیدها در استلایت به وضعیت انجماد، دمای مذاب و نرخ سرمایش در هنگام و بعد از انجماد بستگی دارد [۴]. حرارت ورودی هم یکی از عوامل تعیین کننده نرخ سرمایش است [۱۳]، بنابراین حرارت ورودی می‌تواند تعیین کننده توزیع کاربیدها باشد. حرارت ورودی و نرخ سرمایش بر ریزساختار منطقه متأثر از حرارت (نزدیک فصل مشترک) تأثیر زیادی دارد و باعث تفاوت ریزساختار منطقه متأثر از حرارت نسبت به فلز پایه می‌شود [۱۴]. در پژوهش حاضر اثر حرارت ورودی بر ریزساختار و مقاومت به سایش فولاد زنگ‌نزن رسوب‌سخت‌شونده 15-5PH روکش شده با استلایت ۴ بررسی شد.

روش تحقیق

در این پژوهش روکش‌کاری به روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) با استفاده از فولاد زنگ‌نزن رسوب‌سخت‌شونده 15-5PH به عنوان فلز پایه و سیم جوش استلایت ۴ با قطر ۰.۸mm انجام شد.

ترکیب شیمیایی سیم‌جوش و فلز پایه در جدول ۱ ارائه شد. نمونه‌های فلز پایه به صورت صفحه‌هایی با قطر ۹۰mm و

مواد پیشرفته FGM موادی هستند که ترکیبات و ریزساختار آنها از یک نقطه تا نقطه دیگر به تدریج تغییر می‌کند. این مواد برای کاربرد خاصی طراحی می‌شوند. تکنیک‌های زیادی مثل روکش‌دهی و متالورژی پودر، برای ساخت مواد FGM وجود دارد [۱].

روکش‌کاری فلزی به طور کلی یک عملیات جوشکاری است. در بین روش‌های موجود جوشکاری قوسی، جوشکاری قوسی تنگستن-گاز به دلیل در دسترس بودن، تجهیزات ارزان‌تر، راحت‌تر بودن کنترل عوامل فرآیند، در بین تمامی فرآیندها بیشترین استفاده را به خود اختصاص داده است [۲،۳].

آلیاژهای پایه کبالت به دلیل استحکام ذاتی بالا، مقاومت به خوردگی و حفظ سختی در یک محدوده دمایی گسترده به طور وسیعی در کاربردهای سایش مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴]. کروم در آلیاژ پایه کبالت عمدتاً تشکیل دهنده کاربید است و عنصر آلیاژی مهم در زمینه، برای بالا بردن استحکام و مقاومت به خوردگی است. تنگستن و مولیبدن برای بالا بردن استحکام زمین اضافه می‌شوند. ساختار کریستالوگرافی کبالت از دمای اتاق تا 417°C به صورت هگزاگونال (hcp) و در دماهای بالاتر از 417°C به (fcc) استحاله می‌یابد [۵]. استلایت یکی از معروفترین آلیاژهای پایه کبالت است که به عنوان مواد روکش‌کاری در تجهیزات موجود در شرایط سخت مثل پره‌های توربین، بلبرینگ‌ها، پوشش‌های مقاوم به سایش، قطعات پمپ‌ها، پلاک‌ها و نشیمن‌گاه شیرها در صنایع نفت و گاز کاربرد دارند [۶]. کاربیدها عموماً در آلیاژهای استلایت پایه Co-Cr-W-C غنی از کروم نوع M_7C_3 ، همچنین در آلیاژهای تنگستن بالا، کاربید غنی از تنگستن نوع M_6C هستند [۷]. استلایت ۴ دارای کربن شبیه استلایت ۶، اما دارای تنگستن بیشتری است. در نتیجه در استلایت ۴، حاوی کاربید تنگستن (M_6C) و کاربید کروم (M_7C_3 یا $M_{23}C_6$) است که برای بهبود مقاومت به سایش مطلوب است. مقدار تنگستن بیشتر در استلایت ۴، مقاومت به سایش و خواص دمای بالا را نسبت به استلایت ۶ بهبود می‌بخشد [۸،۵].

فولادهای زنگ‌نزن رسوب‌سخت‌شونده (PH) دارای استحکام

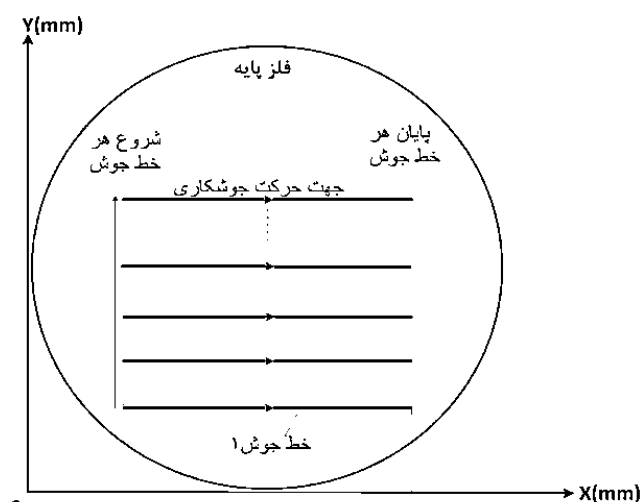
اسید پیکریک، ۵ میلی لیتر هیدروکلریک اسید و ۱۰۰ میلی لیتر اتانول به مدت ۲۰ ثانیه اچ شدند.

