

رویه کاری فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی با استلایت ۶ و ارزیابی ریزساختار و تاثیر حضور لایه میانی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی

مارال احمدپور سامانی، مرتضی شمعانیان و احمد ساعتچی

دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در این مقاله به بررسی ساختار میکروسکوپی، فازشناسی و پروفیل سختی روکش حاصل از سیم جوش پایه کبالت از نوع استلایت ۶ بر سطح فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی ۴۱۰ بدون لایه میانی و در حضور لایه میانی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۹ پرداخته شده است. روکش کاری به روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW) انجام شد. نمونه‌ها بقیسط آزمون‌های متالوگرافی نوری، الکترونی، پراش پرتو ایکس، طیف‌سنجی انرژی (EDS) و سختی سنجی مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌های پژوهشی نشان داد که در سطح نمونه‌ها ساختار متشکل از کاربیدها در محلول جامد غنی از کبالت با ساختار دندریتی است. رشد دندریت‌ها در پوشش بصورت اپی‌تکسیال می‌باشد. کربن از استلایت مذاب در طول مرزانه‌های آستنیت به فولاد زنگ‌نزن آستنیتی نفوذ کرده و در فصل مشترک لایه میانی و پوشش ذرات کاربیدی تشکیل یافته است. 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.

کلمات کلیدی: استلایت، ریز ساختار، فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی، جوشکاری قوسی تنگستن-گاز (GTAW)، لایه میانی، رقت

Hardfacing of stellite 6 on martensitic stainless steel and evaluation of microstructure and effect of austenitic stainless steel interlayer

M. Ahmadpour, M. Shamanian and A. Saatchi

Department of Materials Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract

In this paper microstructure, phase formation and Vickers hardness profile of the hardfaced layer, Co-based alloys (Stellite-6) filler metal on 410 martensitic stainless steel specimens with 309 austenitic stainless steel interlayer were investigated. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) cladding was carried out for deposition. The specimens were investigated by an X-ray diffractometer, energy dispersion spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM) and hardness test. According to the analyzed results, the microstructure of the clad layer consists of eutectic structure, and undissolved carbides dispersed in the matrix of the Co-based alloy with dendritic structure. The dendrites have epitaxial growth. Diffusion of carbon from the liquid Stellite to the austenitic stainless steel took place along grain boundaries resulting in the formation of chromium carbide "arms" that penetrated along the austenite grain boundaries in the interfacial region. 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, Martensitic stainless steel, Gas tungsten arc welding, Interlayer, Dilution

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

مقدمه

حفظ استحکام بالا، مقاومت به خوردگی در دمای بالا و سختی مناسب از جمله خواص مهمی است که به منظور عمر و کارکرد بیشتر قطعات صنعتی در شرایط سرویس از اهمیت ویژه ای برخوردار است. بدیهی است شرایط سطحی قطعات نقش مهمی در جلوگیری یا به تعویق انداختن آسیب‌های ناشی از عوامل مخرب دارد [۱]. حفظ استحکام در دمای بالا، به منظور مقاومت در برابر سایش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در دمای بالا آلیاژهای پایه آهنی با ساختار مارتنزیتی، سختی خود را از دست می‌دهند. بنابراین بر روی فولادهای زنگ نزن برای کاهش سایش، ضربه، پوس ته شدن و کویتاسیون رویه سختی انجام می‌شود. رویه سختی به روش های مختلف جوشکاری قوسی، جوشکاری لیزر و روش اسپری انجام می‌شود [۲].

سوپرآلیاژهای پایه کبالت که یکی از معروفترین آنها استلایت^۱ است، با مقاومت عالی به خوردگی و سایش در دمای بالا مواد بسیار مهمی در صنایع هستند. استلایت به طور گسترده به عنوان مواد رویه سختی در تجهیزات موجود در شرایط محیطی سخت مثل پره های توربین، بیرینگ‌ها، هرزگرد ماشین تراش، پوشش های ضد سایش، قطعات پمپ‌ها، پلاگ‌ها و نشیمنگاه شیرها در صنایع نفت و گاز همچنین بطور معمول به عنوان ماده آ ب‌ب‌ج در گیت ولوهای صنایع هسته ای و هوا فضا استفاده وسیعی دارند [۳-۶]. بسیاری از خصوصیات این آلیاژها بخاطر طبیعت کریستالوگرافی کبالت است. استحکام محلول جامد بخاطر حضور کروم، تنگستن و مولیبدن و تشکیل کاربیدهای فلزی است. استلایت با درصد کروم بالاتر دارای خواص مغناطیسی بهتر، مقاومت به خوردگی و توانایی کار در دماهای بالاتر است. کبالت در دمای معمولی دارای ساختار کریستالوگرافی هگزاگونال (hcp) و در دماهای بالاتر به fcc استحاله می‌یابد (بالاتر از ۴۰۰ درجه). بخاطر طبیعت

