

رویه کاری فولاد ساده کربنی با استلایت ۶ و ارزیابی ریزساختار و تأثیر حضور لایه میانی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی و آستنیتی

نسیم نجاری، مرتضی شمعیان و احمد ساعتچی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این مقاله به بررسی ساختار میکروسکوپی، فازشناسی و سختی روکشی از استلایت ۶ بر سطح فولاد ساده کربنی بدون حضور و با حضور لایه میانی مارتنزیتی و آستنیتی پرداخته شده است. جهت روکش کاری از روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) استفاده شد. نمونه‌ها توسط آزمون های متالوگرافی نوری، میکروسکوپ الکترونی مجهز به طیف‌سنجی انرژی (EDS)، پراش پرتو ایکس (XRD) و سختی سنجی مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌های پژوهش نشان داد که ساختار پوشش متشکل از فازهای کاربید کروم ریز بود که به صورت رسوب در بین دندریت‌ها توزیع شده‌اند. با افزایش تعداد پاس‌های استلایت و حضور لایه میانی، میزان رقت آهن در پوشش کاهش و سختی افزایش یافت. رقت آهن در روکش باعث کاهش سختی، مقاومت به سایش و خوردگی می‌شود. در اثر اعمال لایه میانی رقت آهن در پوشش کاهش یافته است و سختی افزایش می‌یابد.

واژه های کلیدی: استلایت، ریزساختار، جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW)، لایه میانی، رقت.

Hardfacing of stellite 6 on plain carbon steel and evaluation of the effect of a martensitic and austenitic stainless steel interlayer

N. Najari, M. Shamanian and A. Saatchi

Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract

In this paper the microstructure, phase formation and Vickers hardness profile of the hardfaced layer of Stellite-6 filler metal on carbon steel were investigated without and with martensitic stainless steel and austenitic stainless steel interlayer. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) cladding was carried out for deposition. The specimens were investigated by the X-ray diffractometer (XRD), energy dispersion spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM) and microhardness test. The results show that the microstructure of these claddings includes chromium carbide phases dispersed in the matrix of the Co-based alloy with a dendritic structure. With the increasing of Stellite layers and interlayer, hardness increased and dilution decreased. The dilution of the clad layer by Fe from the substrate decreases hardness, wear and corrosion resistance. The interlayer resulted in a decrease in the dilution of Fe and increase in hardness.

Keywords: Stellite 6, Microstructure, Gas tungsten arc welding (GTAW), Interlayer, Dilution

E-mail of corresponding author: shamanian@cc.iut.ac.ir

مقدمه

بالا کار می‌کنند، می‌توان به مقاومت آنها در برابر سایش

واکسیداسیون شدید افزود [۸].

پوشش دادن یک ماده توسط مواد دیگر ترکیب خواص را به دنبال دارد که خواص ساختاری فلز پایه مانند مقاومت خوردگی، مقاومت سایشی، انتقال حرارت و یا الکتریکی توسط پوشش بهبود می‌یابد [۹]. از فرآیندهای متداول در مهندسی سطح استفاده از روش‌های معمول جوشکاری برای پوشش دهی سطح قطعات می‌باشد. در روش جوشکاری سطحی ویژگی‌هایی از جمله ضخامت پوشش، چسبندگی خوب پوشش به زیر لایه و نرخ رسوب‌گذاری بالا موجب گردیده‌است که از این روش برای پوشش‌دهی قطعات استفاده گردد [۱۰]. جوشکاری قوسی تنگستن - گاز یکی از روش‌های معمول برای پوشش‌دهی سطح قطعات می‌باشد. در این روش که برای جوشکاری فلزات پایه بسیار حساس مناسب است، جوش بسیار تمیزی ایجاد می‌شود. گاز محافظ مورد استفاده معمولاً آرگون، هلیوم یا مخلوطی از هر دو می‌باشد. از مزایای این روش می‌توان به برخورداری از انرژی ورودی زیاد اما متمرکز، امکان جوشکاری قطعات نازک و پیچیده به خاطر کم بودن میزان اعوجاج ناشی از آن و میزان رقت پایین اشاره کرد [۱۱].

در صنایع نفت و گاز از شیرهای با جنس فولادهای ساده کربنی به‌طور گسترده استفاده می‌شود [۱۲] که با روکش کاری جوشی دروازه و نشیمنگاه دروازه شیرها توسط آلیاژهای پایه کبالت می‌توان به مقاومت آنها در برابر سایش و خوردگی افزود. برای مثال با اعمال پوشش استلایت ۶ بر روی نشیمنگاه و دروازه این شیرها در مسیرهایی که تحت فشار و دمای بالا کار می‌کنند، می‌توان از خوردگی و سایش شدید آنها جلوگیری کرد، ولی تنش‌های کششی پسماند که نتیجه فرآیند سخت‌پوشی هستند، یکی از نیروهای محرک برای القای شکست بر لایه سخت‌پوشی شده می‌باشند که بر طول عمر قطعات سخت‌پوشی شده تأثیر می‌گذارند [۱].