جدول ۲. پارامترهای ثابت جوشکاری

نوع گاز	دبی گاز	قطبیت دستگاه	جنس الکتروود	قطر سیم جوش
Ar- ۹۹/۹۹٪	۸ lit/min	DCEP	تنگستن با توریم ۲٪	۵mm

جدول ۳. متغیرهای جوشکاری با حرارت ورودی مختلف

کد نمونه	جریان جوشکاری A	سرعت جوشکاری mm/s	ولتاژ V	حرارت ورودی J/mm	ارتفاع روکش mm
H	۱۹۰	۱/۵۷۵	۱۷/۶	۱۲۷۰	۲/۵
L	۱۳۵	۱/۴۵	۱۵/۴	۸۷۰	۲/۵



شکل ۱. تکنیک بکار رفته برای روکش کاری

ضخامت ۱۰mm آماده شدند و سپس تحت عملیات آنیل انحلالی در دمای ۱۰۴۰°C به مدت یک ساعت قرار گرفتند. قبل از روکشکاری، سطح نمونه‌ها ماشین‌کاری شده و با استون شست و شو داده شد تا آلودگی‌ها و پوسته اکسیدی سطح از بین برود. شکل ۱ نحوه روکشکاری و جدول ۲ پارامترهای ثابت و جدول ۳ پارامترهای متغیر بکار رفته را نشان می‌دهد. عملیات جوشکاری با استفاده از دستگاه جوش شرکت گام الکتریک مدل Parstig AC/DC SQ251، تحت گاز آرگون انجام شد. سپس نمونه‌های روکش‌شده در دمای ۴۸۰°C به مدت یک ساعت تحت عملیات پیرسازی قرار گرفتند.

از نمونه‌ها آزمایش ریزسختی‌سنجی ویکرز با نیروی ۲۰۰گرم بر مقطع عرضی نمونه‌های پولیش شده از سطح روکش به سمت زیرلایه انجام شد.

آزمون سایش به روش پین روی دیسک با استفاده از دیسک فولاد ابزار D2 با سختی ۶۲ راکولسی انجام شد. پین‌ها به شکل استوانه‌ای با قطر ۶ میلی‌متر از نمونه‌های روکش شده و فلز پایه بدون روکش توسط وایر کات تهیه شد. آزمون سایش در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد با بار اعمالی ۶۰ نیوتن در مسافت ۱۰۰۰ متر انجام شد. قبل و بعد از انجام سایش، نمونه‌ها توسط اتانول تمیز شده و سپس توسط ترازو دقیق با دقت ۰/۱ میلی‌گرم وزن شدند. اختلاف وزن پین‌ها به عنوان معیار مقاومت به سایش در نظر گرفته شد.

برای مطالعه ریزساختاری و تحلیل نتایج از میکروسکوپی نوری، میکروسکپ الکترونی روبشی و آنالیز طیف‌سنج انرژی جهت استفاده شده است. نمونه‌های روکش کاری شده برای متالوگرافی در مقطع عرضی برش داده و با سنباده ۸۰ تا ۱۵۰۰ سنباده‌زنی و سپس با پودر آلومینا ۰/۳ میکرومتری پولیش شدند. در نهایت نمونه‌ها توسط محلول محلول ویلا با ترکیب ۱ گرم

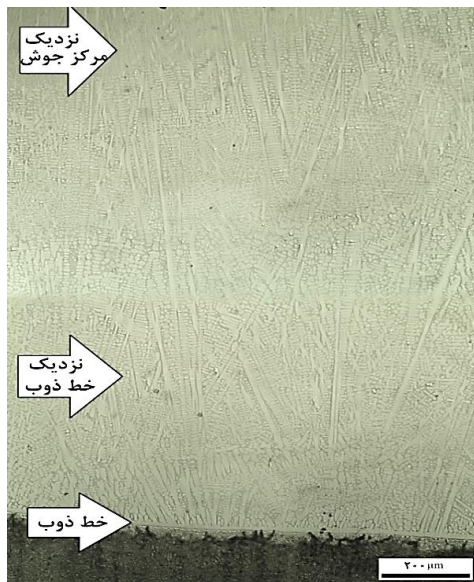
جدول ۱. ترکیب شیمیایی سیم جوش استلایت ۴ و فلز پایه فولاد زنگ‌نزن 15-5PH

