

بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش خراشان خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه Fe-C-B بر روی فولاد ساده کربنی

مهدی محمدی خواه^۱، حامد ثابت^{۲*}، نوید میرزا محمد^۳، اکبر هادی زاده^۴، سعید محرابیان^۵، سروش شکیب^۶

۱- کارشناس ارشد مهندسی مواد، باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ایران

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، گروه مهندسی مواد و متالورژی، کرج، ایران

۳ و ۶- کارشناس مهندسی مواد

۴ و ۵- شرکت کاوش جوش

* h-sabet@kia.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۹/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۱۳)

چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده از سیم توپودری پایه بور عملیات روکش کاری سخت توسط فرآیند جوشکاری FCAW بر روی فولاد ساده کربنی ST52 انجام گردید. نتایج آزمایش آنالیز شیمیایی حکایت از جذب عنصر بور در نمونه جوشکاری شده دارد. نتایج آزمایش پراش پرتو X (XRD)، متالوگرافی نوری، SEM و EDX بیانگر حضور فازهای اولیه پرویوتکتیکی Fe₂B و رسوبی FeB در زمینه یوتکتیکی (مارتنزیت + آستنیت + Fe₂B) در نمونه روکش کاری شده می باشد. نتایج سختی سنجی راکول C از سطح نمونه بیانگر افزایش چشمگیری در سختی لایه روکش شده نسبت به فلز پایه می باشد. همچنین نتایج آزمون های سایش خشک و مرطوب مشخص نمودند که لایه روکش سخت پایه بورایدی دارای مقاومت به سایش بسیار بالاتری نسبت به فلز پایه می باشد. همچنین بررسی انجام شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی سطوح ساییده شده مشخص نمود که مکانیزم سایش لایه روکش سخت در شرایط سایش خشک شخم زنی همراه با کندگی جزئی بوده و در شرایط سایش مرطوب از نوع شخم زنی جزئی همراه با کندگی (اکسیدها) می باشد.

واژه های کلیدی: روکش کاری سخت، Fe-C-B، ریزساختار، مقاومت به سایش خراشان، فولاد ساده کربنی

۱- مقدمه

می باشد [۱-۲]. عملیات جوشکاری به علت صرفه اقتصادی و ایجاد لایه های نسبتاً ضخیم و مقاوم نسبت به سایر روش ها همچون عملیات حرارتی، آبکاری و پوشش دادن، در شرایط سایش خراشان و ضربه ارجحیت دارند [۲-۳]. خواص لایه های روکش سخت تابعی از ترکیب شیمیایی، شرایط انجماد، سرعت

سایش یکی از مهمترین عوامل تخریب قطعات مهندسی در صنعت است [۱]. یک روش متداول جهت افزایش عمر قطعات در معرض سایش، استفاده از عملیات سخت کاری (ایجاد لایه های سخت) توسط جوشکاری برای محافظت از سطح

این تحقیق بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش خراشان در حالت خشک و مرطوب لایه روکش سخت ایجاد شده با جوشکاری قوس سیم توپودری حاوی ترکیبات بور، بر روی فولاد ساده کربنی می باشد. از آنجایی که عمده تحقیقات [۱۶-۱۷] بر روی عنصر بور در سیستم های آلیاژی روکش سخت در حضور سایر عناصر آلیاژی مانند Mn و Ti بوده است، لذا در این تحقیق اثر افزودن عنصر بور بدون حضور عناصر اضافی بر ریزساختار و مقاومت به سایش خراشان لایه روکش سخت حاصل بر روی فولاد ساده کربنی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق فولاد ساده کربنی ST52 با ابعاد $12 \times 20 \times 400$ میلیمتر به عنوان فلز پایه استفاده گردید. همچنین از سیم جوش توپودری KJTUBO 468-1 با قطر $2/4$ میلی متر ساخت شرکت کاوش جوش به عنوان سیم جوش مصرفی با پودر بری ۲۵ درصد و با ترکیب پودر مصرفی ارائه شده در جدول ۱ استفاده شد.

