

تأثیر نوع الکتروود و تعداد پاس بر خواص سایشی و ریزساختار روکش ایجاد شده به روش زیر پودری بر روی فولاد کم آلیاژ 42CrMo4

علی بهرامی^۱، کامران امینی*^۲، حامد ثابت^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- استادیار، دانشکده مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تیران، اصفهان، ایران

۳- استادیار، دانشکده مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

*k_amini@iautiran.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۰۵، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۰۸)

چکیده

اغلب، فولاد کم آلیاژ 42CrMo4 را برای تولید قطعاتی که در معرض سایش فلز با فلز قرار دارند، مانند چرخهای جرثقیل، مورد استفاده قرار می دهند. اما بعد از مدتی که این قطعات در شرایط کاری قرار گرفتند به علت سختی پایین، مقاومت به سایش کمی داشته که در اثر سایش، ابعاد قطعه کاهش و نیاز به بازسازی دارد. به همین منظور با استفاده از فرآیند روکش سخت، روکشهای سخت ایجاد نموده تا قطعات مجدداً مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق لایه های روکش سخت پایه Fe-Cr-C بر روی سطح فولاد کم آلیاژ 42CrMo4 با استفاده از فرآیند جوشکاری زیرپودری ایجاد شده است و ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش روکشهای ایجاد شده توسط سه نوع سیم جوش طبق استاندارد DIN 8555 با کدهای UP6-GF-50، UP6-GF-55 و UP6-GF-50-C به صورت یک پاس و دو پاس مقایسه شده اند. بررسی های انجام گرفته توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی و پراش پرتوی X بر روی روکش ها حاکی از حضور فاز مارتنزیت، آستنیت و کاربیدهای $(Fe, Cr)_23C_6$ بودند. همچنین با مقایسه بین نمونه های تک پاس و دو پاس مشاهده گردید که ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) نمونه های دو پاس بیشتر می باشد که باعث افزایش درصد حجمی فازها در نمونه دوپاس شده است. نتایج آزمون سختی از سطح روکش نشان دهنده افزایش سختی روکش ایجاد شده (حدود RC ۴۳-۳۸) نسبت به نمونه بدون روکش (RC ۲۵) می باشد. بررسی های به عمل آمده بر روی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطوح سایش همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی نشان دهنده سایش از نوع چسبان و تریبوشیمیایی در نمونه دارای روکش با سختی بالا می باشد.

واژه های کلیدی:

فولاد 42CrMo4، جوشکاری زیرپودری، روکش دهی سطح، سختی، مقاومت به سایش.

۱- مقدمه

روشهای دیگر روی سطح قطعات مورد نظر انباشته می شود. این فرآیند در سال ۱۹۲۱ میلادی توسط آقایان وینستون^۱ و شرلی^۲ در کالیفرنیا ابداع و بدلیل پتانسیل بالا در روکشکاری توسط جوش

روکش سخت^۱ یکی از روشهای نوین جوشکاری سطحی می باشد که در این فرآیند یک لایه نسبتاً ضخیم از فلز با ترکیبات فلزی سخت مانند کاربیدها توسط جوشکاری، پاشش یا

در همین رابطه یانگ^۵ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ ذرات TiC را بر روی آلیاژ Ti₆Al₄V با فرآیند جوشکاری قوسی تنگستن-گاز و با استفاده از سیم توپودری روکش دادند آنها مدعی هستند که در این شیوه یک پیوند متالورژیکی خوب بین پوشش و زیرلایه را می توان بدست آورد [۸].

سانر^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۶ در تحقیقی دیگر سطح فولاد زنگ نزن AISI را با پودر SiC به روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز روکش دادند. آنها نشان دادند با کاهش حرارت ورودی و افزایش میزان پودر، میزان رقت را به حداقل کاهش داد [۹].

آقای محمدی خواه و همکاران در سال ۱۳۹۱ به بررسی و مقایسه ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش ورقهای فولادی روکش سخت پایه Fe-Cr-C (Carbidox) با ورق فولادی کوئنچ-تمپر شده تجاری پرداختند. آنها نشان دادند مقاومت به سایش ورقهای فولادی روکش سخت پایه Fe-Cr-C به علت داشتن درصد حجمی بیشتر کاربید نسبت به ورق فولادی کوئنچ-تمپر شده تجاری بیشتر می باشند [۱۰]. کوویک و همکارانش در سال ۲۰۱۱ پارامترهای موثر بر روکش سخت چرخهای ترن با جنس فولاد R7T به منظور بهبود مقاومت به سایش مورد بررسی قرار دادند، آنها نشان دادند با کنترل نرخ سرد شدن رسوب جوش با در نظر گرفتن دمای پیش گرم مناسب در بازسازی چرخها تاثیر بسزایی بر خواص متالورژیکی و مکانیکی فلز جوش دارد [۱۱].

همچنین آقای جعفری و همکاران در سال ۱۳۸۲ بازسازی چرخهای منوبلوک واگنهای باری با بهره گیری از فرآیند جوشکاری زیرپودری را مورد بررسی قرار دادند، آنها نشان دادند با کنترل گرمای ورودی با استفاده از کنترل و تنظیم ولتاژ و آمپرو سرعت جوشکاری می توان از تغییر ساختاری و ابعادی در چرخها جلوگیری و با ایجاد ساختار مناسب سختی و مقاومت به سایش را افزایش داد [۱۲].

اما آنچه ضرورت این تحقیق را بیان می کند این است که اغلب فولادهای کم آلیاژ 42CrMo4 برای قطعاتی که در معرض

و اتصال غیر مشابه به سرعت گسترش یافت. از دیگر مزایای این روش روکش دهی، این است که قطعات قابلیت تامین خواص نسبتاً متضاد به طور همزمان در یک قطعه را دارند. برای مثال خواصی از قبیل تردی و انعطاف پذیری را می توان در زیر لایه و سختی را در روکش ایجاد کرد. همچنین می توان به راندمان بالای این فرآیند نیز اشاره کرد. امروزه فرآیند روکش سخت برای بازسازی و ترمیم قطعات بخصوص قطعات صنایع سنگین، کشتی سازی و حمل و نقل ریلی مورد استفاده قرار می گیرد [۱].

اصولاً فرآیندهای روکش دهی به روش جوشکاری را می توان به دو دسته عمده تقسیم بندی نمود که عبارتند از:

الف- روکش دهی در حالت جامد،

ب- روکش دهی ذوبی

خواص لایه های روکش سخت تابعی از ترکیب شیمیایی، شرایط انجماد، سرعت سرد شدن (بعد از انجماد)، ریزساختار، نوع، شکل و توزیع فازهاست [۲-۳]. آلیاژهای مورد استفاده جهت ایجاد لایه مقاوم به سایش روی فلزات پایه آهنی (فولاد کربنی و کم آلیاژ) به دو دسته عمده آلیاژهای آهنی و آلیاژهای غیر آهنی تقسیم بندی می شوند آلیاژهای به کار رفته برای این منظور در دو دسته عمده زیر قرار دارند [۴]:

الف- آلیاژهای پایه Fe-Cr-C

ب- آلیاژهای پایه Fe-C-X (X عنصر کاربیدزا)

اما یکی از روش های متداول بهبود رفتار سطحی، افزودن عناصر آلیاژی همچون کروم، کربن، کبالت و مولیبدن یا ذرات سرامیکی نظیر SiC، TiC، Wc و B₄C به مذاب ایجاد شده در سطح و تشکیل لایه ای با ضخامت قابل توجه بر روی سطح است [۵-۶]. به عنوان مثال یوچی لین^۴ و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی به بررسی ریزساختار و عملکرد سایشی SiC روکش داده شده بر روی فولاد کشته شدن SKD61 با روش GTAW پرداختند. آنها مدعی شده اند که SiC به فازهای پایدار و نیمه پایدار تجزیه شده و باعث افزایش سختی و مقاومت به سایش لایه سطحی شده است [۷].

با دستگاه مدل ARL 3460 با دقت ۰/۰۰۱ درصد طبق استاندارد ASTM 415 در ۳ نقطه از سطح ورق انجام گردید تا مقادیر حداکثر و حداقل عناصر موجود (محدوده ترکیب شیمیایی) تعیین گردد. جهت بررسی ریزساختار، نمونه ها پس از آماده سازی اولیه توسط محلول نایتال ۵ درصد (۹۵ میلی لیتر الکل ۵ میلی لیتر اسیدنیتریک یک مولار) اچ شده و بررسی ریزساختار به وسیله یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی مدل LEO 4357 انجام گردید و با استفاده از تصاویر متالوگرافی درصد حجمی فازها بدست آمد.