Fe	Co	W	Cu	Nb	Ni	Cr	Mo	S	P	Mn	Si	C
Bal	-	-	۳/۰۴	۰/۳۳	۴/۲۳	۱۴/۶۸	۰/۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۲۶	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۰۳۶
۱/۵۹	Bal	۱۳/۳	-	-	۰/۴۵	۳۳/۶۷	<۱	-	-	۰/۲۳	<۱	۰/۷

نتایج و بحث

بررسی ریزساختار

شکل ۲ عکس‌های میکروسکپ نوری، از خط ذوب تا نزدیک مرکز جوش را نشان می‌دهد. برای تمام نمونه‌ها روکش شده با استلایت ۴، مرحله اول انجماد در عبور از خط لیکوئیدوس شامل انجماد محلول جامد کبالت به صورت دندریتی است. با انجماد محلول جامد کبالت، ترکیب شیمیایی مذاب واقع در فضای بین دندریت‌ها از کربن و کروم غنی‌تر شده و به ترکیب یوتکتیک نزدیک می‌شود. در مراحل پایانی انجماد و با نزدیک شدن به خط سالییدوس، کاربیدهای یوتکتیک منجمد می‌شوند.



شکل ۲. تصویر میکروسکپ نوری حالت انجماد فلز جوش از فصل مشترک تا مرکز جوش در نمونه با حرارت ورودی کم، (نمونه L).

برای گرادیان دمایی (G) و نرخ رشد (R) در حوضچه جوش رابطه (۱) حاکم است [۱۳]:

$$\left(\frac{G}{R}\right)_{CL} \ll \left(\frac{G}{R}\right) \quad (1)$$

با توجه به معادله بالا، از خط ذوب به سمت خط مرکزی جوش، نسبت G/R کاهش می‌یابد. بنابراین در سرتاسر منطقه ذوب حالت انجماد از صفحه‌ای به سلولی، دندریتی ستونی و دندریتی هم‌محور تغییر می‌یابد و همچنین نرخ سرد شدن (GR) در خط مرکزی جوش بیشتر و در خط ذوب کمتر است، که باعث کاهش فاصله بین بازوی دندریت‌ها از خط ذوب به سمت خط

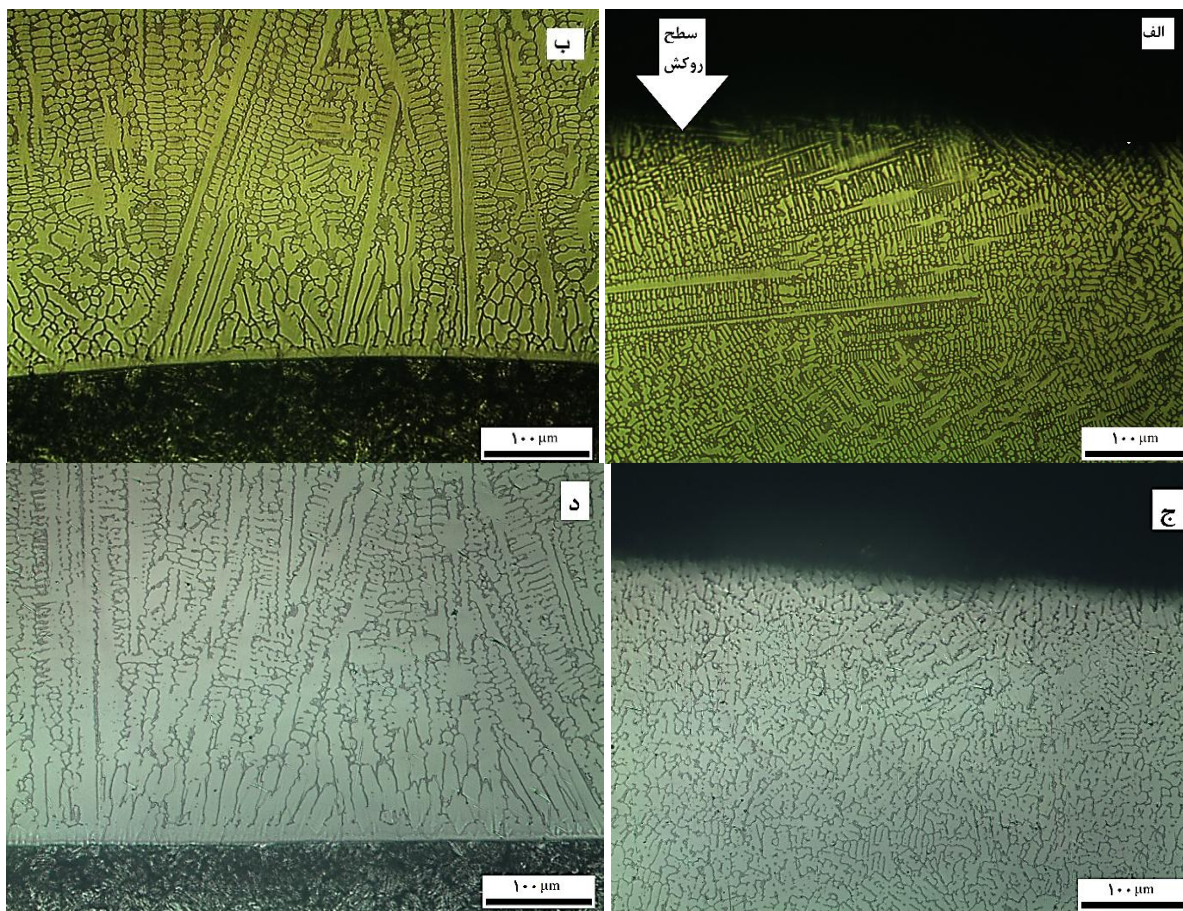
مرکزی جوش می‌شود [۱۳]. این امر در روکش‌کاری فولاد زنگ‌نزن رسوب سختی شده 5PH-15 با استلایت ۴ مشاهده شد و در شکل ۲ نشان داده شده است.