آهسته استحاله ساختار شبکه غنی از کبالت در دمای محیط fcc است که این موضوع اشاره به شبه پایدار بودن این آلیاژها دارد. بخاطر کم بودن انرژی نقص در چیده شدن شبکه و دمای استحاله، تغییر فرم در دمای پایین می‌تواند استحاله را القا کند. سختی بالای این آلیاژها بدلیل تشکیل ترکیبات بین فلزی و کاربیدهای غنی از کروم M_7C_3 و $M_{23}C_6$ (فلز)، در شبکه محلول جامد غنی از کبالت است. همچنین دارای مقاومت به کویتاسیون، سایش چسبان و خراشان است که بستگی به ضریب حجمی و سایز و مورفولوژی این ذرات سخت دارد [۷و۶]. رقت آهن در آلیاژ استلایت باعث افزایش چقرمگی، کاهش سختی و مقاومت به خوردگی در محیط های بسیار خورنده می‌شود، زیرا مقدار کروم را ۲۵-۲۰٪ کاهش می‌دهد (ولی باز هم بسیار بهتر از بیشتر فولادهای زنگ نزن است). همچنین باعث کاهش مقاومت به سایش، بخاطر افزایش انرژی نقص در چیده شدن شبکه کبالت و کاهش در محتوی کربن که تاثیر بر مقاومت به سایش و سختی دارد، می‌شود. با افزایش رقت آهن و نیکل مقدار فازهای کاربیدی ترد کاهش می‌یابد که باعث کاهش تردی می‌شود [۸]. یک عمل استاندارد جهت به حداقل رساندن درجه رقت، جوشکاری لایه های واسط و یا چند لایه از آلیاژ رویه سختی است [۹]. محققان دریافته‌اند که کاهش دمای پیشگرم و جریان جوشکاری باعث کاهش رقت آهن در روکش استلایت می‌شود، اما در زمینه تأثیر اعمال لایه میانی بر بهبود کیفیت روکش استلایت از نظر ایجاد پروفیل سختی و رقت مناسب تحقیقاتی گزارش نشده است.

روش تحقیق

مواد و روش جوشکاری

سیم جوش استفاده شده استلایت ۶ (Deloro) با قطر ۳ میلیمتر و فولاد زنگ نزن استنیتی ۳۰۹ با قطر ۲/۴ میلیمتر است. زیرلایه با اندازه $mm^3 20 * 20 * 10$ از جنس فولاد زنگ نزن ۴۱۰، که مشابه پلاگ شیرهایی که در صنایع

¹ stellite

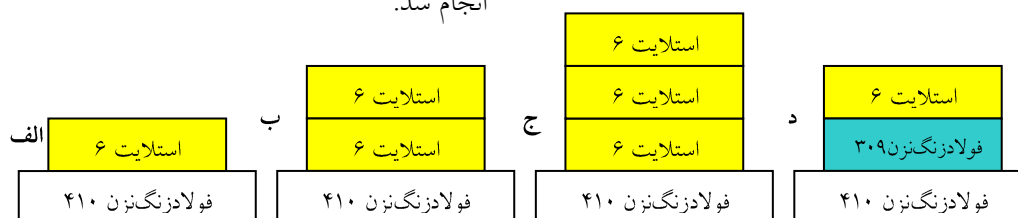
نفتی استفاده می شود، بود. ترکیب شیمیایی سیم جوش و ایکس^۴ بررسی شدند. نمونه‌های جوشکاری شده مقطع زده فلز زیر لایه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولاد زنگ نزن ۴۱۰، سیم جوش استلایت و فولاد زنگ نزن ۳۰۹

	C	Mn	Cr	Si	W	Al	Cu	Fe	Co	Ni	Mo	V	Other
استلایت ۶	1.2		29	<2.0	4			<3.0	bal		<1.0		<1.0
فولاد زنگ نزن ۴۱۰	0.15	0.78	12.34	0.24	<0.005	0.01	0.36	85.76	0.05	0.31	0.13	0.03	
فولاد زنگ نزن ۳۰۹	0.08	1.8	23.5	0.8						13.5			

جهت اچ کردن نمونه ها از محلول کلرور فریک الکل با ترکیب اتانول 95CC، 2CC HCl و 5gr Fe₂O₃ استفاده شد و نمونه به مدت ۲۰ ثانیه در این محلول قرار گرفت. تغییرات ساختار در طول و عرض نمونه به وسیله میکروسکوپ نوری بررسی شد. آزمایش سختی سنجی ویکرز بر روی مقطع عرضی نمونه های پولیش شده از سطح پوشش به سمت زیر لایه با نیروی ۳۰ کیلوگرم انجام شد. همچنین آزمایش ریز سختی سنجی ویکرز با نیروی ۹۸۱mN بر روی فازهای موجود در پوشش و زیر لایه انجام شد.

برای آماده سازی نمونه، ابتدا نمونه های فولاد زنگ نزن مارتنزیتی تا دمای ۳۱۶ °C پیشگرم شده (ASME sec II part C) که به وسیله گچ حرارتی این دما مشخص شد و سپس توسط روش جوشکاری قوسی تنگستن- گاز^۱ روکش از نوع استلایت ۶ در ۱، ۲ و ۳ پاس بر روی تعدادی از نمونه‌ها اعمال شد. همچنین در تعدادی از نمونه‌ها ابتدا بر روی فولاد زنگ نزن مارتنزیتی ۱ پاس فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ با روش جوشکاری قوسی تنگستن- گاز جوشکاری شد و بلافاصله یک لایه استلایت ۶ به همین



شکل ۱. شماتیک رویه سختی الف-۱ پاس ب-۲ پاس ج-۳ پاس د-با لایه میانی

روش بر روی آن اعمال شد. جوشکاری با جریان ۸۵ آمپر انجام و نمونه‌ها در ماسه سرد شدند. در شکل ۱ شماتیک رویه سختی نشان داده شده است.