جهت شناسایی فازها در روکش های ایجاد شده در آزمون پراش پرتوی X (XRD) با استفاده از دستگاه مدل Philips Xpert MPD با دقت ۰/۰۰۱ آنگسترم (پرتوی CuKa: $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ در ۲۰kV و ۳۰mA) انجام شد. همچنین سختی سنجی نیز به روش راکول C با بار ۱۵۰ کیلوگرم با استفاده از دستگاه سختی سنجی مدل Do5 انجام شد. لازم به ذکر است جهت افزایش دقت نتایج آزمون سختی سنجی ماکروسکوپی، حداقل ۳ نقطه از هر نمونه تحت آزمون قرار گرفتند که متوسط نتایج آنها معیار سختی سطح در نظر گرفته شد در ضمن میکروسختی در مقطع عرضی روکش ایجاد شده، با فرورونده ویکرز با بار اعمالی ۲۰۰ گرم در مدت ۵ ثانیه انجام گردید. آزمون سایش مطابق استاندارد ASTM G99 (پین روی دیسک) با نیروی اعمالی ۱۳۰ نیوتن و مسافت طی شده ۱۰۰۰ متر و سرعت ۰/۰۵ متر بر ثانیه، با استفاده از پین هایی از جنس فولاد بلبرینگ ۵۲۱۰۰ انجام شد [۱۳]. جرم از دست داده شده توسط ترازوی GIBERTIN IE42 S-B با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه گیری گردید. در آزمون سایش پین روی دیسک، نمونه ها را مطابق شکل ۱ توسط فرآیند وایرکات به صورت استوانه ای به قطر ۵۰ میلی متر و ضخامت ۵ الی ۱۰ میلی متر برشکاری نموده و به عنوان دیسک استفاده می شود و فولاد بلبرینگ نیز به عنوان پین استفاده می گردد. نمونه های روکش سخت، برای آزمون قابلیت ماشینکاری توسط دستگاه تراش با دور ثابت ۱۲۰ دور در

سایش فلز با فلز می باشند مورد استفاده قرار می گیرند اما در حین کار به علت سختی پایین در معرض سایش قرار گرفته و چون کارآیی لازم را ندارند تعویض و قطعه جدید جایگزین آنها می شود که این کار هزینه زیادی در بر دارد. لذا بازسازی این قطعات می تواند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. طبق تحقیقات انجام گرفته مشخص شد که در داخل و خارج کشور تحقیقات در مورد بازسازی چرخهای جرثقیل از جنس فولاد 42CrMo4 محدود می باشد. لذا هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه ریزساختار، سختی، مقاومت به سایش و مقایسه طول عمر روکش های ایجاد شده توسط سیم جوش های 307، 350، 420 نسبت به هم و همچنین انتخاب سیم جوش مناسب برای روکش کاری فولاد 42CrMo4 به منظور افزایش مقاومت به سایش می باشند.

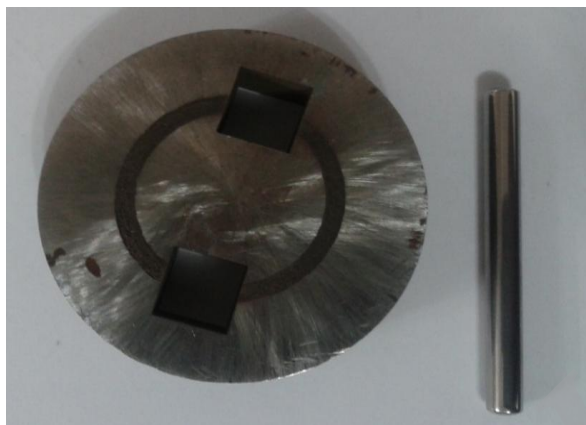
۲- مواد و روش ها

در این پژوهش از فولاد کم آلیاژ 42CrMo4 با ابعاد $12 \times 30 \times 290$ میلی متر مکعب به تعداد ۶ عدد به عنوان زیرلایه استفاده شد. قبل از جوشکاری این قطعات تمیز شده و توسط سنباده آلودگی های سطحی آن برطرف گردید. آنالیز شیمیایی انجام شده بر روی این نمونه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین روکش سخت به روش جوشکاری زیرپودری مطابق پارامترهای ارائه شده در جدول ۲ انجام شد. همچنین متغیرهای تحقیق، تعداد پاسها و نوع سیم جوش در فرآیند جوشکاری می باشند که جوشکاری مطابق مشخصات ارائه شده در جدول ۳ برای ۶ نمونه انجام گردید.

روکش سخت بر روی نمونه های آماده شده از قبل، توسط سه نوع سیم جوش طبق استاندارد DIN8555 با کدهای UP6-GF-50، UP6-GF-55 و UP6-GF-50-C که در شرکت کاوش جوش با کدهای 307-350-420 نامگذاری شده اند، همراه با پودر مخصوص با مشخصات ارائه شده در جدول ۴ به صورت یک پاس و دو پاس انجام گردید.

آزمون ترکیب شیمیایی به روش طیف سنجی نشر نوری (OES)

دقیقه در زمان ثابت ۳ دقیقه تراشکاری می شوند که با متر، میزان براده برداری و قابلیت ماشینکاری مشخص می گردد. اندازه گیری ضخامت نمونه توسط کولیس با دقت ۰/۰۵ میلی



شکل (۱): نمونه تهیه شده برای آزمون سایش همراه با پین فولادی

جدول (۱): ترکیب شیمیایی فولاد کم آلیاژ 42CrMo4 مورد استفاده (بر حسب درصدوزنی)

عنصر	Fe	V	Ni	Mo	Cr	S	P	Mn	Si	C
درصد	باقی مانده	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۹۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۳۵	۰/۶۹	۰/۲۱	۰/۳۸

جدول (۲): پارامترهای فرآیند روکش سخت به روش SAW

پیش گرم	سرعت جوشکاری (cm/min)	قطبیت	تعداد پاس ها	فرآیند
۲۰۰-۲۵۰°C	۶۰-۷۰	DCEP	۱ و ۲	SAW
پس گرم	شدت جریان (A)	ولتاژ (V)	طول قوس (mm)	قطر سیم (mm)
تا ۱۰۰°C	۴۰-۴۵۰	۲۸-۳۰	۲/۵-۳/۵	۳/۲

جدول (۳): مشخصات ارائه شده برای ۶ نمونه روکش سخت

کد سیم جوش	سیم جوش طبق استاندارد	فلاکس براساس استاندارد	تعداد پاس	ضخامت روکش ایجاد شده (میلی متر)
307	UP6-GF-50	Flux in Flux out B AB 1 68 AC	۱	۴
307	UP6-GF-50	Flux in Flux out B AB 1 68 AC	۲	۷
350	UP6-GF-55	Flux in Flux out B FB 1 55AC	۱	۴
350	UP6-GF-55	Flux in Flux out B FB 1 55 AC	۲	۷
420	UP6-GF-50-C	Flux in Flux out B FB 1 55 AC	۱	۴
420	UP6-GF-50-C	Flux in Flux out B FB 1 55 AC	۲	۷

جدول (۴): آنالیز شیمیایی (درصد وزنی) سیم جوش همراه با پودر [۲]

ماده	v	w	Mo	Ni	Cr	Mn	Si	C
سیم جوش ۳۰۷	-	-	۰/۸-۱	۰/۲Max	۴-۴/۵	۱/۸-۱/۹	۰/۶-۰/۹	۰/۲۴/۰/۳۶
سیم جوش ۳۵۰	۰/۱۷	۱/۲-۱/۴	۱/۷-۱/۹	۰/۲۵-۰/۳	۴/۵-۶	۱/۳-۱/۷	۰/۵-۰/۸	۰/۳-۰/۴
سیم جوش ۴۲۰	-	-	-	-	۱۲-۱۴	۰/۵-۰/۷	۰/۳-۰/۵	۰/۲۵-۰/۳۵
پودر ۶۱۰	-	-	-	-	۱-۱/۲	۱/۴-۱/۶	۰/۳-۰/۴	۰/۰۴-۰/۰۷
پودر ۹۱۵	-	-	۰/۴۵-۰/۵۵	۱/۸-۲	۱/۱-۱/۲	۰/۷-۰/۹	۰/۶-۰/۸	۰/۰۴-۰/۰۷

۳- نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از آزمونهای مختلف در ادامه مورد بحث قرار گرفته است.