میزان حرارت ورودی و سرعت جوشکاری می‌تواند بر فاصله بازوهای دندریت و سلول‌ها تاثیر گذار باشد. با کاهش نسبت حرارت ورودی-سرعت جوشکاری یعنی Q/V (میزان حرارت در واحد طول جوش)، نرخ سرد شدن افزایش، بنابراین فاصله بین بازوهای دندریت یا فاصله بین سلولی افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش نرخ سرد شدن، ریزساختار جوش ریزتر می‌شود [۱۳].

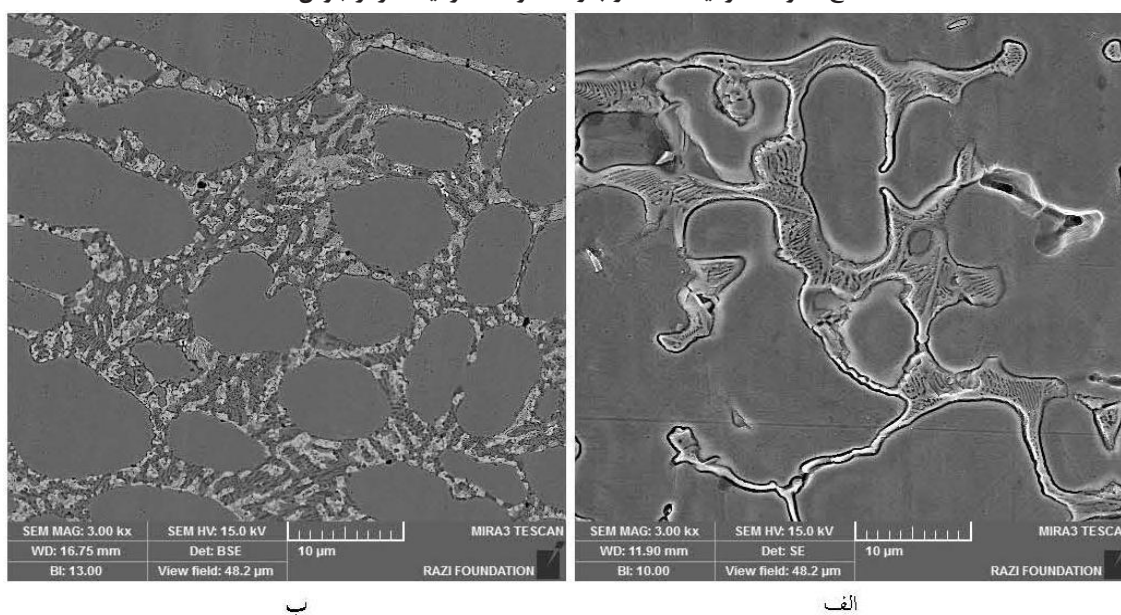
شکل ۳ تصویر میکروسکپ نوری نمونه‌ها با حرارت ورودی مختلف نشان می‌دهد. در نمونه با حرارت ورودی کمتر به دلیل سرعت انجماد بالاتر، ساختار دندریتی با پوشش ظریف‌تر ایجاد می‌شود. بنابراین میزان حرارت ورودی در چگونگی انجماد و ریزساختار نهایی روکش بسیار تاثیر گذار است.

شکل (۳-الف) ریزساختار در نزدیک سطح روکش، ساختار دندریتی هم‌محور نمونه با حرارت ورودی کم را نشان می‌دهد که نسبت به ساختار دندریتی هم‌محور شکل (۳-ج) دارای ساختار بسیار ظریف‌تر با بازوهای دندریت و درصد یوتکتیک بین دندریت بسیار زیادی می‌باشد. همچنین شکل (۳-ب) ریزساختار در نزدیک خط ذوب نمونه با حرارت ورودی کم را نشان می‌دهد که ساختار سلولی و دندریت ستونی ریزتر و درصد یوتکتیک بیشتری نسبت به شکل (۳-د) با حرارت ورودی کم می‌توان مشاهده کرد.