جدول (۱): ترکیب (درصد وزنی) پودر مصرفی در سیم توپودری

KJTUB 468-1		
پودر آهن	$TiO_2 + Na_2CO_3$	فروبور
٪۱	٪۹	٪۱۵

قبل از جوشکاری اکسیدهای سطحی فلز پایه به کمک سنباده زنی زدوده شدند و سپس توسط استون چربی زدایی گردیدند. روکش کاری سخت به روش FCAW مطابق با پارامترهای ارائه شده در جدول ۲ انجام شد. لازم به ذکر است که پارامتر های جوشکاری براساس کد ASME Sec 9, QW216 & QW400 تعیین شدند، همچنین علت انجام عملیات جوشکاری با قطبیت DCEP و طی ۲ پاس رعایت استاندارد ISO 6847 جهت کاهش درجه رقت فلز پایه بوده است. بعد از عملیات جوشکاری، نمونه هایی از پاس دوم قطعات جوشکاری شده تهیه شدند و آزمون های ترکیب شیمیایی، متالوگرافی نوری و الکترونی، XRD و سایش بر روی آنها انجام گردید.

سرد شدن (بعد از انجماد)، ریزساختار، نوع، شکل و توزیع فازها است [۴]. آلیاژهای مورد استفاده جهت ایجاد لایه های مقاوم به سایش بر روی فلزات پایه آهنی (فولاد کربنی و کم آلیاژ) به دو دسته آلیاژهای آهنی و آلیاژهای غیرآهنی تقسیم بندی می شوند. آلیاژهای آهنی به کار رفته برای این منظور در دو گروه عمده زیر قرار دارند [۵-۷]:

۱- آلیاژهای پایه Fe-Cr-C

۲- آلیاژهای پایه Fe-C-X (x عنصر کاربیدزا)

آلیاژهای غیر آهنی مورد استفاده نیز دو دسته اند که عبارتند از:

۱- آلیاژهای پایه کبالت

۲- آلیاژهای پایه نیکل

لایه های روکش سخت Fe-C-X در شرایط سایش خراشان مورد استفاده وسیعی دارند [۸]. نوع و مقدار عناصر آلیاژی در لایه های روکش سخت Fe-C-X بر حسب مکانیزم سایش و عملکرد لایه سخت انتخاب می شوند [۹]. برای مثال افزودن Mn به منظور بهبود مقاومت به سایش توام با ضربه مورد توجه بوده است [۱۰]. عناصری مانند Mo، V [۱۱]، Nb [۱۲] و Ti [۱۳] عمدتاً برای بهبود مقاومت به سایش خراشان به سیستم آلیاژی Fe-C-X افزوده می شوند. بور در بسیاری از سیستم های آلیاژی روکش سخت به عنوان یک عنصر آلیاژی در کنار کربن و سایر عناصر آلیاژی مورد استفاده قرار گرفته است. بور در مقادیر خیلی کم در فریت حل شده و باعث استحکام بخشی می گردد و در مقادیر بالاتر از ۰/۰۷ درصد با تشکیل کاربید بور (B_4C) باعث ایجاد سختی و مقاومت به سایش می شود [۱۴]. بور در کنار کربن و سایر عناصر آلیاژی کاربیدزا توانایی تشکیل کاربوبرایدهای آلیاژی و کمپلکس همچون $M_3(CB)$ و $M_7(CB)_3$ و $M_{23}(CB)_7$ را دارد، همچنین بور بدون حضور کربن توانایی تشکیل بوراید را با سایر عناصر آلیاژی موجود در سیستم لایه سخت دارا می باشد [۱۴-۱۵]، بوراید تیتانیم با ترکیب TiB_2 و بوراید آهن با ترکیب FeB و Fe_2B متداول ترین فازهای سخت پایه بوراید در لایه های روکش سخت مقاوم به سایش می باشند. اضافه نمودن بور به سیستم های آلیاژی روکش سخت عمدتاً به منظور تأمین مقاومت به رفتگی^۱ یا سایش خراشان انجام می شود [۱۵]. هدف از