۳-۱- آنالیز شیمیایی

رقت کم می شود) و منجر به تغییر ترکیب شیمیایی می گردد. همانطوری که از این جدول مشاهده می گردد در نمونه روکش سخت شده با کد 307 یک پاس و دو پاس درصد وزنی کربن از ۰/۲۸ به ۰/۳۲ درصد و کروم از ۳/۵۴ به ۴/۱ درصد افزایش یافته است که با افزایش درصد وزنی این دو عنصر تأثیر گذار، درصد حجمی فازها نیز تغییر می کند. نتایج حاصل از این تحقیق در رابطه با تغییر ترکیب شیمیایی در روکش ها با تغییر تعداد پاس ها، دارای تطابق خوبی با نتایج محققان دیگر است [۱۰].

جدول ۵ ترکیب شیمیایی سطح لایه روکش سخت نمونه ها را نشان می دهد. با توجه به آنالیز ارائه شده مشخص گردید که ترکیب شیمیایی روکشهای دو پاس نسبت به یک پاس تغییر یافته است. تغییر ترکیب شیمیایی در نتیجه میزان رقت فلز پایه در هنگام روکش دهی می باشد که با افزایش تعداد پاس درصد عناصر فلز پایه در رسوب آلیاژی روکش کاهش می یابد (درجه

جدول (۵): ترکیب شیمیایی روکش ایجاد شده (درصد وزنی)

روکش	Fe	V	Mo	Ni	Cr	Mn	Si	C
307 یک پاس	باقی مانده	۰/۰۰۳	۰/۸۶۱	۰/۱۴	۳/۵۴	۱/۱۵	۰/۵۳	۰/۲۸
307 دو پاس	باقی مانده	۰/۰۰۳	۰/۹۸۹	۰/۱۶	۴/۱۰	۱/۵۵	۰/۵۰	۰/۳۲
350 یک پاس	باقی مانده	۰/۱۲	۱/۰۱	۰/۱۵	۴/۱۳	۱/۲۹	۰/۴۰	۰/۳۱
350 دو پاس	باقی مانده	۰/۱۸	۱/۳۳	۰/۱۹	۴/۵۸	۱/۳۵	۰/۶۷	۰/۳۳
420 یک پاس	باقی مانده	۰/۰۱۲	۰/۱۹	۰/۰۰۹	۱۰/۵۳	۰/۸۳	۰/۴۸	۰/۲۹
420 دو پاس	باقی مانده	۰/۰۱۲	۰/۱۹	۰/۰۱۱	۱۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۳۲

۳-۲- بررسی ریزساختار

میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج زیر بدست آمد.

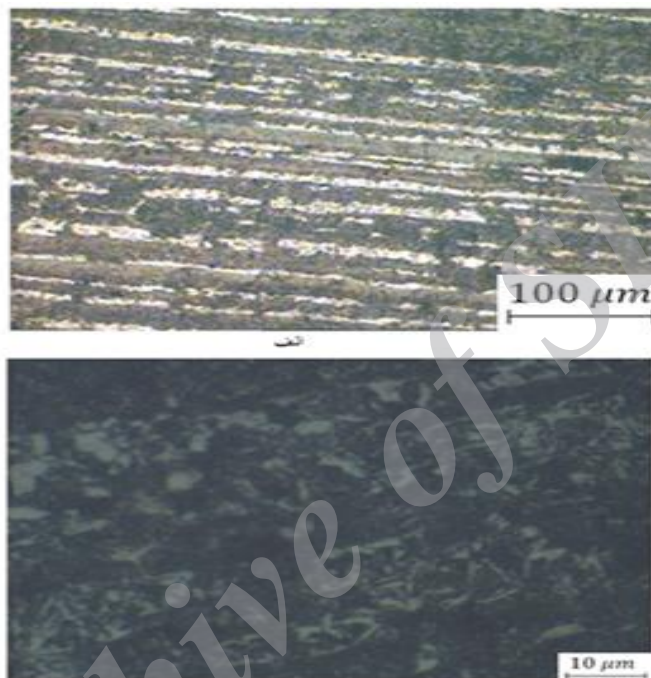
جوشکاری انجام گرفته توسط سه نوع سیم جوش با کدهای 307، 350، 420 به صورت یک پاس و دو پاس بر روی ۶ نمونه فولاد کم آلیاژ 42CrMo4، توسط آزمایش متالوگرافی با

۳-۲-۱- فلز پایه

تصاویر مشاهده شده در شکل ۲ (الف و ب) ریزساختار فلز پایه با ساختار مارتنزیت تمپر شده همراه با آستنیت باقی مانده در دو بزرگنمایی مختلف نشان می دهد. در صنعت، فولاد کم آلیاژ 42CrMo4 را به صورت کوئنچ-تمپر یا نرماله-تمپر مورد استفاده قرار می دهند که ساختار حاصل مارتنزیت تمپر شده یا

پرلیت می باشد [۱۴].

در این تصویر با توجه به ترکیب شیمیایی کربن (۰/۳۸ درصد) ساختار مارتنزیت تمپر شده مشاهده می گردد. خطوط افقی موجود در تصویر ناشی از قرار گرفتن دانه ها در یک جهت در فرآیند نوردکاری می باشد.



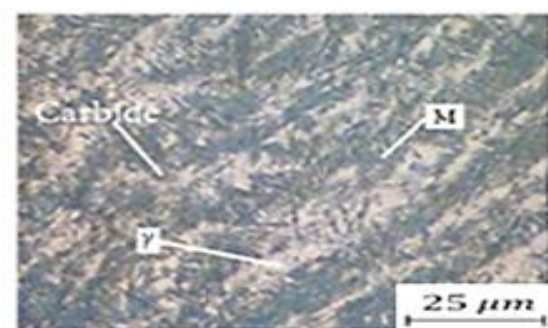
شکل (۲): ریزساختار فولاد کم آلیاژ: (الف): شامل مارتنزیت تمپر شده و آستنیت باقی مانده، (ب): بزرگنمایی ۵۰

کاربرد می باشد که در شکل ۴ (ب) کاربردها به وضوح مشخص می باشند پس می توان گفت ساختار در روکش 307 یک پاس و دو پاس تفاوتی ندارد و فقط با افزایش تعداد پاس ترکیب شیمیایی تغییر کرده و باعث تغییر درصد حجمی فازها شده است. همانگونه که در جدول ۳ مربوط به ترکیب شیمیایی مشاهده گردید در روکش 307 درصد وزنی کربن و کروم در روکش دو پاس افزایش یافته است که می توان با مقایسه شکل ۳ با شکل ۴ تغییر درصد حجمی فاز را مشاهده نمود. در رابطه با این ساختار با توجه به ترکیب شیمیایی روکش، تطابق خوبی با تصاویر متالوگرافی تحقیق آقای محمدی خواه و همکارانش دارد [۱۰].

۳-۲-۲- بررسی ریزساختار روکش ایجاد شده توسط سیم جوش 307 به صورت یک پاس و دو پاس

ریزساختار ایجاد شده توسط سیم جوش 307 به صورت یک پاس و دو پاس را می توان در شکل های ۳ و ۴ مورد بررسی قرار داد همچنین در شکل ۵ می توان ریزساختار حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی را مشاهده نمود.