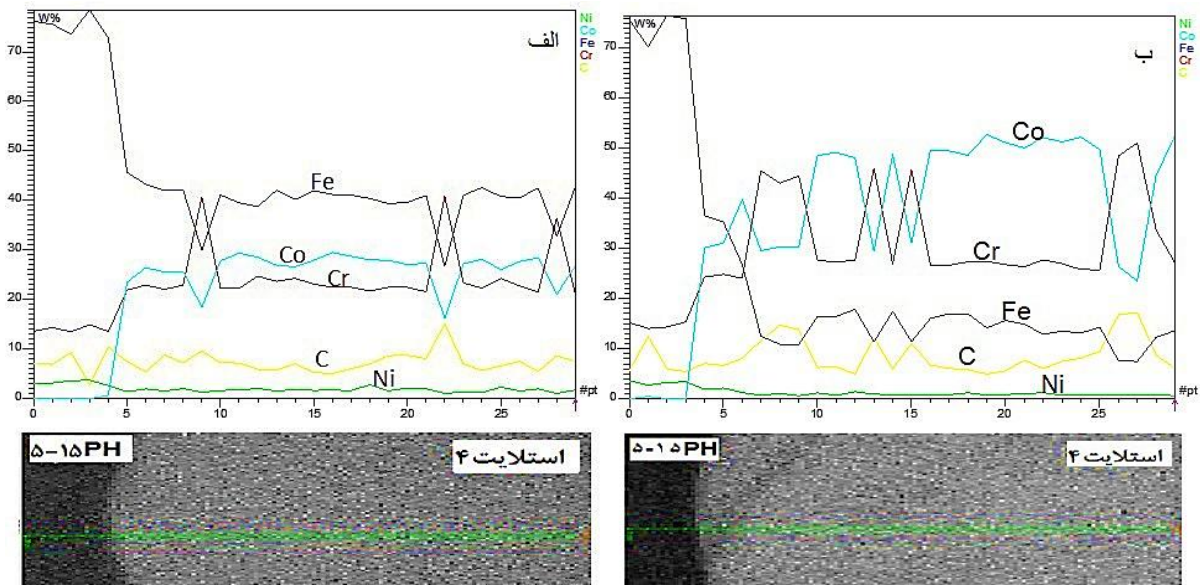
شکل ۴ تصویر میکروسکپ الکترونی نمونه‌ها با حرارت ورودی مختلف نشان می‌دهد. درصد یوتکتیک بیشتر برای نمونه با حرارت ورودی کم مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۵ نمودار آنالیز خطی طیف سنج انرژی، در نمونه با حرارت ورودی کمتر به دلیل سرعت انجماد بالاتر، نفوذ آهن در روکش کاهش می‌یابد و رقت کم آهن باعث تشکیل کاربیدهای ابتدایی، قبل تشکیل کاربید یوتکتیکی می‌شود. در شکل (۴-ب) نمونه با حرارت ورودی کم، فاز زمینه همراه با مقدار زیادی کاربیدهای ابتدایی در بین لایه‌های یوتکتیک با رنگ روشن‌تر و همچنین فازهای سفید رنگ به صورت پراکنده مشاهده می‌شود که مقدار تشکیل کاربیدهای ابتدایی و فازهای سفیدرنگ در شکل (۴-الف) بسیار کم است.



شکل ۳. تصویر میکروسکپ نوری از اثر حرارت ورودی در الف) نمونه L نزدیک خط ذوب، ب) نمونه L نزدیک مرکز جوش، ج) نمونه H نزدیک خط ذوب و د) نمونه H نزدیک مرکز جوش

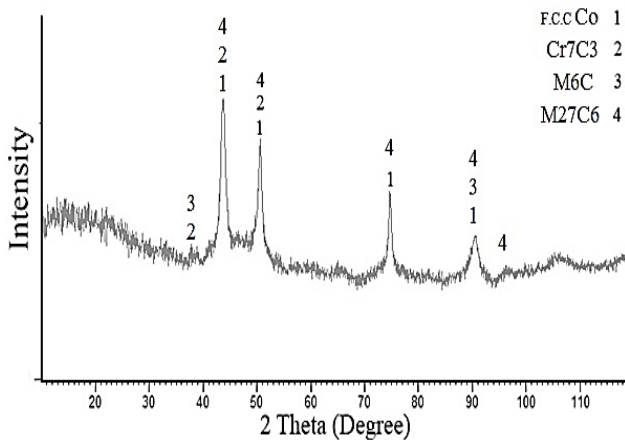


شکل ۴. تصاویر میکروسکپ الکترونی از ریزساختار استلایت ۴ در نزدیکی مرکز جوش الف) نمونه H و ب) نمونه L



شکل ۵. الف) نمودارهای آنالیز خطی از الف) نمونه H و ب) نمونه L

پلاکت، لایه‌ای در مرزخانه‌ها رسوب کند. معمولاً M عنصری از کروم است اما نیکل، کبالت، آهن، مولیبدن، تنگستن می‌توانند جایگزین شوند. کاربید M_6C به صورت تصادفی توزیع می‌شوند و معمولاً M عنصر تنگستن یا مولیبدن است. کاربید M_7C_3 معمولاً به شکل توده بین دانه‌ای مشاهده می‌شود [۵].