در زمینه اعمال پوشش استلایت ۶ بر سطح فولاد ساده کربنی و تأثیر لایه میانی بر خواص پوشش از جمله رفتار

آلیاژهای پایه کبالت (استلایت) از طریق استحکام دهی محلول جامد و رسوب دهی کاربیدها استحکام می‌یابند. استحکام‌دهی محلول جامد از طریق افزودن عناصری نظیر کروم، مولیبدن، نیکل، تنگستن و استحکام دهی از طریق کاربیدها عموماً در اثر افزودن عنصر کروم و تشکیل کاربیدهای مختلف این عنصر حاصل خواهد شد [۱]. از مهمترین خواص آلیاژهای پایه کبالت مقاومت در برابر شرایط سایشی شدید، حفظ استحکام مکانیکی در دمای بالا، مقاومت در برابر عوامل مخربی چون اکسیداسیون، خوردگی در دمای بالا، خستگی حرارتی و خزش [۲] و مقاومت در برابر ترک‌های انجمادی در منطقه ذوب [۳] می‌باشند. سختی این آلیاژها بین ۳۷۰-۴۷۵ BHN می‌باشد [۴]. کبالت در دمای محیط دارای ساختار HCP است در دمای بالاتر از $400^{\circ}C$ به FCC استحاله می‌یابد. انرژی نقص در چیده شدن در هر دو آلوتروپی کم است که این موضوع باعث می‌گردد آلیاژهای پایه کبالت در برابر تنش رفتار بهتری نشان دهند [۵]. بنابر خواص ذکر شده، آلیاژهای پایه کبالت به‌عنوان پوشش در صنایع مختلف مانند صنایع هوا-فضا، صنایع نفت و گاز، صنایع هسته‌ای، صنایع اتومبیل‌سازی، صنایع شیمیایی و غیره به‌طور گسترده کاربرد دارند [۶]. به‌عنوان مثال در صنایع نفت و گاز از این نوع پوشش بر روی دروازه و نشیمنگاه دروازه شیرها در مسیرهایی که تحت سایش شدید و خوردگی در دمای بالا قرار دارند [۵]، همچنین در پره‌های توربین بخار استفاده می‌شود [۷].

فولادهای ساده کربنی به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب و اقتصادی بودن، در صنعت به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌گردند. فولادهای ساده کربنی در دماهای بالا به شدت اکسید می‌شوند، لایه‌های اکسید آهن نمی‌توانند محافظ خوبی برای سطح زیرین خود باشند، همچنین این گروه از فولادها دارای مقاومت به سایش بالایی نیستند. از طریق اعمال پوشش‌های مقاوم به سایش و اکسیداسیون بر روی این گروه از فولادها، در سیستم‌هایی که در دما و فشار

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد A105، سیم جوش‌های فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی و فولاد زنگ‌نزن آستنیتی

	C	Mn	Cr	Si	Al	Cu	Co	Ni	Mo	Fe
فولاد ساده کربنی	0.284	0.62	---	0.1	---	---	---	---	---	Bal
فولاد زنگ‌نزن ۴۱۰	0.15	0.78	12.34	0.24	0.01	0.36	0.05	0.31	0.13	Bal
فولاد زنگ‌نزن ۳۰۹	0.08	1.8	23.5	0.8	---	---	---	13.5	---	Bal

استفاده شد. عملیات سنگ‌زنی و سنباده‌زنی سطوح کلیه نمونه‌ها به‌منظور حذف لایه‌های اکسیدی و دیگر آلودگی‌ها انجام شد.

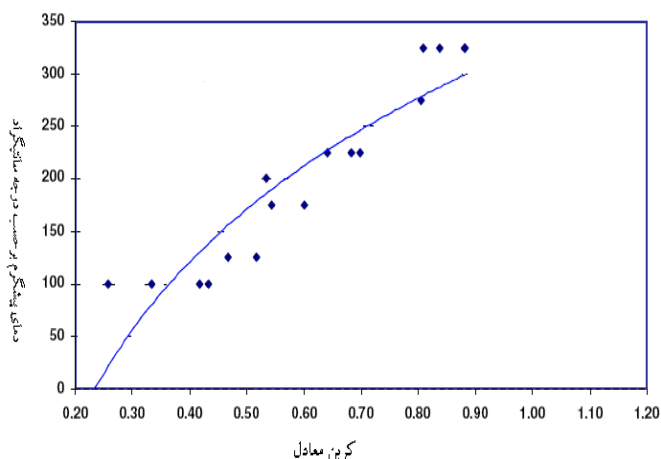
پیشگرم کردن نمونه‌ها

قبل از عملیات روکش‌دهی، نمونه‌ها تا دمای 150°C پیشگرم شدند، برای اطمینان از اینکه زیرلایه به دمای پیشگرم می‌رسد از گچ 150°C استفاده شد. دمای حرارتی پیشگرم با توجه به نمودار شکل ۱ و محاسبه کربن معادل مطابق رابطه (۱) تخمین زده شد [۱۴].

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

با توجه به رابطه فوق کربن معادل فولاد A105 برابر است

$$C.E. = 0.4427$$



شکل ۱. نمودار دمای پیشگرم بر حسب کربن معادل برای فولادهای ساده

کربنی و کم‌آلیاژ [۱۶]

روکش‌کاری

روکش‌کاری نمونه‌ها با استفاده از فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز به‌ترتیب زیر انجام گرفت:

سایشی و خوردگی و جلوگیری از شکست لایه روکش، تحقیقاتی به‌چاپ نرسیده‌است. در این تحقیق استلایت ۶ توسط روش جوشکاری قوسی تنگستن - گاز با تعداد لایه‌های متفاوت و همچنین در حضور دو لایه میانی متفاوت از جنس فولاد زنگ‌نزن آستنیتی و مارتنزیتی بر سطح فولاد ساده‌کربنی اعمال شد.

در مجموع هدف از انجام این تحقیق عبارتست از:

- ۱- بررسی ریزساختار، میزان رقت و سختی نمونه‌های روکش‌کاری جوشی شده.
- ۲- بررسی تأثیر حضور لایه‌میانی بر خواص فوق.
- ۳- مقایسه خواص بررسی شده در بین نمونه‌های با حضور لایه‌میانی و بدون حضور لایه‌میانی.
- ۴- انتخاب لایه‌میانی مناسب که بتواند علاوه بر رسیدن به خواص مطلوب روکش استلایت توجیه اقتصادی نیز داشته باشد.