تصویر (الف) شکل ۳ ساختار فلز جوش را نشان می دهد که متشکل از مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربرد می باشد که در شکل (ب) با بزرگنمایی بیشتر کاربردها مشخص می باشند. همچنین تصویر (الف) شکل ۴ مربوط به ساختار فلز جوش نیز متشکل از مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و

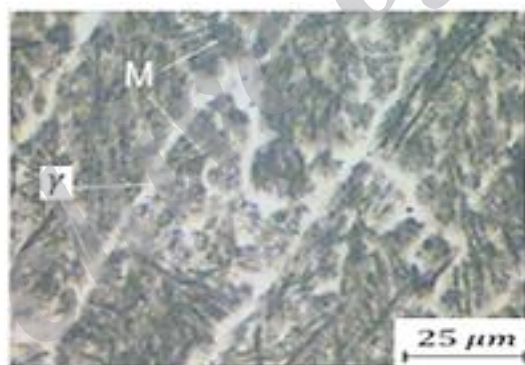


الف

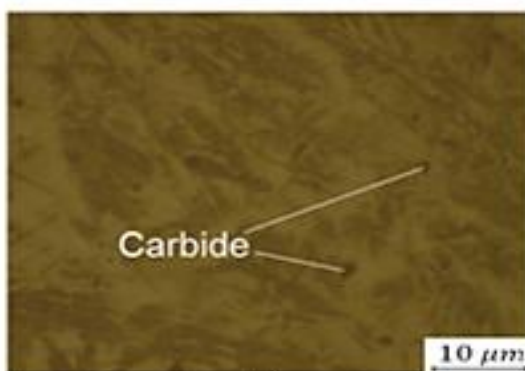


ب

شکل (۳): تصاویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت 307 به صورت یک پاس (الف): شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید، (ب): کاربیدها با بزرگنمایی ۷۵۰



الف



ب

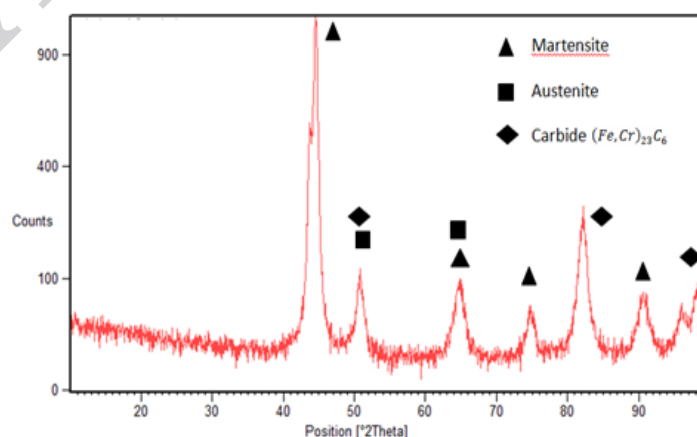
شکل (۴): تصاویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت 307 به صورت دو پاس (الف): شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید، (ب): کاربیدها با بزرگنمایی ۷۵۰

پراش پرتوی X (XRD) در شکل ۶ حضور مارتنزیت و آستنیت باقی مانده و کاربید $(Fe, Cr)_{23}C_6$ را تأیید می کند که دارای تطابق خوبی با نتایج طیف سنجی تفکیک انرژی است.

در شکل ۵ ریزساختار حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی را می توان مشاهده نمود. همانطوری که از نتایج طیفسنجی تفکیک انرژی مشخص است با توجه به وزن اتمی (Fe و Cr، C) و نسبت تقریبی ۴ برابری Cr، (Fe) به C، نوع کاربید $(Fe, Cr)_{23}C_6$ می باشد. همچنین الگوی



شکل (۵): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی روکش 307 به صورت دو پاس از فاز کاربید (نقطه A)



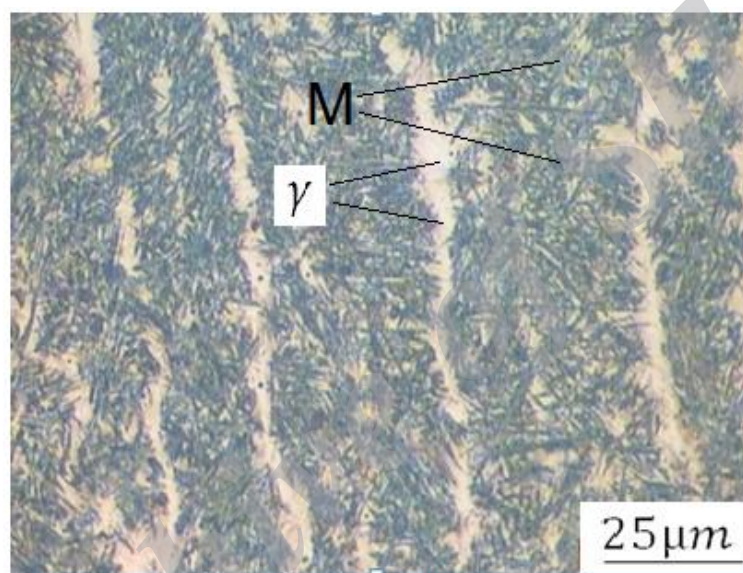
شکل (۶): الگوی پراش پرتوی X روکش حاصل از سیم جوش 307 به صورت دو پاس

تصاویر متالوگرافی مشاهده نمود. در تصاویر همانگونه که مشاهده می شود انجماد به صورت ستونی انجام گرفته است. حضور کروم و مولیبدن (تا مقادیر خاص) ساختار دانه ای فلز جوش را به سمت یک ساختار ستونی سوق می دهند. یافته های آزمایشگاهی محققان همچون اونس و همکاران بر روی جوش یک فولاد کربن - منگنز نیز موید همین واقعیت است [۱۵].

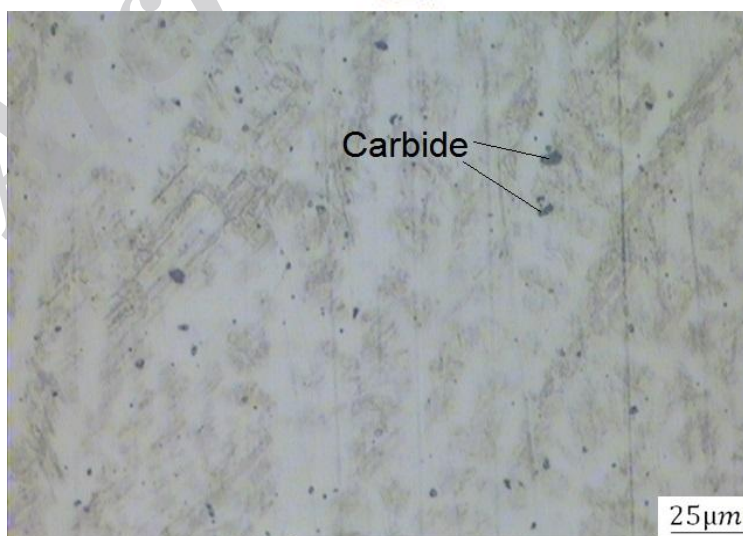
۳-۲-۳- بررسی ریزساختار روکش ایجاد شده توسط سیم

جوش 350 به صورت یک پاس و دو پاس

همانطور که از تصاویر (الف و ب) شکل ۷ مربوط به روکش با سیم جوش 350 یک پاس و تصاویر (الف و ب) شکل ۸ مربوط به روکش با سیم جوش 350 دو پاس مشاهده می گردد، ساختار مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید می باشد که با افزایش تعداد پاس، ترکیب شیمیایی تغییر کرده که باعث تغییر درصد حجمی فازها شده است که می توان این تغییرات را در