جدول (۲): پارامترهای جوشکاری

فرآیند	تعداد پاس ها	قطیبت	سرعت جوشکاری (mm/min)	گرمای ورودی هر پاس (kJ/mm)
FCAW-Self Shield	۲	DCEP	۳۰۰-۳۳۰	۱/۶۲-۱/۹۲
سرعت تغذیه سیم (m/min)	قطر سیم (mm)	طول قوس (mm)	ولتاژ (V)	جریان (A)
۵-۷	۲/۴	۴-۵	۲۸-۳۰	۳۳۰-۳۵۰

خشک) مطابق استاندارد ASTM G65 با نیروی اعمالی ۱۳۰ نیوتن و مسافت طی شده ۴۳۰۹ متر (درجه A استاندارد) انجام شد. آزمون سایش خراشان مرطوب نیز مطابق استاندارد ASTM G105 با اعمال نیروی ۲۲۲ نیوتن در محیط آب و مسافت طی شده ۲۷۳۰ متر انجام شد. و در انتها نتایج آزمون‌های سایش خشک و مرطوب با نمونه فولاد ST52 بدون روکش مقایسه گردیدند. لازم به ذکر است که آزمون‌های سایش (خشک و مرطوب) در واحد تحقیقات شرکت کاوش جوش انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

الف- ترکیب شیمیایی و فازهای تشکیل شده

جدول ۳ ترکیب شیمیایی فلز پایه و لایه روکش سخت را در پاس دوم ارائه می‌دهد. همانگونه که از جدول ۳ مشخص است لایه روکش سخت حاوی ۴/۱۳ تا ۴/۲۸ درصد بور می‌باشد.

جدول (۳): ترکیب شیمیایی (درصد وزنی) فلز پایه و لایه روکش سخت

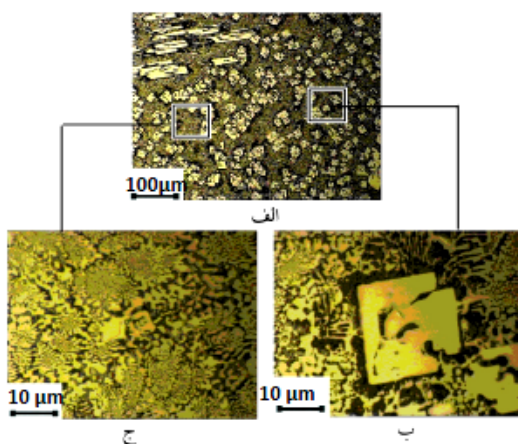
نمونه	B	Mn	Si	C	Fe
روکش سخت	۴/۱۳-۴/۲۸	۱/۴۱-۱/۴۸	۰/۵۱-۰/۵۴	۰/۷۴-۰/۷۹	الباقی
فلز پایه	-	۱/۵۲-۱/۶۰	۰/۵۵-۰/۵۸	۰/۲۱-۰/۲۲	الباقی

شکل ۱ الگوی پراش پرتو X لایه روکش سخت را نشان می‌دهد، همانگونه که از شکل ۱ مشخص است فازهای آستنیت، مارتنزیت Fe₂B و FeB در ریزساختار حضور دارند. علت حضور فازهای مذکور در ریزساختار از طریق مطالعه فاز دیاگرام آهن- بور قابل بررسی است.