روش تحقیق

مواد مورد استفاده

جدول ۱ ترکیب شیمیایی فولاد ساده کربنی A105 که در فلنج‌ها، فیتینگ‌ها و شیرها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳] سیم‌جوش‌های فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی از نوع ۴۱۰ S.S. و آستنیتی از نوع ۳۰۹ S.S. را نشان می‌دهد. در جدول ۲ ترکیب شیمیایی استلایت ۶ مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

آماده‌سازی نمونه‌ها

به‌منظور انجام آزمایش‌های متالوگرافی، سختی سنجی، پراش پرتو ایکس و آزمون طیف‌سنجی انرژی از بلوک‌هایی در ابعاد $10 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ از فولاد A105

جدول ۲. ترکیب شیمیایی استلایت ۶

C	Mn	Cr	Si	W	Fe	Ni	Mo	Co
1.57	0.3	28.7	1.0	3.9	0.4	1.6	0.6	Bal

۱۲۰، ۳۲۰، ۶۰۰ و ۱۰۰۰ سنباده‌زنی و سپس با پودر ۰/۳ میکرون پولیش شدند. نمونه‌ها توسط محلول کلروفوریک شامل الکل با ترکیب شیمیایی ۹۵CC الکل اتانول، ۲CC اسید کلریدریک و ۵ gFe₂O₃ اچ شدند.

آزمون ریزسختی سنجی

آزمایش ریزسختی سنجی ویکرز با نیروی ۱۰۰P با دستگاه Leitz بر مقطع عرضی نمونه‌های پولیش شده از پوشش به سمت زیرلایه انجام شد.

اندازه‌گیری درجه رقت و ترکیب شیمیایی

به منظور تهیه پروفیل ترکیب شیمیایی از آنالیز خطی^۱ طیف سنجی انرژی استفاده شد. این کار توسط اندازه‌گیری در امتداد خطی از زیرلایه به سمت سطح نمونه‌های روکش کاری شده، انجام شد.

آزمون پراش پرتو ایکس

از دستگاه پراش پرتو ایکس فیلیپس مدل Philips X Pert-MPD System با تیوب مس با $\lambda = 1/54.04 \text{ \AA}$ برای شناسایی ساختار و فازهای روکش در سطح، در نزدیک فصل مشترک با زیرلایه و همچنین ذرات حاصل از سایش استفاده گردید.

نتایج و بحث

ریزساختار آلیاژهای پایه کبالت در شرایط جوشکاری بیشتر شامل کاربیدهای M_7C_3 و $M_{23}C_6$ و ترکیبات بین فلزی و زمینه کبالت γ با ساختار FCC و کبالت ϵ با ساختار HCP می‌باشد. ریزساختار آلیاژ سخت پوشی استلایت ۶ که توسط میکروسکوپ نوری در شکل ۲ نشان داده شده است. ریزساختار روکش در هر چهار نمونه (بدون

۱- روکش‌کاری استلایت ۶ به صورت تک لایه، دو لایه و سه لایه با شدت جریان A ۸۵ با استفاده از گاز محافظ آرگون با خلوص ۹۹/۹۹٪، به منظور بررسی تأثیر درجه رقت بر ریزساختار، سختی و توزیع عناصر آلیاژی (ترکیب شیمیایی) انجام گرفت.

۲- رسوب دادن یک لایه میانی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۱۰ بر سطح فولاد A105 توسط فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و سپس روکش‌کاری استلایت ۶ بر سطح آن با همان روش.

۳- رسوب دادن یک لایه میانی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۹ بر سطح فولاد A105 توسط فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و سپس روکش‌کاری استلایت ۶ بر سطح آن با همان روش.

دستگاه جوشکاری مورد استفاده Miller Electric MFG مدل 330A/BPCY50 بود. در جدول ۳ پارامترهای جوشکاری ارایه شده است.

جدول ۳. پارامترهای جوشکاری

الکتروود	W-2% thorium
قطر الکتروود	2.4 mm
قطبیت	DCEN
جریان جوشکاری (A)	120
سرعت جوشکاری (m/s)	1.3×10^{-3}
دبی گاز آرگون (L/min)	8

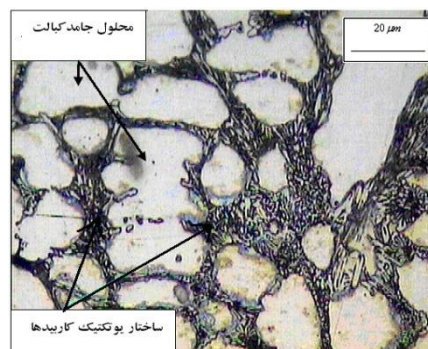
بررسی‌های ریزساختاری

جهت مطالعات ریزساختاری و بررسی فازهای تشکیل شده و تأثیر درجه رقت از میکروسکوپ نوری NIKOLN، میکروسکوپ الکترونی روبشی PHILIPS و تکنیک پراش پرتو ایکس استفاده شد. نمونه‌های تهیه شده برای متالوگرافی در مقطع عرضی برش داده و با سنباده‌های ۸۰،

¹ Line Scan Analysis

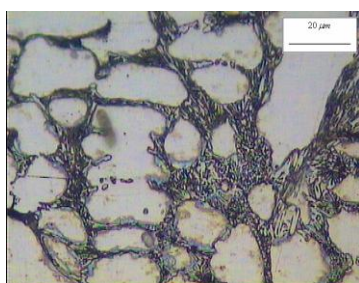
شکل ۴ مکانیزم رشد روکش استلایت ۶ بر سطح فولاد ساده کربنی از مرز مشترک به سمت روکش همراه با شماتیکی از آن را نشان می‌دهد [۱۷]. با توجه به این شکل رشد از مرز مشترک زیرلایه به سمت روکش به صورت صفحه‌ای، سلولی، دندریتی ستونی و سپس دندریتی هم محور می‌باشد.