شکل ۶. نمودار پراش پرتو ایکس از روکش نمونه L.

ریزسختی سنجی

جدول ۴، سختی سطح و متوسط سختی تا عمق $2500\mu m$ روکش را بر حسب میزان حرارت ورودی نشان می‌دهد. همچنین

شکل ۵ رقت عناصر در روکش توسط آنالیز خطی طیف‌سنج انرژی از خط ذوب تا سطح روکش نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد با کاهش حرارت ورودی رقت آهن در روکش کاهش می‌یابد. همچنین پیک‌هایی در این نتایج دیده شده که با توجه به افزایش کربن و کروم در آن نقطه از پیک، می‌توان گفت این پیک‌ها مربوط به کاربیدهای کروم است که تعداد این پیک‌ها در نمونه با حرارت ورودی کم (L) بیشتر بوده است. با افزایش حرارت ورودی رقت آهن به پوشش و نفوذ کروم و کبالت از پوشش به سمت زیرلایه می‌گردد که در نهایت باعث افزایش رقت در فصل مشترک می‌گردد. [۱۵]

فاز شناسی

شکل ۶ نمودار پراش پرتو ایکس از نمونه با حرارت ورودی کم را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر میکروسکپ الکترونی از روکش، به نظر می‌رسد که پیک‌های مشاهده شده در آنالیز پراش پرتو ایکس مربوط به محلول جامد کبالت (FCC) (زمینه خاکستری)، M_7C_3 (کاربید ابتدایی خاکستری روشن)، M_6C (کاربید سفید) و $M_{27}C_6$ (لایه‌های یونکتیکی) هستند.

کاربید $M_{23}C_6$ از رسوبات مهم است و می‌تواند به شکل‌های

بالا است (مطابق شکل‌های ۳ و ۴). بنابراین نمونه آدارای توزیع کاربید بیشتری است که موجب افزایش سختی در روکش شده است. روکش‌کاری با حرارت ورودی بالا سبب درشت‌شدن ریزساختار می‌شود، در نتیجه باعث افت سختی می‌شود.

با افزایش فاصله از فصل مشترک فلز جوش-فلز پایه به سمت مرکز جوش، سختی در هر دو نمونه افزایش می‌یابد که به دلیل تغییرات ریزساختار انجمادی از صفحه‌ای به سلولی، دندریتی ستونی و دندریتی هم‌محور و ظریف‌تر شدن دندریت‌ها است. طبق آنالیز خطی طیف‌سنج انرژی (شکل ۵) مقدار آهن از فصل مشترک به سمت مرکز جوش کاهش می‌یابد و این، عامل دیگر افزایش سختی است.

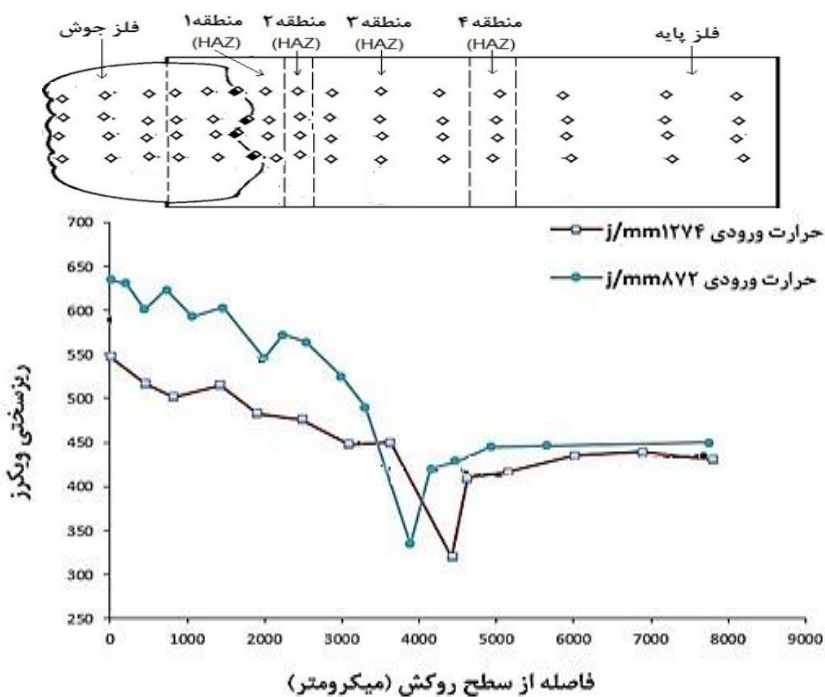
شکل ۷ پروفیل سختی در مقطع عرضی نمونه‌ها را ارائه می‌کند. مشاهده می‌شود که اعمال روکش استلایت ۴ بر سطح فولاد زنگ‌نزن 5PH-15، به طور قابل ملاحظه‌ای سبب افزایش سختی آن خواهد شد که خود تابعی از حرارتی ورودی است.