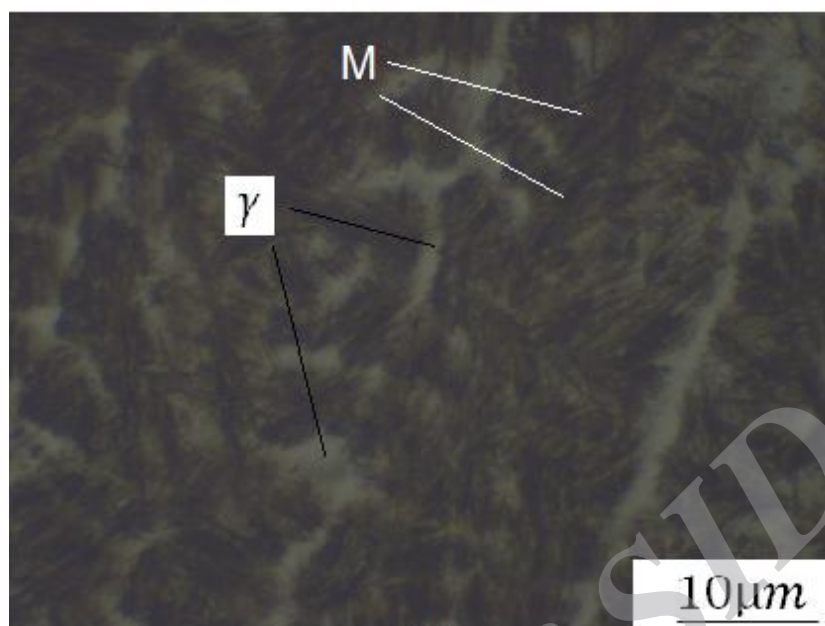


الف

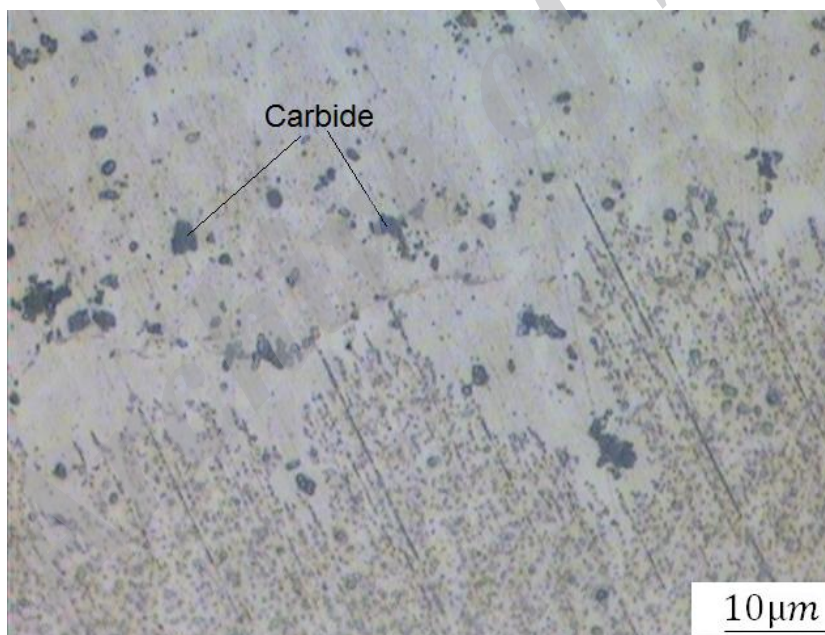


ب

شکل (۷): تصاویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت 350 یک پاس (الف): شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده، (ب): روکش با زمان نگهداری کمتر در محلول اچ، شامل کاربید



الف

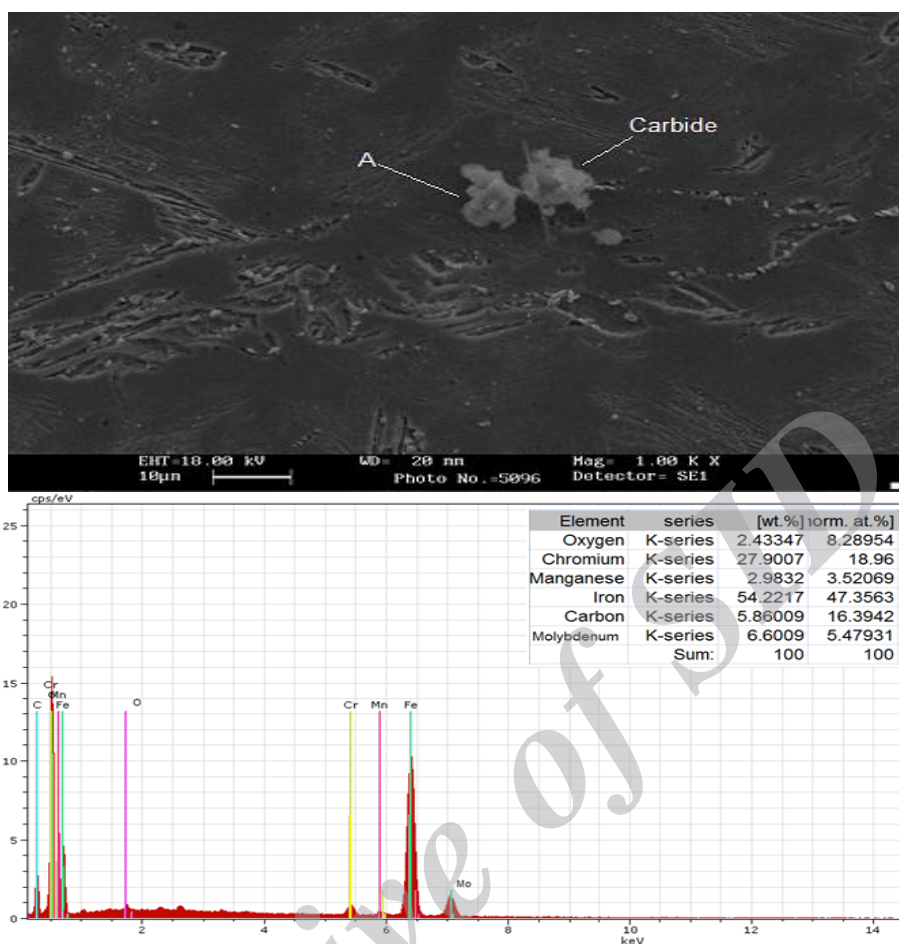


ب

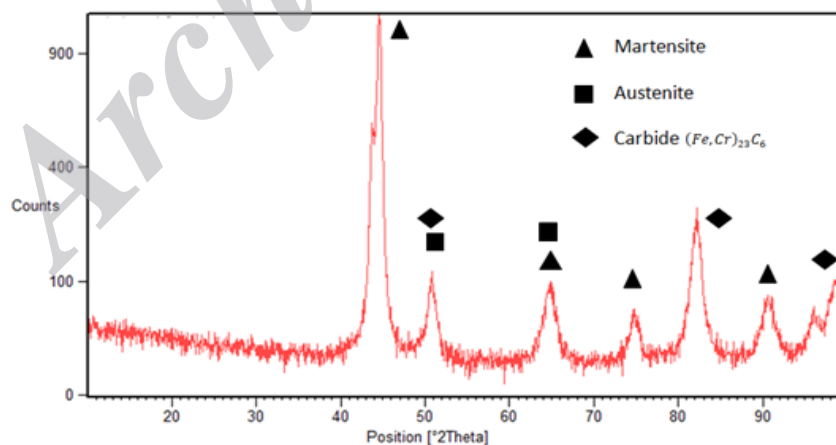
شکل (۸): تصاویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت ۳۵۰ دو پاس (الف): شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده، (ب): روکش با زمان نگهداری کمتر در محلول اچ، شامل کاربید

به وزن اتمی (Fe, Cr, C) و نسبت تقریبی ۴ برابری (Fe, Cr) به C، کاربید $(Fe, Cr)_{23}C_6$ را مشخص نمایید. در ضمن در شکل ۱۰ الگوی پرتوی X (XRD) حضور فازهای مارتنزیت به همراه آستنیت باقی مانده و کاربید $(Fe, Cr)_{23}C_6$ را تایید می کند.

شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی لایه روکش سخت ۳۵۰ دو پاس را نشان می دهد که آنالیز از نقطه A درصد اتمی عناصر بدست آمده و می توان نوع کاربید را مشخص نمود. آنالیز از نقطه A با توجه



شکل (۹): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی حاصل از روکش 350 دو پاس از فاز کاربید (نقطه A)

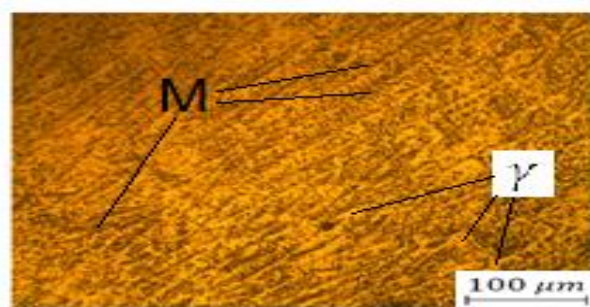


شکل (۱۰): الگوی پرتوی X (XRD) برای روکش 350 دو پاس

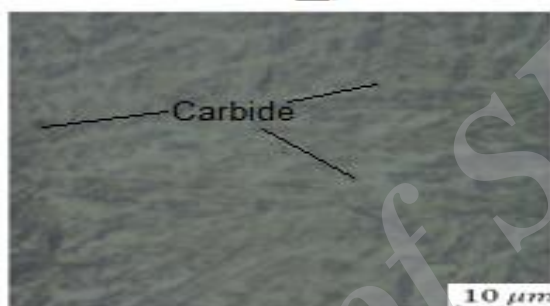
به سیم جوش 420 یک پاس و تصاویر (الف و ب) شکل ۱۲ مربوط به سیم جوش 420 دو پاس، شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید می باشد. روکش سخت حاصل از

۳-۲-۴- بررسی ریزساختار روکش ایجاد شده توسط سیم جوش 420 به صورت یک پاس و دو پاس ریزساختار مشاهده شده در تصاویر (الف و ب) شکل ۱۱ مربوط

سیم جوش 420 به علت درصد وزنی بالای کروم نسبت به دو روکش 307 و 350، دارای درصد حجمی کاربید بیشتر می باشد که در شکل ۱۳ (الف) پراکندگی کاربیدها مشهود می باشد.