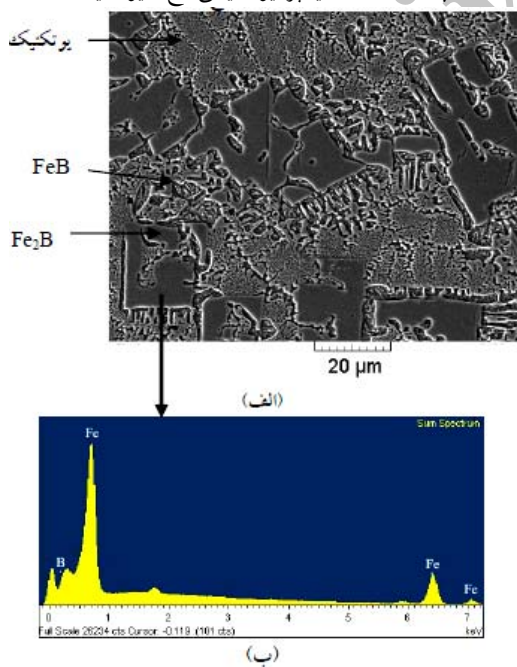
آزمون ترکیب شیمیایی به روش اسپکترومتری نشرنوری (OES) با دستگاه مدل Meta Vision-108N در ۳ نقطه از سطح نمونه‌های آماده شده انجام گردید تا مقادیر حداکثر و حداقل عناصر موجود (محدوده ترکیب شیمیایی) در فلز جوش تعیین گردد. همچنین از آزمایش ICP-MS² جهت تعیین عنصر بور در فلز جوش استفاده شد. جهت بررسی ریزساختار، نمونه‌ها پس از آماده سازی اولیه، توسط محلول نایتال ۳ درصد حکاکی گردیدند و بررسی متالوگرافی با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ نوری مدل Olympus BX51M، در بزرگنمایی‌های مختلف انجام شد. همچنین از یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA/TESCAN، مجهز به سیستم الکترون برگشتی (BSE)، الکترون ثانویه (SE) و آنالیز نقطه‌ای (EDX) تحت ولتاژ 20KV جهت تشخیص بهتر ریزساختار و فازها استفاده گردید.

جهت شناسایی فازها، آزمون پراش سنجی پرتو X با استفاده از دیفراکتومتر مدل Philips مجهز به نرم‌افزار X³PERT high score انجام شد. همچنین سختی سنجی میکروسکوپی با دستگاه Struers Duramin در مقیاس ویکرز با بار ۱۰۰ گرم نیرو انجام گردید. سختی سنجی ماکروسکوپی نیز به روش راکول C تحت بار ۱۰۰ کیلوگرم با استفاده از دستگاه سختی سنجی مدل Wolpert انجام شد. لازم به ذکر است که جهت افزایش دقت نتایج آزمون سختی ماکروسکوپی، حداقل ۳ نقطه از هر نمونه تحت آزمون قرار گرفتند که متوسط نتایج آنها معیار سختی سطح در نظر گرفته شد. آزمون سایش خشک (چرخ لاستیکی و ماسه

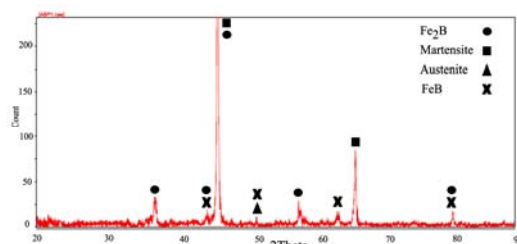
مارتنزیت + آستنیت + Fe_2B که زمینه ساختار را تشکیل داده اند را نشان می دهد. فاز FeB که در اثر کاهش حلالیت بور تشکیل شده است در اطراف Fe_2B اولیه رسوب کرده اند که این موضوع در تصویر SEM شکل ۴-الف نشان داده شده است. شکل ۴-ب آنالیز نقطه‌ای (EDX) به عمل آمده از فاز Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی موجود در ساختار را نشان می دهد که بیانگر فازهای غنی از عناصر آهن و بور (Fe_2B) می باشد.