تصویر میکروسکوپ نوری در شکل ۵ نشان‌دهنده رشد اپیتکسیال در نمونه با لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ در مرز مشترک لایه میانی با روکش استلایت ۶ می‌باشد. ساختار دانه در نزدیکی خط ذوب جوش در صورتی که ساختار بلوری فلز جوش و فلز پایه یکسان باشد، به صورت رشد اپیتکسیال خواهد بود [۱۵]. در این نمونه، چون ساختار بلوری لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹، FCC و ساختار بلوری استلایت ۶ نیز FCC است، بنابراین رشد اپیتکسیال در مرز مشترک لایه میانی و روکش مشاهده شد.

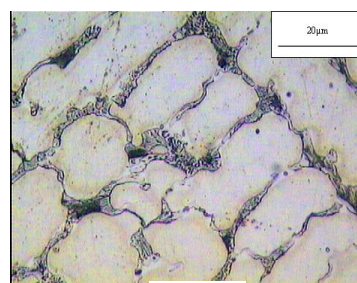


شکل ۲. ریزساختار روکش آلیاژ استلایت

لایه میانی و با حضور لایه میانی) شامل رسوب کاربیدها (مناطق تیره) در بین دندریت های کبالت (مناطق روشن) بود. در این شکل رسوب های کاربید به صورت لایه لایه (ساختار یوتکتیک) در زمینه کبالت رشد کرده اند. در شکل ۳ رسوب کاربیدها در بین دندریت های کبالت قابل مشاهده است با توجه به این دو تصویر مشاهده شد که در نمونه با سه پاس روکش استلایت (شکل ۳-ب) نسبت به نمونه دیگر (شکل ۳-الف)، کاربیدها به هم فشرده تر و به صورت مجتمع می‌باشند.

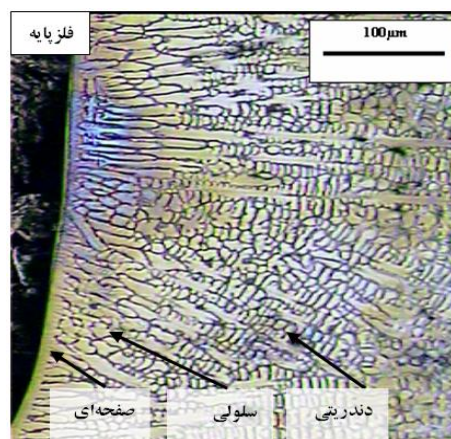
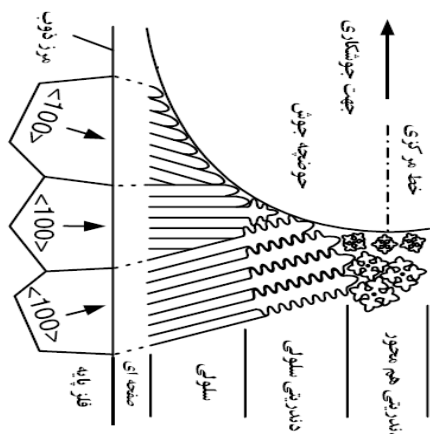


(ب)



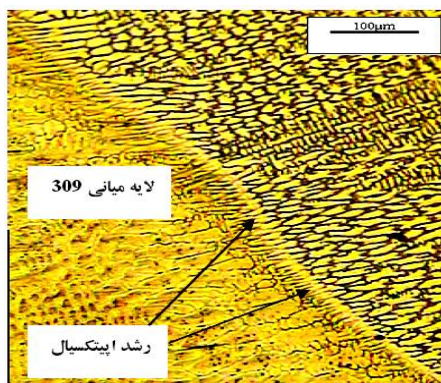
(الف)

شکل ۳. ریزساختار روکش استلایت با الف) (۱ پاس، ب) (۳ پاس)



شکل ۴. مکانیزم رشد در روکش استلایت بر سطح فولاد ساده کربنی [۱۷]

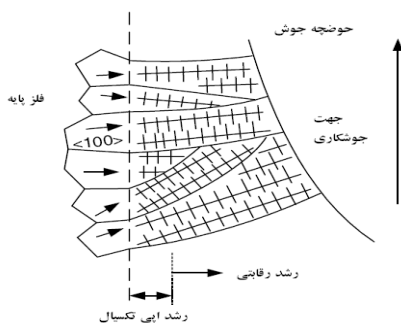
گرا دیان دمایی در این جهت و در نتیجه بیشترین میزان خروج حرارت در این جهت است. اما دندریت‌های ستونی یا سلول‌های درون هردانه تمایل به رشد در جهت آسان را دارند. برای مواد با ساختار FCC جهت $\langle 100 \rangle$ جهت رشد آسان به‌شمار می‌رود. بنابراین در حین انجماد، دانه‌هایی که جهت رشد آسان آنها عمود بر مرز حوضچه جوش است، به سهولت بیشتری رشد می‌کنند و دانه‌هایی که جهت گیری مناسبی ندارند از این رقابت خارج می‌شوند. بنابراین مکانیزم رشد رقابتی، ساختار دانه در فلز جوش را تعیین می‌کند [۱۴]. در شکل ۶ می‌توان چگونگی رشد دندریت‌های ستونی در روکش استلایت ۶ در نمونه