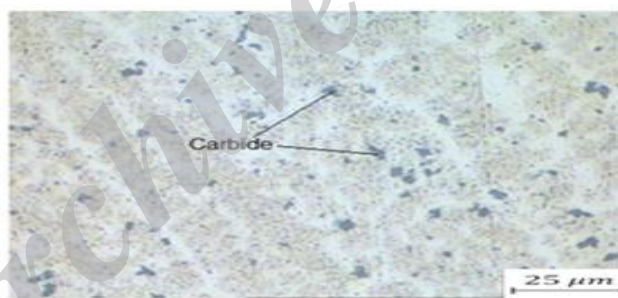


الف



ب

شکل (۱۱): تصاویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت 420 به صورت یک پاس (الف): شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید، (ب): بزرگنمایی ۷۵۰



الف

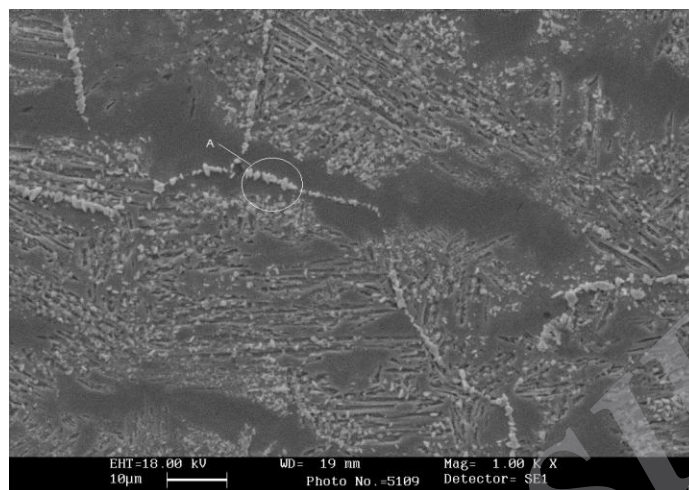


ب

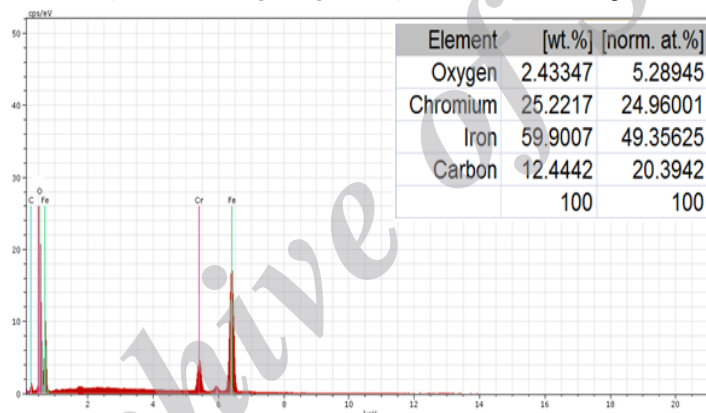
شکل (۱۲): تصاویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت 420 دو پاس (الف): روکش با زمان نگهداری کمتر در محلول اچ، شامل کاربید، (ب): روکش با زمان نگهداری مناسب در محلول اچ شامل مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید

همچنین در شکل ۱۳ می توان میکروساختار حاصل از تفکیک انرژی لایه روکش سخت 420 دو پاس را مشاهده نمود. میکروسکوپ الکترونی روبشی و در شکل ۱۴ طیف سنجی آنالیز از نقطه A با توجه به وزن اتمی (Fe، Cr، C) و نسبت

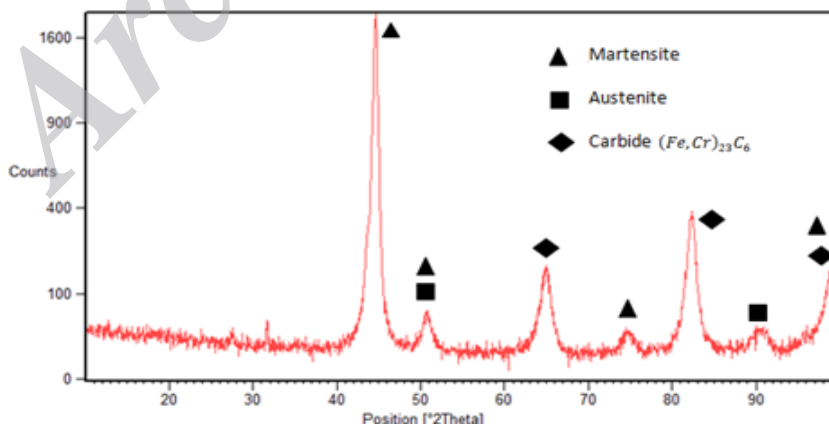
تقریبی ۴ برابری (Fe,Cr) به C، کاربید $(Fe, Cr)_{23}C_6$ مشخص حضور فازهای مارتنزیت به همراه آستنیت باقی مانده و کاربید گردید. در ضمن در شکل ۱۵ الگوی پراش پرتوی X (XRD) $(Fe, Cr)_{23}C_6$ را تایید می کند.



شکل (۱۳): تصویر میکروسکوپ الکترونی روشی روکش 420 دو پاس



شکل (۱۴): طیف سنجی تفکیک انرژی حاصل از روکش 420 دو پاس از فاز کاربید (نقطه A شکل الف)



شکل (۱۵): الگوی پرتوی X (XRD) برای روکش 420 دو پاس

مارتنزیت همراه با آستنیت باقی مانده و کاربید می باشند اما درصد حجمی فازهای هر روکش با هم متفاوت بودند که همین

۳-۳- مقایسه ریزساختارهای لایه های روکش سخت

با توجه به تصاویر متالوگرافی حاصل از روکش های 350، 420، و 307 مشخص گردید که هر سه روکش سخت دارای ساختار

درصد حجمی فازها تأثیر بسزایی دارند. همانطور که در جدول مشخص است روکش ایجاد شده توسط سیم جوش 420 به صورت دو پاس دارای بیشترین کاربرد و کمترین فاز آستنیت می باشد که علت آن وجود درصد وزنی کروم بیشتر نسبت به سایر روکش ها می باشد. همچنین به علت داشتن درصد وزنی منگنز و نیکل کمتر و کروم زیاده تر منطقه آستنیت کاهش و آستنیت باقی مانده کاهش می یابد.

تفاوت باعث تغییرات خواص متالورژیکی و مکانیکی می گردند. درصد حجمی فازها با استفاده از نرم افزار Analyzer Image تعیین گردید. بدین صورت که تصویر میکروسکوپ نوری لایه روکش سخت را انتخاب و بعد از شناسایی فازها، هر فاز با رنگ خاصی مشخص می گردد. سپس درصد حجمی هر رنگ تعیین کننده درصد حجمی فاز می باشد.

جدول ۶ درصد حجمی فازهای مختلف را نشان می دهد. حضور عناصر آلیاژی از جمله کروم، مولیبدن، منگنز و نیکل در تغییر

جدول (۶): درصد حجمی فازهای مختلف در روکش

مارتنزیت	آستنیت باقیمانده	کاربید $(Fe, Cr)_{23}C_6$	
۸۴	۱۳	۳	روکش 307 یک پاس
۷۹	۱۵	۶	روکش 307 دو پاس
۷۸	۱۵	۷	روکش 350 یک پاس
۷۵	۱۷	۸	روکش 350 دو پاس
۸۳	۱۰	۷	روکش 420 یک پاس
۷۷	۱۲	۱۱	روکش 420 دو پاس

از کاربرد $(Fe, Cr)_{23}C_6$ می باشد که با افزایش درصد حجمی آن در ساختار، سختی افزایش می یابد. نتایج حاصل از این تحقیق در رابطه با افزایش سختی با تغییر درصد کربن و افزایش درصد حجمی کاربرد $(Fe, Cr)_{23}C_6$ تطابق خوبی با نتایج دیگر محققان دارد. آنها نشان دادند که با افزایش کاربرد $(Fe, Cr)_{23}C_6$ ، سختی افزایش می یابد [۴].