بررسی ریزساختاری و سختی سنجی

ریزساختار نمونه ها به وسیله میکروسکوپ نوری NIKON، میکروسکوپ الکترونی روبشی^۲ PHILIPS، طیف سنج انرژی^۳ و پراش اشعه

نتایج و بحث

ارزیابی ریزساختار

با توجه به تصاویر متالوگرافی و آزمایش طیف سنج انرژی ریزساختار دندریتی و شامل فاز زمینه کبالت ۷ غنی از کروم و یوتکتیک غنی از کاربید کروم می باشد. شکل ۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی ساختار بین دندریتی لایه‌ای در مرکز پوشش را نشان می دهد. در شکل ۳ دندریتهای در فصل مشترک پاس‌ها نشان داده شده است که نشان دهنده

¹GTAW

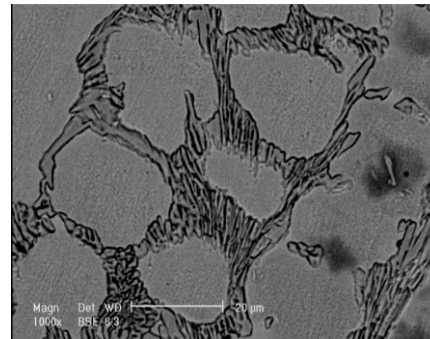
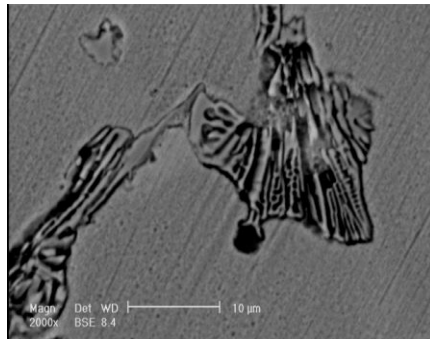
²SEM

³EDS

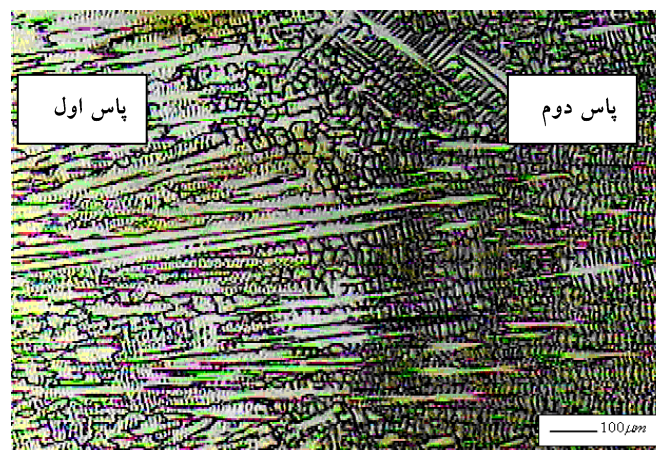
⁴XRD

غلظتی کربن، که مقدار آن در استلایت مذاب زیاد و در ۳۰۹ کم است، در طول مرزخانه‌های آستنیت به زیرلایه

ضخیم شدن دندریت‌ها در فصل مشترک پاس‌ها است این بخاطر دوباره ذوب شدن دندریت‌ها، قرار گرفتن در دمای



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی ریزساختار استلایت ۶ در مرکز پوشش



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ نوری در بین فصل مشترک پاس ۱ و ۲ در نمونه ۲ پاس

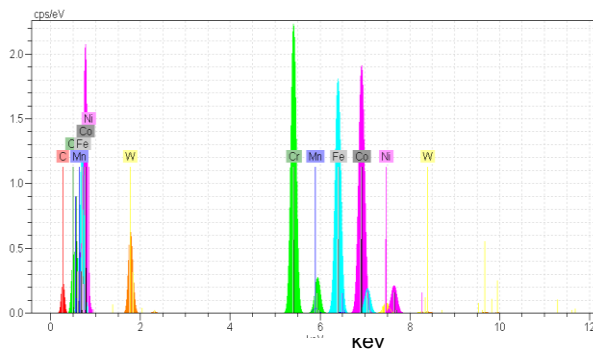
نفوذ کرده است. نتیجه این رسوب گذاری کاهش مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن است زیرا کروم مناطق مجاور مرزخانه‌های آستنیت را خالی می‌کند.

مرحله اول انجماد این آلیاژ در عبور از خط لیکوییدوس شامل انجماد محلول جامد کبالت است که با توجه به شرایط انجمادی حاکم بر آن می‌تواند سلولی یا دندریتی باشد. به دلیل کشیدگی حوضچه جوش، اختلاف بین حداکثر دمای حوضچه (T_{max}) و دمای مرز حوضچه (T_L) در خط مرکزی جوش، بیشتر از خط ذوب است. بنابراین گرادیان دمایی در جهت عمود بر مرز حوضچه در خط مرکزی جوش، G_{CL} ، کمتر از خط ذوب، G_{FL} ، خواهد بود.