افزایش سختی از فصل مشترک تا سطح روکش به دلیل ریزبودن دانه سطح روکش نسبت به فصل مشترک و همچنین نفوذ آهن در مجاور فصل مشترک است [۱۶].

مطابق شکل ۷ و جدول ۴ مشاهده می‌شود که در روکش‌کاری با حرارت ورودی کم می‌توان به سختی بیشتر رسید. در نمونه با حرارت ورودی کم، به دلیل گرادیان دمایی پایین‌تر حین انجماد، ریزساختار دارای دندریت‌های ظریف‌تر [۱۷] و توزیع بیشتر کاربیدها با مقدار آهن کمتر نسبت به نمونه با حرارت ورودی

جدول ۴. سختی فلز جوش استلایت ۴ با حرارت ورودی مختلف

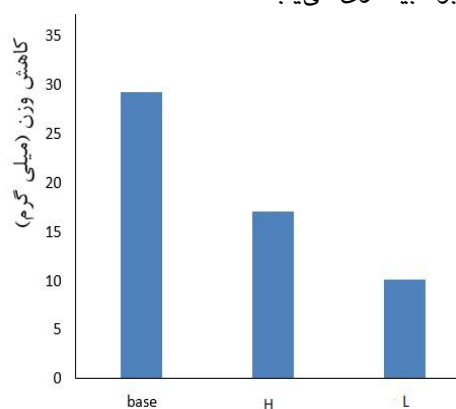
کد نمونه (حرارت ورودی)	میانگین سختی تا عمق $250\mu\text{m}$ (ویکرز)	بالاترین سختی اندازه‌گیری شده (ویکرز)
H (بالا)	۴۹۶	۵۴۷
L (کم)	۶۰۶	۶۳۵



شکل ۷. نمودار ریزسختی از فلز پایه تا سطح روکش برای نمونه‌ها با حرارت ورودی متفاوت

بررسی رفتار سایش

شکل ۸ نتایج آزمون سایش بر اساس کاهش وزن تا مسافت ۱۰۰۰ متر را برای نمونه‌های روکش‌کاری‌شده با حرارت ورودی مختلف و نمونه بدون روکش نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که اعمال روکش مقاومت به سایش فولاد زنگ‌نزن را بهبود می‌دهد. همچنین با کاهش حرارت ورودی در روکش‌کاری، مقاومت به سایش بهبود بیشتری می‌یابد.



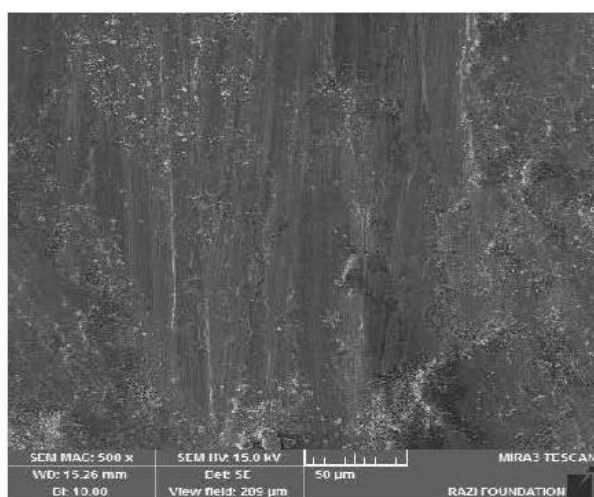
شکل ۸. کاهش وزن بین‌های روکش‌کاری شده با پین بدون روکش

کاهش وزن کمتر در نمونه با حرارت ورودی کم، نمونه L، در مقایسه با نمونه با حرارت ورودی بالا، نمونه H، را می‌توان به

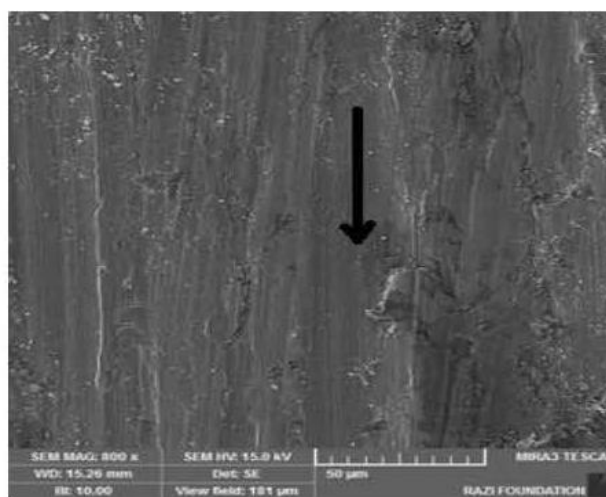
ایجاد ریزساختار ظریف‌تر و افزایش میزان سل‌های یوتکتیک و کاربید کروم نسبت داد. رقت آهن تأثیری زیادی در مقاومت به سایش استلایت دارد و هرچه مقدار آن در فلزجوش استلایت، کمتر باشد، مقاومت به سایش بیشتر خواهد بود [۱۸]. طبق آنالیز خطی طیف‌سنج انرژی، نمونه با حرارت ورودی کم، رقت آهن کمتری را نسبت به نمونه با حرارت ورودی بالا در روکش دارد.