۳-۴- سختی سنجی
جدول ۷، نتایج سختی سنجی از سطح روکشهای ایجاد شده توسط سیم جوشهای 307، 350 و 420 را به صورت یک پاس و دو پاس ارائه می دهد. همانطور که از اعداد مربوط به سختی مشخص است کمترین سختی RC ۳۶ مربوط به لایه روکش سخت 307 یک پاس و بیشترین سختی مربوط به لایه روکش سخت 420 دو پاس می باشد که علت آن وجود مقدار بالاتری

جدول (۷): نتایج آزمون سختی از سطح روکش ها (HRC)

روکش	سختی ۱	سختی ۲	سختی ۳	میانگین
روکش 307 یک پاس	۳۵	۳۷	۳۶	۳۶
روکش 307 دو پاس	۳۸	۳۹	۳۸	۳۸
روکش 350 یک پاس	۴۱	۴۰	۴۰	۴۰
روکش 350 دو پاس	۴۳	۴۲	۴۱	۴۲
روکش 420 یک پاس	۳۹	۳۹	۴۱	۳۹
روکش 420 دو پاس	۴۳	۴۱/۵	۴۴	۴۲
فولاد کم آلیاژ Mo40	۲۴	۲۶/۵	۲۴	۲۵

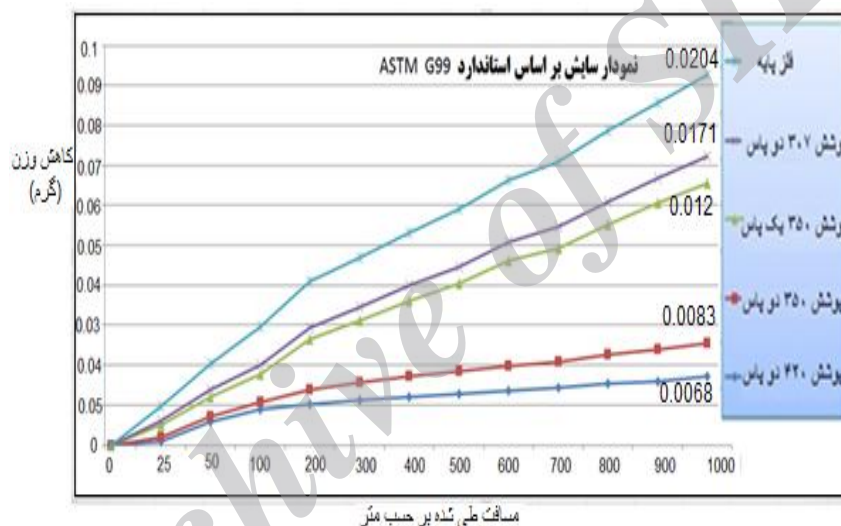
با توجه به شکل ۱۶ نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت طی شده برای نمونه های آزمون سایش به روش پین روی دیسک

۳-۵- مقاومت به سایش
به طور کلی مقاومت در برابر سایش وابسته به سختی مواد است.

دهند. نتایج حاصل از این تحقیق در رابطه با نقش کاربیدها در مقاومت به سایش قطعات توسط سانر و همکارانش نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۱۶].

همانگونه که در شکل مشخص است مقاومت به سایش روکش ایجاد شده توسط سیم جوش 420 به صورت دو پاس بیشتر از سایر روکشا می باشد و بعد از آن نیز مقاومت به سایش روکش ایجاد شده توسط سیم جوش 350 به صورت دو پاس را می توان دید، علت بالا بودن مقاومت به سایش روکش حاصل از این دو سیم جوش، (اول 420 و بعد 350) بالا بودن سختی در لایه روکش می باشد.

مشاهده می شود که با افزایش مسافت طی شده میزان جرم از دست داده شده برای نمونه فولاد 42CrMo4 مرتباً و بدون نشان دادن رفتار کند شونده، افزایش می یابد. این نتایج با توجه به رفتار سایشی فولاد کم آلیاژ 42CrMo4 با سختی RC ۲۵ دور از انتظار نمی باشد. همچنین مشاهده می شود که نمونه های روکش داده شده نسبت به نمونه خام مقاومت به سایش بالاتری دارند. با تشکیل کاربیدها در روکش به علت آنکه سختی کاربید کروم زیاد می باشد لذا این کاربیدها می توانند از خسارت ناشی از سایش بکاهند. این کاربیدها با منقطع ساختن خراشیدگی ها و کاستن عمق خراشیدگی، میزان جرم سایش یافته را کاهش می

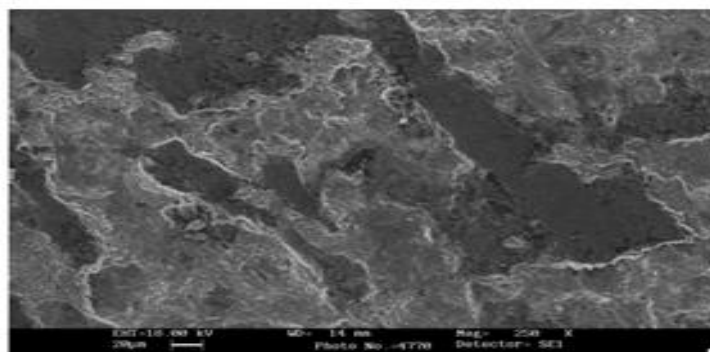


شکل (۱۶): نمودار کاهش وزن بر حسب مسافت طی شده برای نمونه های آزمون سایش در نیروی اعمالی ۱۳۰ نیوتن و سرعت سایش ۰/۰۵ m/s در مسافت ۱۰۰۰ متر

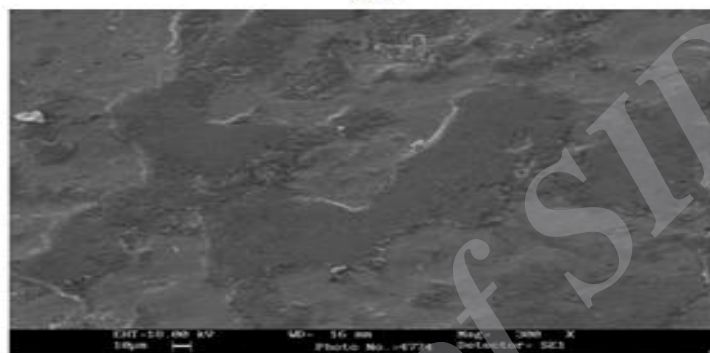
۳-۶- مکانیزم سایش

بدلیل افزایش سختی سایش چسبان کاهش یافته است. همچنین بررسی بیشتر سطح سایش و طیف سنجی تفکیک انرژی بر روی روکش 420 حاکی از وجود اکسیژن بالا در مناطق چسبان است که در شکل ۱۸ نشان داده شده است. دلیل اکسیژن بالا در این مناطق می تواند در ارتباط با افزایش دما در حین آزمون سایش باشد [۱۸]. بنابراین مکانیزم سایش در روکش ها، سایش چسبان و تریوشیمیایی است.

بررسی شکل ۱۷ نشان می دهد مکانیزم سایش نمونه ها از نوع سایش چسبان است. ذرات و نواحی چسبیده بر روی سطح دلیل واضحی بر وجود مکانیزم سایش چسبان می باشد. همانطوری که از شکل ۱۷ (ب) مشخص است میزان سایش چسبان در این نمونه در مقایسه با نمونه ۱۷ (الف) کاهش یافته است. در مطالعاتی که توسط آقای یانگ و همکارانش انجام شده است افزایش سختی سطح باعث کاهش در سایش چسبان گردیده است [۱۷]. بنابراین در روکش 350 دو پاس در مقایسه با فلز پایه

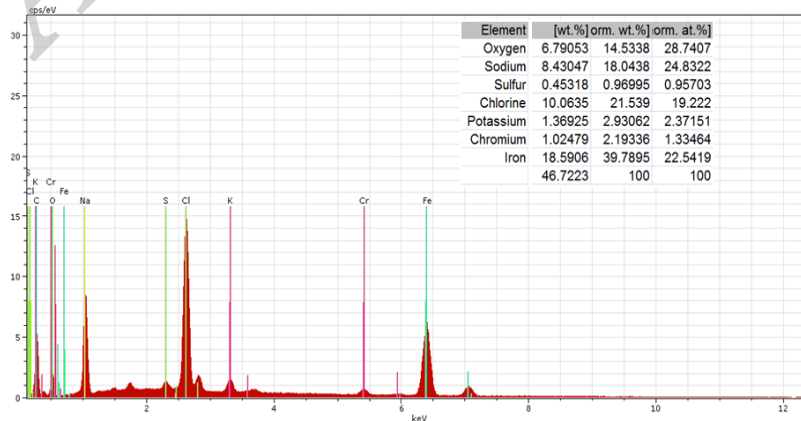
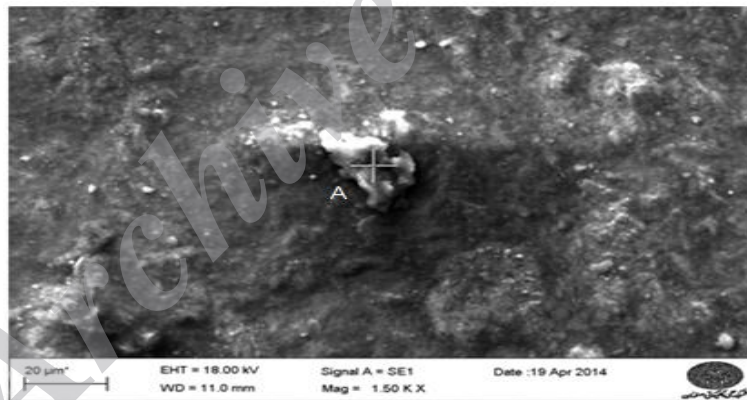