بنابراین به دلیل آن که $R_{CL} \gg R_{FL}$ و $G_{CL} < G_{FL}$

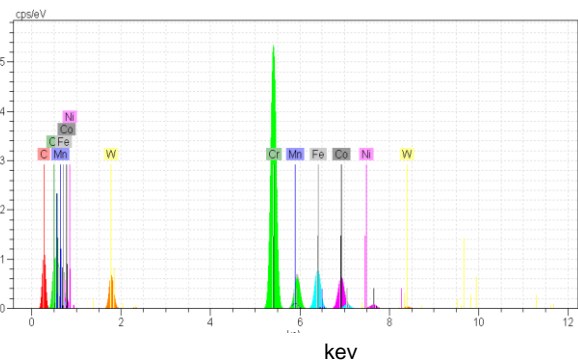
بالا در زمان بیشتر و کاهش سرعت سرد شدن است. در سطح پوشش دندریت‌ها ظریفتر هستند زیرا گرادیان دمایی کاهش پیدا کرده و سریعتر سرد شده‌اند.

در شکل ۴ الف ترکیب شیمیایی فاز زمینه (مناطق روشن) مربوط به شکل ۲ مشاهده می‌شود، که نشان دهنده حضور کروم و آهن در زمینه می‌باشد. با توجه به اینکه از سیستم میکروآنالیز نمی‌توان جهت تعیین دقیق عناصر سبک نظیر کربن استفاده کرد، نتایج بدون احتساب درصد کربن است و فقط درصد کربن جهت مقایسه استفاده می‌شود. شکل ۴ ب ترکیب شیمیایی فاز تیره را نشان می‌دهد که شامل کاربیدهای کروم می‌باشد. شکل ۴ ج ترکیب شیمیایی در فصل مشترک است که نشان دهنده حضور کروم و آهن است. کربن در این ناحیه ناچیز است که بخاطر گرادیان



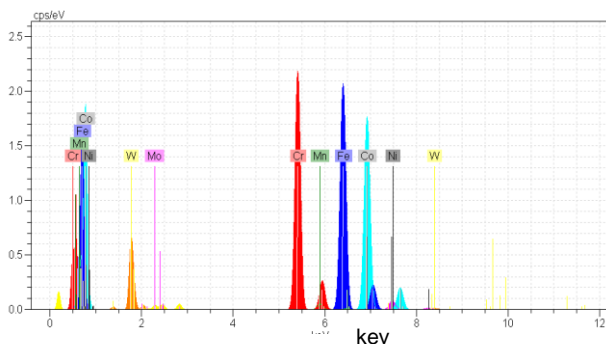
Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]
Carbon	K series	0.98	0.98	4.52
Chromium	K series	21.64	21.65	23.05
Manganese	K series	0.46	0.46	0.47
Iron	K series	30.37	30.39	30.11
Cobalt	K series	41.42	41.44	38.91
Nickel	K series	2.22	2.22	2.09
Tungsten	M series	2.85	2.85	0.86
Total:				99.9 %

الف



Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]
Carbon	K series	5.39	5.43	20.91
Chromium	K series	57.89	58.32	51.87
Manganese	K series	1.43	1.44	1.21
Iron	K series	14.87	14.98	12.41
Cobalt	K series	15.25	15.36	12.05
Nickel	K series	0.77	0.78	0.61
Tungsten	L series	3.67	3.69	0.93
Total:				99.3 %

ب



Element	Series	unn. C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at.-%]
Chromium	K series	21.82	21.03	23.33
Manganese	K series	0.64	0.62	0.65
Iron	K series	35.63	34.35	35.47
Cobalt	K series	39.03	37.62	36.82
Nickel	K series	2.35	2.27	2.23
Molybdenum	L series	0.77	0.74	0.44
Tungsten	M series	3.50	3.37	1.06
Total:				103.7 %

ج

شکل ۴. نتایج EDS (الف) فاز روشن، زمینه (ب) فاز تیره، کاربیدهای کروم (ج) مرز مشترک استلایت ۶ با فولاد زنگ‌نزن ۴۱۰

تغییر می یابد [۱۰]. شکل ۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی تغییرات در مراحل انجماد را نشان می دهد. با انجماد محلول جامد کبالت، ترکیب شیمیایی مذاب واقع در فضای بین دندریت ها از کربن و کروم غنی تر شده و به ترکیب یوتکتیک نزدیک می شود. در مراحل پایانی انجماد و با نزدیک شدن به خط سالیدوس، محلول جامد یوتکتیک و کاربید یوتکتیک $(Cr,Co)_7C_3$ بطور همزمان منجمد می شوند [۱۱].