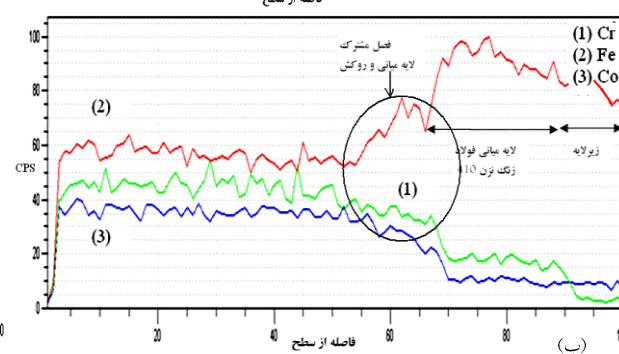
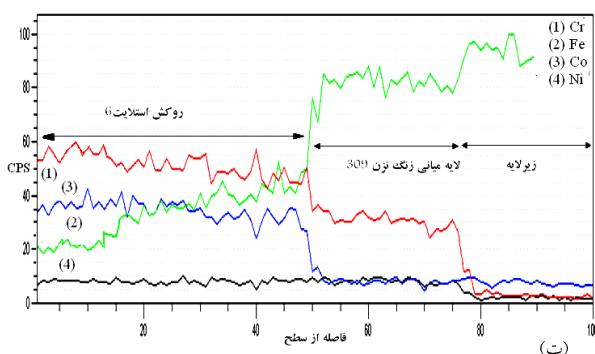
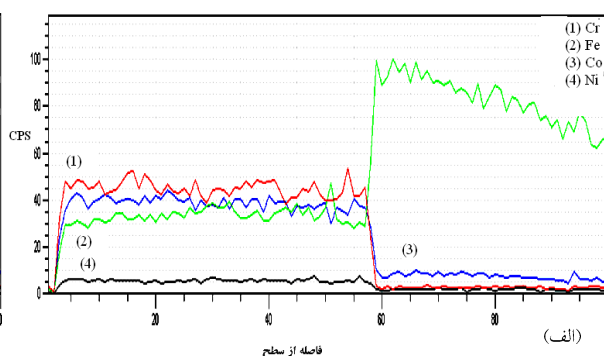
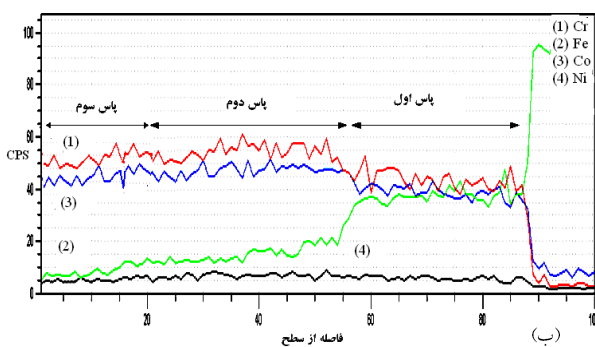
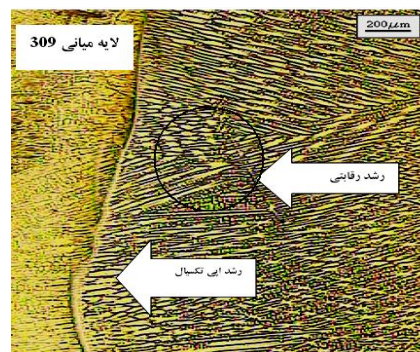
شکل ۵. رشد اپیتکسیال در مرز مشترک لایه میانی فولاد

زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ با روکش استلایت

در حین انجماد فلز جوش، دانه‌ها به رشد در جهت عمود بر مرز حوضچه تمایل دارند. علت این امر، وجود بیشترین



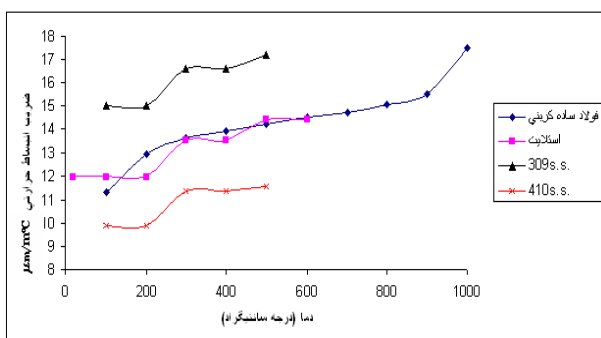
شکل ۶. رشد دندریت‌های ستونی در روکش استلایت با لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ بر اساس مکانیزم رشد رقابتی



شکل ۷. پروفیل ترکیب شیمیایی از آنالیز خطی طیف سنجی انرژی نمونه با (الف) پاس ۱ (ب) پاس ۳ (پ) لایه میانی ۳۰۹ و (ت) پاس استلایت

(ت) لایه میانی ۳۰۹ و پاس استلایت

هنگامی که لایه سخت‌پوشی شده از دمای سالیدوس تا دمای اتاق سرد می‌شود، دچار انقباض گشته و این باعث ایجاد تنش‌های کششی می‌گردد. هنگامی که انبساط فلز پایه بیشتر از ماده سخت‌پوشی است، تنش پسماند در لایه کمتر از هنگامی است که انبساط بین فلز پایه و روکش برابر باشد. به معنای دیگر، اگر روکش ضریب انبساط حرارتی بیشتری نسبت به فلز پایه داشته باشد، تنش پسماند بیشتر خواهد بود. افزایش در انبساط فلز پایه برای کاهش تنش پسماند در روکش مفید و مؤثر است [۱۶]. لایه میانی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۱۰ با وجود اینکه محتوای کروم روکش را افزایش می‌دهد ولی همانطور که در نمودار شکل ۸ دیده می‌شود [۱۷]، دارای ضریب انبساط حرارتی کمتری نسبت به فولاد ساده کربنی (زیرلایه) و استلایت (روکش) می‌باشد و باعث افزایش تنش‌های پسماند و ایجاد ترک می‌گردد (شکل ۹).