الف



ب

شکل (۱۷): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح سایش (الف): فلز پایه، (ب): روکش 350 دو پاس



شکل (۱۸): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی همراه با طیف سنجی تفکیک انرژی حاصل از مکانیزم سایش روکش 420

۳-۶- قابلیت ماشینکاری

بندی نمود. قابلیت ماشینکاری روکش حاصل از سیم جوش 307 با توجه به جدول ۸ به علت داشتن سختی پایین، خوب می باشد. همچنین روکش حاصل از سیم جوش 350 با توجه به سختی نسبتاً بالا، قابلیت ماشینکاری متوسط دارد ولی روکش حاصل از سیم جوش 420 قابلیت ماشینکاری سخت، می باشد.

نمونه ها بعد از آزمون سایش، برای بررسی قابلیت ماشینکاری، تراشکاری شدند. در این آزمون سرعت تراشکاری ۱۲۰ (دور/دقیقه) و زمان تراشکاری ۳ (دقیقه) ثابت گرفته شده است. آنچه می توان گفت اینکه قابلیت ماشینکاری برای سه روکش ایجاد شده را می توان به سه دسته خوب، متوسط و سخت دسته

جدول (۸): پارامترهای فرآیند ماشینکاری برای روکش ها و فولاد Mo40

پارامترها روکش	میزان تراشکاری (میلی متر)	نوع قلم تراشکاری
فولاد Mo40	۱/۵	بهر-کبات ۵/Co
روکش با 307 دو پاس	۰/۷	الماس SP40
روکش با 350 دو پاس	۰/۳	الماس SP40
روکش با 420 دو پاس	۰/۲۵	الماس SP40

می کند.

۳- سختی و مقاومت به سایش روکش 420 دو پاس بیشتر از سایر روکشا بوده که علت آن اختلاف ترکیب شیمیایی و درصد حجمی کاربیدهای $(Fe, Cr)_{23}C_6$ می باشد.

۴- مکانیزم سایش در تمامی روکش ها از نوع چسبان و به علت غنی بودن منطقه سایش از اکسیژن، مکانیزم سایش چسبان همراه با تریوشیمیایی می باشد.

۵- قابلیت ماشینکاری روکش 420 سخت و روکش 350 متوسط می باشد.

آنچه در مورد روکشا حائز اهمیت است اینکه بتوان با توجه به شرایط عملی و کاربردی قطعات، از روکش مناسب استفاده نمود. لذا همیشه سختی و مقاومت به سایش بالا در قطعات صنعتی کافی نبوده و باید خواص دیگر را از جمله قابلیت ماشینکاری در نظر گرفت. بنابراین جایی که بعد از ایجاد روکش کیفیت سطح مطرح است، مانند بازسازی چرخهای جرثقیل از روکش 350 (با سختی نسبتاً بالا و قابلیت ماشینکاری متوسط) استفاده می گردد و مواردی که کیفیت سطح مطرح نباشد مانند بازسازی ورقهای ضد سایش در تماس با مواد معدنی، از روکش 420 استفاده می گردد.

۷- مراجع

[۱] م. صالحی، "متالورژی سطح و تریبولوژی"، انجمن علوم و تکنولوژی ایران، ۱۳۷۴

[2] T. Hejwowski, "Erosive and Abrasive Wear Resistance of Overlay Coating", Vol. 30, PP. 5-15, 2008.

[3] D. K. Dwivedi, "Microstructure and Abrasive Wear Behavior of Iron Base Hardfacing", Materials Science and Technology, Vol. 10, PP. 10-20, 2004.

[4] C. Fan, M. Chen, C. M. Chang & W. Wu,

۶- نتیجه گیری

۱- ریزساختار روکشهای 307، 350، 420 به صورت یک پاس و دو پاس شامل مارتزیت همراه با آستنیت باقی مانده با کاربید C_6 $(Fe, Cr)_{23}$ می باشند. بیشترین درصد حجمی مارتزیت مربوط به روکش 307 یک پاس و بیشترین درصد حجمی کاربید C_6 $(Fe, Cr)_{23}$ مربوط به روکش 420 می باشد.

۲- ترکیب شیمیایی روکشهای دو پاس نسبت به یک پاس تغییر یافته است که با تغییر ترکیب شیمیایی، درصد حجمی فازها تغییر

- [11] V. Vukovic, R. Radic & S. Cudic, "Resurfacing monoblock of steel R7T wheel RIMS for the train wagons", Vol. 50, PP. 133-136, 2011.
- [۱۲] ر. جعفری، ا. اوحدی و م. قنبری، "بازسازی چرخهای منوبلوک واگنهای باری با بهره گیری از فرایند جوشکاری زیرپودری"، هفتمین همایش حمل و نقل ریلی، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ماه ۱۳۸۲.
- [13] ASTM Hand book, "Wear Erosion and Metal Corrosion", Vol. 03, 02, USA, 1997.
- [۱۴] م. مرعشی، "م탈وژی کاربردی فولادها"، انتشارات آزاده، تهران زمستان ۸۱.
- [15] G. M. Evans & N. Baily, "Metallurgy of Basic Weld Metals", Published by: Abinyton, 1997.
- [16] S. Buytoz, "Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel", Surface & Coatings Technology, Vol. 200, PP. 3734-3742, 2006.
- [17] J. Yang, Z. Ye. Yong Liu, D. Yang & He. Shiyu, "Microstructural and tribological characterization of plasma- and gas-nitrided 2Cr13 steel in vacume", Material & Design, Vol. 32, PP. 808-814, 2011.
- [۱۸] ح. پایدار، ک. امینی، ا. اخباری زاده، م. نجفیان، "بررسی تاثیر عملیات زیر صفر عمیق بر ریزساختار و مقاومت سایش فولاد کم آلیاژ 100Cr6"، فصلنامه فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، مجلسی، سال هفتم، شماره ۲۶، پاییز ۱۳۹۲.
- "Microstructure Change Caused by (Fe, Cr)₂₃C₆ Carbides in High Chromium Fe-Cr-C Hard facing Alloys", Surface and Coating Technology, Vol. 21, PP. 908-912, 2006.
- [5] S. Buytoz, M. Ulutan & M. M. Yildirim, "Dry Sliding Wear Behavior of TIG Welding Clad Composite Coatings", Applied Surface Science, Vol. 252, PP. 1313-1323, 2005.
- [6] Y. C. Chen, "Reinforcements affect mechanical properties and wear haviors of WC clad layer by gastungsten arc welding", Materials and Design, Vol. 45, PP. 6-14, 2013.
- [7] Y. C. Lin & H. M. Chen, "Analysis of microstructure and wear performance of SiC clad layer on SKD61 die steel after gas tungsten arc welding", Materials and Design, Vol. 47, PP. 828-835, 2013.
- [8] Y. C. Lin, "Microstructure and tribological performance of Ti-6Al-4V cladding with SiC powder", Surface & Coatings Technology, Vol. 205, PP. 5400-5405, 2011.
- [9] S. Buytoz & M. Ulutan, "In situ synthesis of siC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying", Surface & Coatings Metalorgija Technology, Vol. 200, PP. 3698-704, 2006.
- [۱۰] م. محمدی خواه وح. ثابت، "بررسی و مقایسه ریزساختار و مقاومت به سایش ورقهای فولادی روکش سخت پایه آهن - کروم - کربن با ورق فولادی کوئچ - تمپر شده صنعتی"، سمپوزیوم فولاد، باشگاه پژوهشگران جوان، اسفند ماه ۹۱، صفحات ۳۴۰-۳۳۲.

۸- پی نوشت

- [1] Hardfacing
[2] Winston F
[3] Sherlley M
[4] Yu-chilin
[5] Yong
[6] Soner