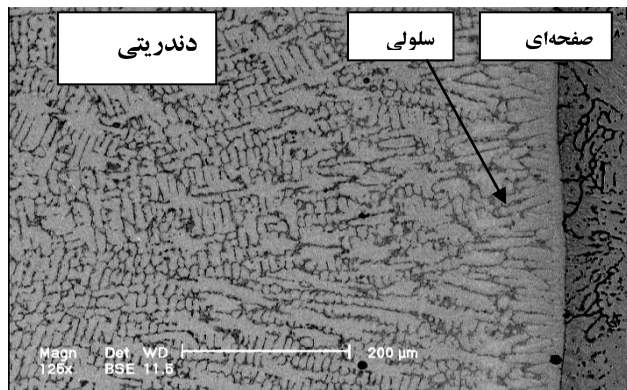
(R_{FL}) نرخ انجماد در خط ذوب، (R_{CL}) نرخ انجماد در خط مرکزی جوش است، می توان نوشت:

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

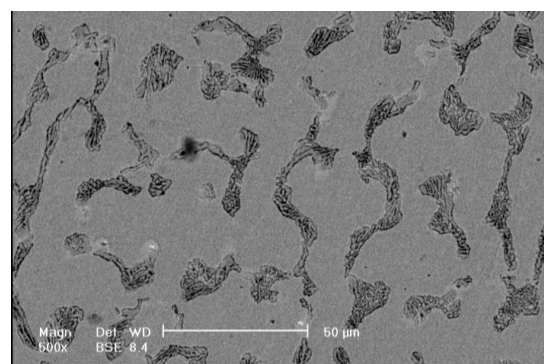
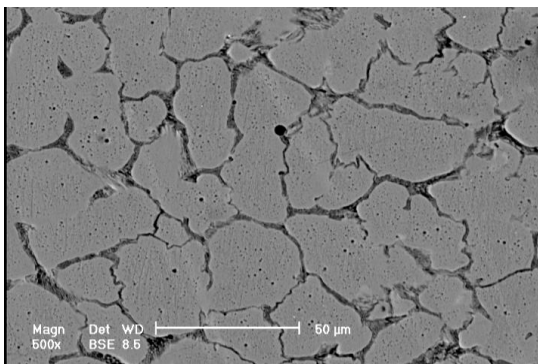
با توجه به معادله ۱ از خط ذوب به سمت خط مرکزی جوش، نسبت G/R کاهش می یابد. بنابراین می توان پیش بینی کرد که در سر تا سر منطقه ذوب حالت انجماد از صفحه ای به سلولی، دندریتی ستونی، و دندریتی هم محور



شکل ۶. تصویر میکروسکوپ نوری زیر لایه ۴۱۰ و پوشش ۳۰۹



شکل ۵. تصویر میکروسکوپ الکترونی استلایت



شکل ۷. تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های الف-۳ پاس ب-۲ پاس

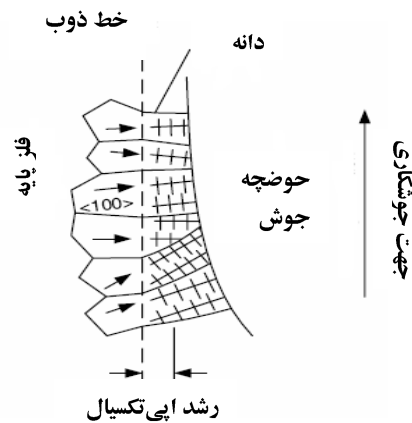
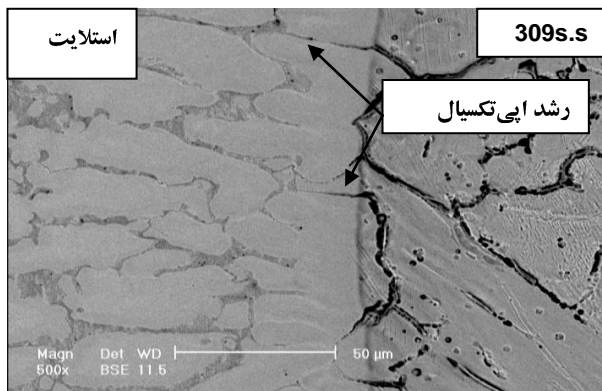
زیرا وقتی که پاس های بیشتری جوشکاری می شود، گرا دیان دمایی و سرعت انجماد کاهش می یابد. شباهت ساختار کریستالی و ترکیب شیمیایی باعث بوجود آمدن رشد اپی تکسیال می شود [۱۰]. در شکل ۸ در مرز ذوب لایه میانی ۳۰۹ با استلایت رشد اپی تکسیال مشاهده می شود، زیرا ساختار کریستالی لایه میانی و پوشش مشابه (fcc) است که نشان دهنده چسبندگی خوب زیر لایه با روکش می باشد. همچنین رشد اپی تکسیال دندریت ها در محکم کردن پیوند بین لایه ها شرکت می کند. جهت بررسی رقت از سطح پوشش تا مرز ذوب میکروآنالیز خطی^۲ توسط طیف سنج انرژی انجام شد. با توجه به نمودارهای شکل ۹ مشاهده می شود با اعمال لایه میانی فولاد زنگ‌نزن آستنیتی ۳۰۹ رقت آهن حتی از نمونه با ۳ پاس استلایت کمتر است. در این نمونه در نزدیکی

شکل ۶ بخشی از منطقه متأثر از حرارت^۱، در مجاور مرز ذوب را نشان می دهد. در این ناحیه زمینه کلی ساختار در دمای بالا آستنیت می باشد ولی ممکن است مقداری فریت نیز در مرز دانه های آستنیت وجود داشته باشد. در اثر سرد کردن تا دمای اتاق، آستنیت به مارتنزیت تبدیل خواهد شد و مقداری از فریت در ریز ساختار باقی خواهد ماند [۱۲]. در ساختار زیر لایه مارتنزیت تمپر شده به همراه فریت های δ مشاهده شد. رقیق سازی فلز پرکننده فولاد زنگ‌نزن آستنیتی با فلز پایه مارتنزیتی اغلب منجر به ریز ساختار دو فازی آستنیت+فریت می شود، که بسیار نرم تر از فلز پایه است [۱۲].