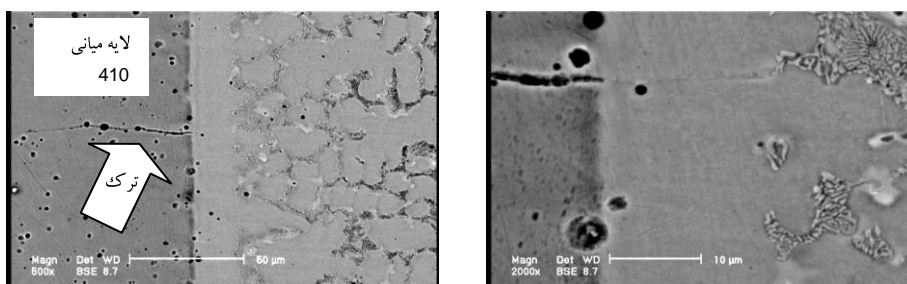
شکل ۸. نمودار ضریب انبساط حرارتی بر حسب دما برای فولاد ساده کربنی، استلایت و فولاد زنگ‌نزن ۳۰۹ و ۴۱۰ [۱۹]

نمودار پراش پرتو ایکس از سطح روکش (شکل ۱۰) دلیلی بر وجود کاربیدهای کروم، Cr_7C_6 و $Cr_{23}C_6$ است. این نمودار فازهای FCC و HCP کبالت موجود در روکش استلایت را نشان می‌دهد. در نزدیک فصل مشترک نمونه‌ها، پیک‌های مربوط به کاربیدهای کروم در مقایسه با سطح بیشتر مشاهده شدند. همچنین پیک‌های عنصر آهن در نزدیک فصل مشترک مشخص شدند که نشان‌دهنده رقت بیشتر آهن در نزدیک فصل مشترک است (شکل ۱۱).

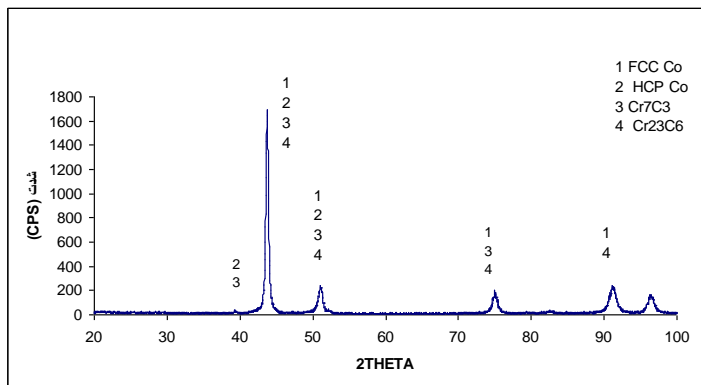
چهارم، بر اساس مکانیزم رشد رقابتی به همراه شماتیکی از آن را مشاهده کرد.

به منظور تهیه پروفیل ترکیب شیمیایی از آنالیز خطی^۱ طیف سنجی انرژی استفاده گردید. این کار توسط اندازه‌گیری در امتداد خطی از زیرلایه به سمت سطح انجام شد. نتایج مربوط به تغییر ترکیب شیمیایی در شکل‌های ۷-الف، ب، پ و ت برای جوش‌های تک لایه، سه‌لایه، با لایه میانی ۴۱۰ و با لایه میانی ۳۰۹ آورده شده است. در نمونه تک لایه به دلیل نرخ سرد شدن آرام با توجه به حجم جوش و آشفته‌گی مذاب تغییرات میزان کبالت و آهن کاملاً یکنواخت می‌باشد. در نمونه سه‌لایه به دلیل تأثیر لایه دوم و سوم و گرمایش ناشی از آن و ذوب مجدد لایه اول، اثر ترکیب شیمیایی فلز پایه بر توزیع عناصر آلیاژی لایه رسوب داده شده کاهش پیدا کرده و نقش آلیاژ استلایت ۶ بیشتر و میزان Co و Cr با افزایش فاصله از فصل مشترک افزایش پیدا کرده است. البته از قسمت‌های انتهایی لایه اول تا انتهای لایه سوم تغییرات میزان Co بسیار ناچیز می‌باشد. کاهش میزان آهن از زیرلایه به سمت روکش در نمونه با سه‌لایه جوش (شکل ۷-ب) نسبت به نمونه تک‌لایه (شکل ۷-الف)، بسیار بیشتر می‌باشد. در نمونه با لایه میانی مارتنزیتی محتوای آهن در روکش نسبت به دو نمونه اول افزایش زیادی داشت و به همان میزان مقدار Co و Cr کاهش یافت (شکل ۷-پ). در نمونه با لایه میانی آستنیتی، Cr نفوذ کرده در روکش بسیار زیاد است ولی نفوذ آهن در استلایت نسبت به نمونه با لایه میانی مارتنزیتی کم شده و مقدار آن در حد مقدار Co باقی مانده است. در نمونه با یک لایه روکش استلایت و نمونه با لایه میانی آستنیتی تنها از یک پاس استلایت به عنوان روکش استفاده شد، با توجه به آنکه در نمونه با لایه میانی آستنیتی رقت آهن کمتر از نمونه اول و میزان Cr بیشتر، و این مقدار مشابه با مقدار Cr موجود در نمونه با سه پاس استلایت بود. بنابراین نمونه با لایه میانی آستنیتی و یک لایه روکش استلایت نمونه بهینه است.

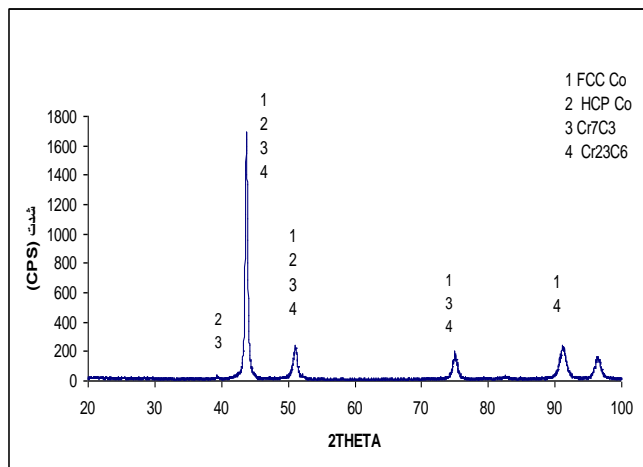
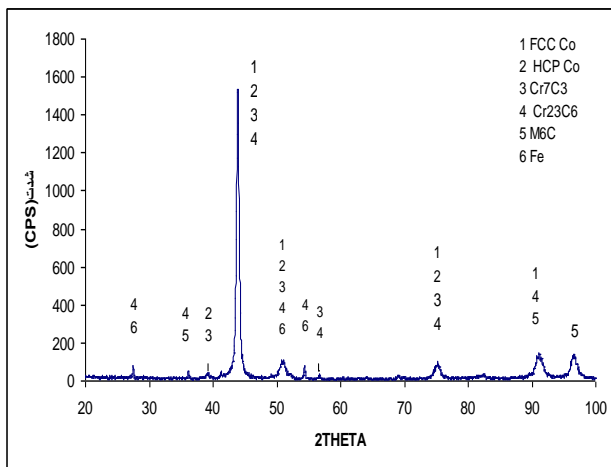
^۱ Line Scan Analysis