بررسی سطوح ساییده شده روکش

شکل ۹ تصاویر میکروسکپ الکترونی از سطح ساییده‌شده پین در نمونه روکش‌شده با استلایت ۴ را نشان می‌دهد. در شکل ۹الف (نمونه H) و شکل ۹ب (نمونه L) مشاهده می‌شود که مسیر سایش موازی با جهت سایش است. برآمدگی‌های کوچک در محل‌هایی از سطح ساییده‌شده مشخص است که می‌تواند ناشی از جدا شدن ذرات است. همچنین ذرات ورقه‌ای روی سطح سایش گیر کردند. پله‌ای که در محدوده برآمدگی هستند همیشه روبه‌روی جهت سایش قرار دارند. به نظر می‌رسد ذرات به صورت ورقه‌ای از سطح جدا شده‌اند بنابراین می‌تواند مکانیزم سایش چسبان در اثر تغییر شکل مومسان باشد.



ب



الف

شکل ۹ تصاویر میکروسکپ الکترونی از سطح ساییده شده روکش

نتیجه‌گیری

1. با کاهش حرارت ورودی به دلیل سرعت انجام بالاتر، روکش با ریزساختار دندریتی و سل‌های یوتکتیکی ظریف‌تر ایجاد می‌شود.
2. با کاهش حرارت ورودی رقت آهن در روکش کاهش یافته و در نتیجه تشکیل کاربید ابتدایی M_7C_3 افزایش می‌یابد.
3. سختی سطح روکش و میانگین سختی روکش‌ها تا عمق ۲۵۰۰ میکرومتر با کاهش حرارت ورودی افزایش می‌یابد.
4. روکش‌کاری با استلایت ۴، مقاومت به سایش فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی 15-5PH را بهبود می‌دهد. همچنین مقاومت به سایش روکش استلایت ۴ با کاهش حرارت ورودی افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از زحمات و همکاری ارزشمند جناب آقای مهندس حمید فتحی مربی فنی و حرفه‌ای کارگاه جوش نکا و همچنین از جناب آقای مهندس سیداحمد طاهری مربی فنی و حرفه‌ای کارگاه جوش ساری، برای انجام جوشکاری در این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

منابع و مراجع

- [1] K. Shah, I. Haq, A. Khan, S. Ali Shah, Parametric study of development of Inconel-steel functionally graded Materials by laser direct metal deposition, *Materials and Design* 54 (2014) 531–538.
 - [2] C.C. Hsieh, Y.C. Liu, J.C. Wang, Microstructural Evolution with Various Ti Contents in Fe-Based Hardfacing Alloys Using a GTAW Technique, *Metals and Materials International* 20 (2014) 701–712.
 - [3] ASM Metals Handbook, Volume 5, Surface Engineering, 1994.
 - [4] S. Zhang, D. Zhao, *Aerospace Materials Handbook*, 2013, Taylor & Francis Group
 - [5] J. R. Davis, *Cobalt-base alloys, in Nickel, Cobalt, and Their*
- [15] حسن پراغی کوتیلنی، بهنام لطفی، محمد حسین باغبانین، رضا چراغی کوتیلانی، ارزیابی خواص مکانیکی و متالورژیکی روکش استلایت حاصل از جوشکاری FCAW با تغییر پارمترهای جوشکاری، چهاردهمین سمینار مهندسی سطح (۱۳۹۲).
- [16] مارال احمدپور سامانی، مرتضی شمعیان و احمد ساعتچی، رویه کاری فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی با استلایت ۶ و ارزیابی ریزساختار و تاثیر حضور لایه میانی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی، علوم و مهندسی سطح ۸ (۱۳۸۸) ۴۹–۵۸
- [17] رحیم اعرابی جشوقانی، مهران جابرزاده، مرتضی شمعیان، تاثیر حرارت ورودی بر ریزساختار و رفتار سایشی چدن داکتیل رویه کاری سده با سوپر آلیاژ پایه کبالت به روش TIG، چهارمین همایش مشترک انجمن مهندسی متالورژی و جامعه علمی ریخته‌گری ایران (۱۳۸۹) ۲۰۲۳–۲۰۳۲
- [18] A. Gholipour, M. Shamanian, F. Ashrafizadeh, Microstructure and wear behavior of stellite 6 cladding on 17-4 PH stainless steel, *Journal of Alloys and Compounds* 509 (2011) 4905–4909.