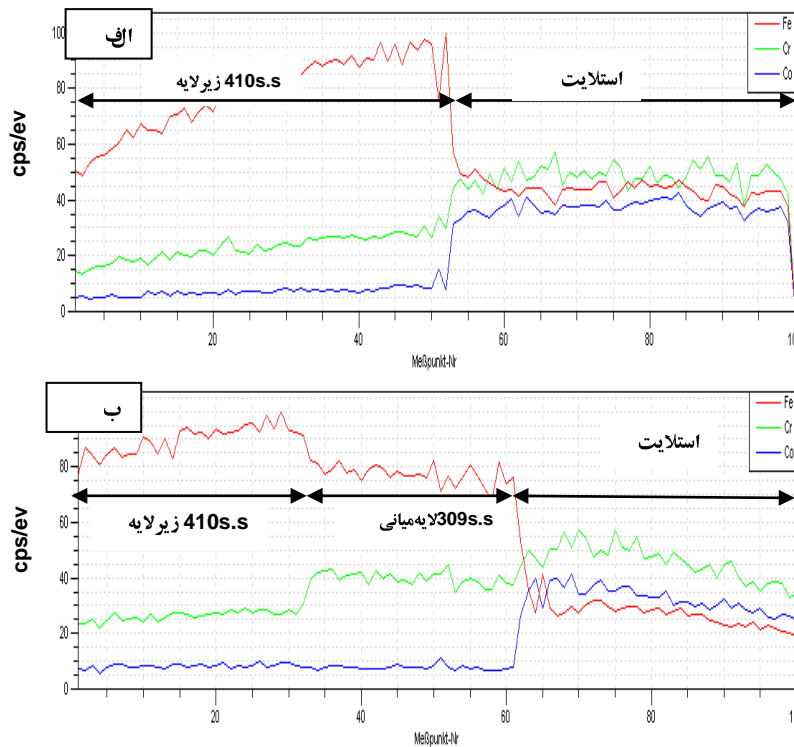
شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه های با ۳ و ۲ پاس استلایت را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در نمونه ۳ پاس ساختار ضخیم تر و ناپیوسته است

² Line Scan

¹ HAZ



شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی رشد اپی تکسیال در مرز استلایت ولایه



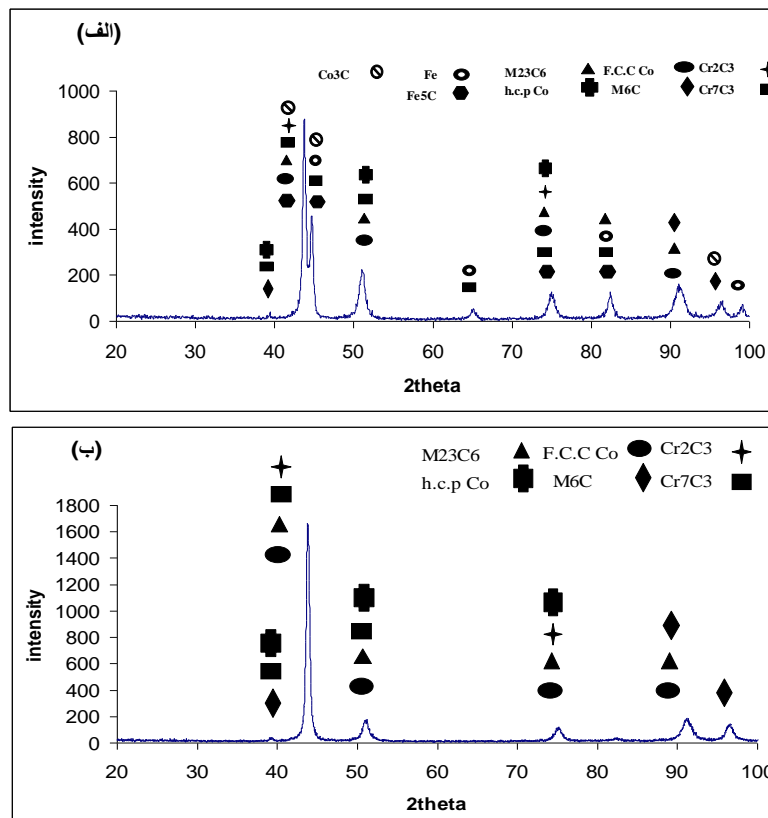
شکل ۹. نمودار EDS (الف) نمونه ۳ پاس - (ب) نمونه با لایه میانی

عناصر آلیاژی لایه رسوب داده شده کاهش پیدا کرده و نقش آلیاژ استلایت ۶ بیشتر شده است.