شکل ۹. ترک ایجاد شده در لایه میانی مارتنزیتی



شکل ۱۰. نمودار پراش پرتو ایکس از سطح روکش استلایت



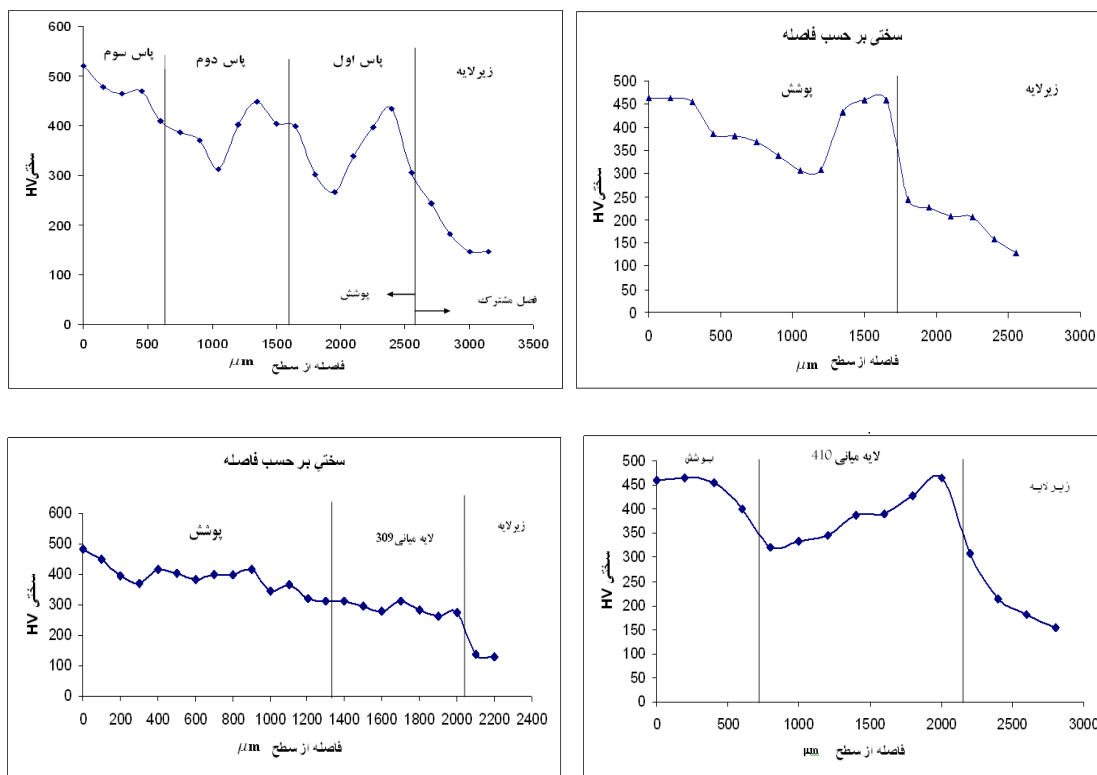
شکل ۱۱. نمودار پراش پرتو ایکس از فصل مشترک روکش و زیرلایه در نمونه (الف) تک لایه و (ب) سه لایه

سطح ریزتر می شود. به دلیل دوباره ذوب شدن لایه های زیری در اثر جوشکاری لایه های بالایی دندریت های لایه اول ضخیم شده اند و چون سرعت سرد شدن در لایه بالایی بیشتر است دندریت ها در این قسمت ظریف هستند. بنابراین سختی در این نمونه بالاتر می باشد.

نتیجه گیری

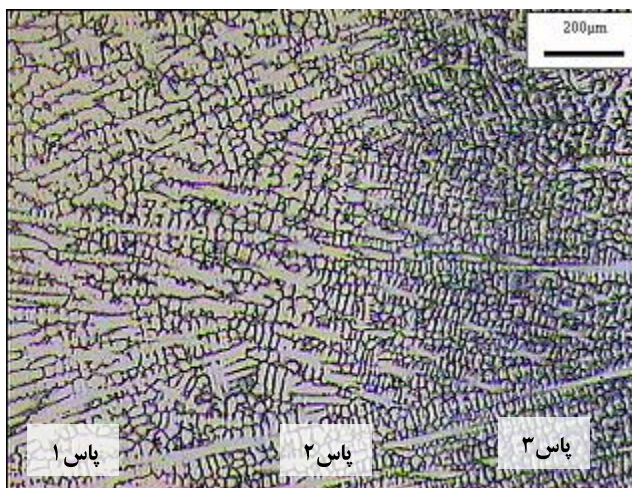
۱. در تمام نمونه ها ریزساختار پوشش استلایت ۶ شامل زمینه کبالت γ با ساختار FCC و مقدار کمی

از مقایسه نمودارهای حاصل از ریزسختی سنجی و بیکرز (شکل های ۱۲-الف، ب، پ و ت) می توان دریافت که نمونه با سه پاس روکش (شکل ۱۲-ب) دارای بالاترین سختی در سطح نسبت به سایر نمونه ها می باشد. نمونه با لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ دارای پروفیل سختی آرامی از سطح به سمت زیرلایه است (شکل ۱۲-ت). شکل ۱۳ ریز ساختار نمونه با سه پاس روکش استلایت در بزرگنمایی کم ($\times 50$) را نشان می دهد که شامل دندریت هایی است که از سمت مرز مشترک به طرف