فازشناسی

شکل ۱۰ فازهای تشکیل شده در فصل مشترک روکش و زیرلایه و سطح روکش را نشان می دهد. بیشترین فاز $Co(fcc)$ و $Co(hcp)$ است. پیکهای مختلفی تشکیل فازهای شبه پایدار $M_{23}C_6$ ، M_6C ، Cr_7C_3 و Cr_2C_3

خط ذوب غلظت کروم بالاتر است و با فاصله گرفتن از خط ذوب کاهش یافته است زیرا غلظت کروم زیرلایه بالاست و در نزدیکی خط ذوب نفوذ کروم روکش به زیرلایه را کاهش داده است. همچنین میزان آهن کمتر از کبالت و کروم است. شکل ۹ الف که مربوط به نمونه ۳ پاس است نشان می دهد که رقت آهن از مرز ذوب تا نزدیک فصل مشترک پاس ۱ و ۲ کاهش یافته و پس از آن ثابت شده است. زیرا اثر ترکیب شیمیایی فلز پایه بر توزیع



شکل ۱۰. نمودار XRD پوشش استلایت درالف- فصل مشترک با زیر لایه نمونه ۳ پاس ب- سطح نمونه با لایه میانی فولاد زنگ‌نزن ۳۰۹

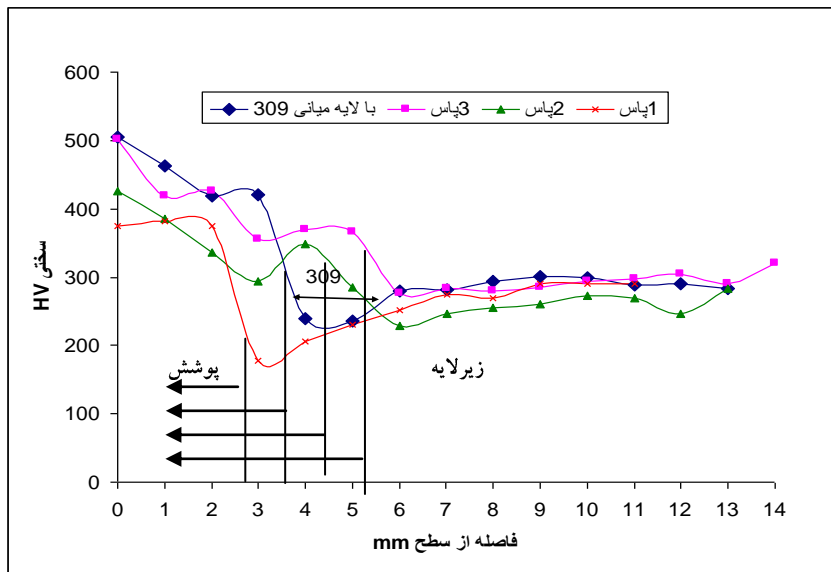
بیشترین مقدار است، زیرا کمترین رقت آهن را دارد. در تحقیقات قبلی نیز مشاهده شده است که سختی با افزایش رقت آهن بصورت خطی کاهش می یابد، زیرا کروم و کبالت کاهش می یابد که باعث کاهش سختی محلول جامد و ذرات سخت غنی از کروم می شود [۵]. با توجه به نتایج ریزسختی در زیر لایه، سختی فاز روشن (فریت) ۱۵۰ ویکرز و سختی فاز تیره (مارتنزیت تمپرشده) ۲۵۴ ویکرز است.

بررسی تاثیر لایه میانی بر تنش پسماند در فلز جوش
 با توجه به مهار فلز جوش توسط فلز پایه در جوشکاری و انقباض غیرآزادانه آلیاژ استلایت ۶ در اثر سرد شدن تا دمای اتاق منجر به بروز تنش های کششی قابل توجهی در فلز جوش می شود. میزان تنش های پس ماند در لایه روکش به فاکتورهای زیادی بستگی دارد، که شامل ضریب انتقال حرارت، ضریب انبساط حرارتی، ضخامت زیر لایه، استحکام تسلیم آن و دمای پیشگرم می شود. وقتی انبساط

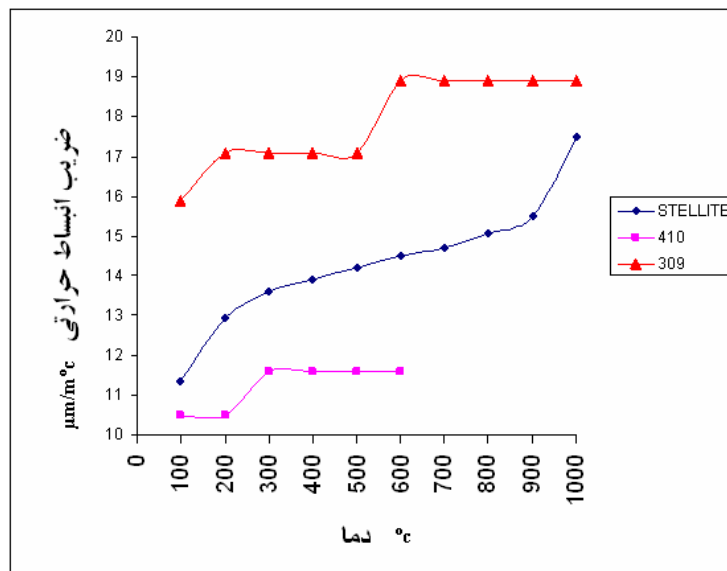
را نشان می دهد. در فصل مشترک فازهای آهن و کاربید آهن نیز مشاهده شده است. شدت پیک های کاربید کروم در نمونه با لایه میانی افزایش یافته که می تواند به دلیل کاهش رقت آهن باشد، با کاهش رقت آهن میزان کروم افزایش می یابد، در نتیجه کاربیدهای کروم افزایش می یابد.