شکل ۱۲. نمودارهای حاصل از ریزسختی سنجی ویکرز نمونه‌ها با (الف) پاس ۱ (ب) پاس ۳ (پ) لایه میانی ۴۱۰ و پاس استلایت

(ت) لایه میانی ۳۰۹ و پاس استلایت



شکل ۱۳. ریز ساختار نمونه با سه پاس روکش استلایت

۳. با توجه به پروفیل ترکیب شیمیایی در بین چهار نمونه مورد آزمایش، نمونه با ۳ پاس روکش استلایت دارای کمترین میزان رقت آهن بود.
 ۴. افزایش سختی در روکش استلایت در مجاورت فلز پایه ناشی از تشکیل مارتنزیت در این ناحیه است. کاهش درصد کبالت و افزایش درصد آهن در اثر

کبالت ϵ با ساختار HCP همراه با کاربیدهای $M_{23}C_6$ و M_7C_3 و ترکیبات بین فلزی بود.
 ۲. مکانیزم رشد روکش استلایت ۶ بر سطح فولاد ساده کربنی از مرز مشترک به سمت روکش به صورت صفحه‌ای، سلولی، دندریتی ستونی و سپس دندریتی هم‌محور می‌باشد.

مراجع

1. J.R. Davis, Davis and associates, *Hardfacing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining*, ASM Metals Handbook volume, 6, 1993, 789-794.
2. W.C. Lin, C. Chen, *Characteristics of thin surface layers of cobalt-based alloys deposited by laser cladding*, Surface and Coatings Technology, 200, 2006, 4557 – 4563.
3. S.J. Matthews, Haynes International, Inc, *ASM Metals Handbook*, Vol.6, 1993, 598-600.
4. C.R. Tottle, *An Encyclopedia of Metallurgy and Material*, British Library catalog in publication elata, pp.311, 1984.
5. C.D. Opris, R. Liu, R.M.X. Yao, X.J. Wu, *Development of Stellite alloy composites with sintering/HIPing technique for wear-resistant applications*, Materials and Design 28, 2007, 581–591.
6. U. Malayoglu, A. Neville, H. Lovelock, *Assessing the kinetics and mechanisms of corrosion of cast and HIPed Stellite 6 in aqueous saline environments*, Corrosion Science 47, 2005, 1911–1931.
7. S. Sun, S.Y. Durand, M. Brandt, *Parametric investigation of pulsed Nd: YAG laser cladding of stellite 6 on stainless steel*, Surface and Coatings Technology 194, 2005, 225–231.
8. Elevated-temperature corrosion properties of stainless steel, *ASM Metals Handbook*, Vol.6, 1997, 160-162.
9. F. Molleda, J. Mora, F.J. Molleda, E. Mora, E. Carrillo, B.G. Mellor, *A study of the solid-liquid interface in cobalt base alloy (Stellite) coatings deposited by fusion welding (TIG)*, Materials Characterization 57, 2006, 227–231.
۱۰. شمعیان مرتضی، عیسی پور کوشالی سهیل، رویه‌کاری فولاد ساده کربنی با فولاد زنگ نزن آستنیتی به روش جوشکاری و اثر آن بر رفتار اکسیداسیونی، هفتمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی تهران، ۱۳۸۴، ۳۹۳-۳۹۶.
11. *Hardsurfacing Application Manual, A Guide for Selection Use of Hardfacing Welding Alloy*, Teledyne Canada HARFAC-McKay, Publication No. 92- 119, 1991.

امتزاج فلز جوش با فلز پایه سبب ناپایداری ساختار HCP و تشکیل ورق‌های مارتنزیتی با ساختار کریستالی BCT در این ناحیه شد. در اثر کاهش رقت در سطح نمونه با سه لایه روکش استلایت سختی سطح در این نمونه بیشتر از سختی سطح نمونه‌های تک‌لایه و دو لایه بود. با فاصله گرفتن از مرز مشترک سختی فلز جوش با کاهش اثر رقت افزایش یافت.

۵. لایه میانی فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۱۰ با وجود اینکه محتوای کروم روکش را افزایش می‌دهد ولی دارای ضریب انبساط حرارتی کمتری نسبت به فولاد ساده کربنی (زیرلایه) و استلایت (روکش) می‌باشد و باعث افزایش تنش‌های پسماند و ایجاد ترک می‌گردد.

۶. لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ باعث کاهش تنش‌های پسماند می‌گردد، همچنین با استفاده از این لایه میانی میزان نفوذ آهن در روکش نسبت به نمونه اول (یک پاس استلایت) کاهش و محتوای Cr افزایش یافته است. نمونه با لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ به دلیل کاهش مصرف روکش استلایت و حفظ خواص، به عنوان نمونه بهینه شناخته شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از زحمات و همکاری‌های ارزشمند مدیریت محترم و پرسنل شرکت پالایش نفت اصفهان به دلیل حمایت‌های بی‌دریغ در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

12. A.P. Wu, J.L. Ren, *Numerical simulation for the residual stresses of satellite*, Materials Processing Technology 101, 2000, 70-75.
13. *Standard Specification for Carbon Steel Forging for piping Applications*, ASTM A105/A105M-03, 2003.
14. www.Delero.com, *General Guide Lines for Stellite hardfacing onto Steel Substrates*, Delero Stellite.
15. S. Kou, *Welding Metallurgy*, 2003, John Wiley and Sons.
16. A.P. Wu, J.L. Ren, *Numerical simulation for the residual stresses of stellite hard-facing on carbon steel*, Journal of Materials Processing Technology 101, 2000, 70-75.
17. *Physical Properties of carbon and low-alloy steels, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, Metals Handbook, 1, 1994, 195-197.