سختی سنجی

در شکل ۱۱ پروفیل سختی نمونه های ۱، ۲ و ۳ پاس و با لایه میانی ۳۰۹ نشان داده شده است. سختی از فصل مشترک به سمت سطح افزایش یافته زیرا دندریت ها در سطح پوشش ظریفتر هستند. در زیر لایه به سمت فصل مشترک دانه ها درشت شده اند و سختی کاهش یافته است. سختی در بین فصل مشترک بین پاس ها کاهش می یابد، این بخاطر دوباره ذوب شدن و گرم شدن یک قسمت از پاس که لایه روی آن قرار می گیرد است. سختی به ترتیب از نمونه ۱ تا ۳ پاس افزایش یافته است زیرا با افزایش تعداد پاس ها کاهش رقت آهن وجود دارد. در نمونه با لایه میانی سختی



شکل ۱۱. نمودار سختی نمونه‌های ۱، ۲ و ۳ پاس و با لایه میانی



شکل ۱۲. ضریب انبساط حرارتی استلایت ۶ [۸]، فولاد زنگ‌نزن ۴۱۰

میان ۳۰۹ نسبت به نمونه بدون لایه میانی کمتر باشد.

نتیجه‌گیری

۱. با اعمال لایه میانی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ از رقت آهن در پوشش کاسته شده است.
۲. فازهای تشکیل شده اولیه شامل $Co(fcc)$ و $Co(hcp)$ و فازهای یونکتیکی لایه ای کبالت و دیگر فازها مثل $M_{23}C_6$ ، M_6C ، Cr_7C_3 و Cr_2C_3 است.

فلز پایه بیشتر از روکش باشد، تنش پس ماند در لایه روکش کمتر از زمانی است که فلز پایه و پوشش دارای ضریب انبساط حرارتی یکسان می باشند زیرا در زمان انجماد، انقباض زیر لایه بیشتر است و مقاومت در مقابل انقباض روکش ضعیف تر می شود [۱۳]. با توجه به نمودار شکل ۱۲ ضریب انبساط حرارتی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۹ در دماهای مختلف بالاتر از استلایت است. بنابراین می توان پیش بینی کرد که تنش پسماند در نمونه دارای لایه

منابع

1. S. Sun ., M. Brandt, J. Harris, Y. Durandet, *The influence of stellite 6 particle size on the inter-track porosity in multi-track cladding*, Surface & Coatings Technology 201 (2006) 998–1005.
2. J.R.Davis, *Hardfacing, weld cladding and dissimilar metal joining*, ASM Handbook, vol 6 (1993) 789-794.
3. 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.
4. C.R.Tottle, *An encyclopedia of metallurgy and material*, British. Library catalog in publication elata , (1984) 311.
5. Guojian Xu, Muneharu Kutsuna, Zhongjie Liu, Katsusige Yamada, *Comparison between diode laser and TIG cladding of Co-based alloys on the SUS403 stainless steel*, Surface & Coatings Technology 201 (2006) 1138–1144.
6. C.D.Opris, R.Liu, 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
7. W.C. Lin, C. Chen , *Characteristics of thin surface layers of cobalt-based alloys deposited by laser cladding*, Surface & Coatings Technology 200 (2006) 4557 – 4563.
8. www.stellite.com, *General guide lines for Stellite hardfacing on to steel substrates*” Deloro stellite , March 2007.
9. خانایانی اورنگ و کوکی امیر حسین ، بررسی اثر درجه رقت بر سخت کاری سطحی چدن به روش جوشکاری، چهارمین کنفرانس ملی جوش و بازرسی ، (۱۳۷۶) ۱۲۳-۱۳۱.

۳. سختی به ترتیب از نمونه ۱ تا ۳ پاس افزایش یافته است و در نمونه با لایه میانی بیشترین مقدار است
۴. تنش پسماند در نمونه همراه با لایه میانی نسبت به نمونه بدون لایه میانی کمتر می شود.
۵. ساختار دندریتی در پوشش مشاهده شد دندریت ها در سطح پوشش ظریفتر هستند ولی دندریت ها در فصل مشترک پاس ها ضخیم شده است. وقتی که تعداد پاس های جوشکاری بیشتر شود ساختار ضخیم تر و ناپیوسته می شود.

تشکر و قدردانی

- در پایان از همکاری پالایشگاه اصفهان بخاطر حمایت، تهیه مواد اولیه و آماده سازی نمونه ها تشکر و قدردانی می شود.
10. S Kou, *Welding Metallurgy*, John Wiley and Sons, 2003.
 11. F.Maiek, “*Quality variability in cobalt-base hardfacing alloys*”, Ph.D. Thesis, Cranfield Institute of Technology, (1990).
 12. J.C. Lippold, D.J. Kotecki, *Welding metallurgy and weldability of stainless steels*, 2005, John Wiley and Sons.
 13. A.P. Wu, J.L. Ren, Z.S. Peng, H. Murakawa, Y. Ueda, *Numerical simulation for the residual stresses of stellite hardfacing on carbon steel*, Journal of Materials Processing Technology 101 (2000) 70-75.
 14. www.hightempmetals.com/techdata/hitemp/Inconel617data, February 2009.