شکل (۳): الف) تصویر متالوگرافی نوری از لایه روکش سخت ب- فاز Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی ج- یوتکتیک ($A+M+Fe_2B$)

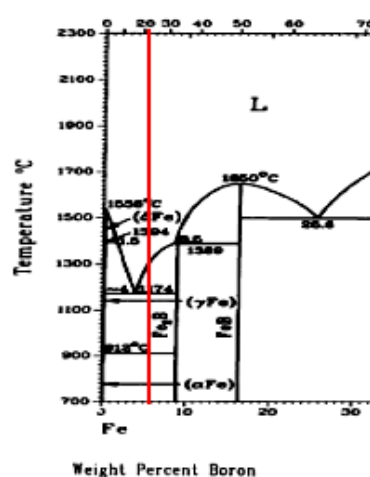


شکل (۴): الف) تصویر تهیه شده توسط SEM(SE) از لایه روکش سخت پایه بورایدی، ب) آنالیز نقطه‌ای از فاز Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی



شکل (۱): الگوی پراش پرتو X لایه روکش سخت پایه بورایدی

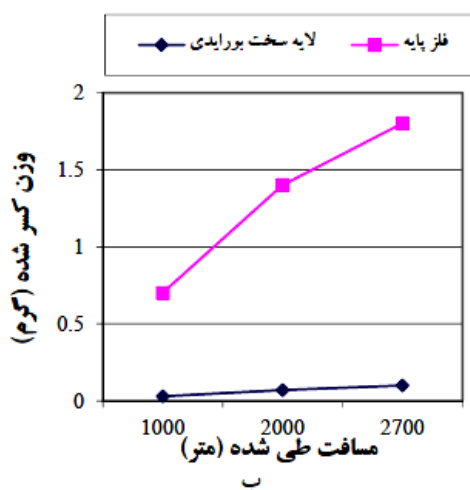
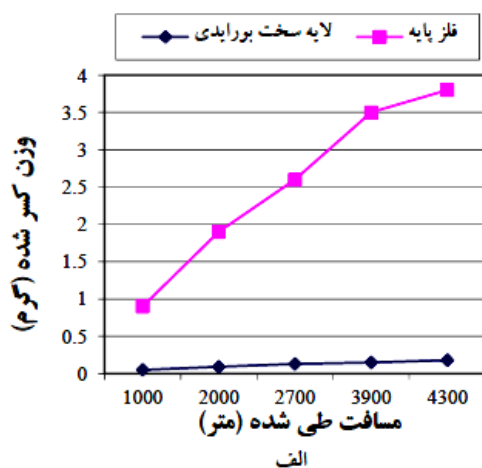
شکل ۲ دیاگرام فازی دوتایی آهن- بور را نشان می دهد. مطابق دیاگرام با حضور بور در محدوده ۴/۱۳-۴/۲۸ درصد وزنی در محدوده دمایی ۱۱۷۴ تا ۹۱۰ درجه سانتی گراد فازهای Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی به همراه یوتکتیک Fe_2B + آستنیت حضور دارند. در مراحل بعدی در اثر سرد شدن سریع و به علت حضور کربن (۰/۷۴-۰/۷۹) نسبتاً بالا، فرصت کافی برای تشکیل فاز فریت مهیا نشده [۱۷ و ۱۵]، لذا در دمای محیط فازهای مارتنزیت به همراه آستنیت باقی مانده در ساختار یوتکتیک حضور دارد. ضمن آنکه الگوی پراش پرتو X (شکل ۱) نیز حضور فازهای آستنیت و مارتنزیت را تایید می کند. تشکیل مقادیر جزئی FeB نیز موجود شامل Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی و FeB رسوبی به همراه یوتکتیک (مارتنزیت + آستنیت + Fe_2B) می باشند.



شکل (۲): دیاگرام دوتایی آهن- بور

شکل ۳-الف تصویر متالوگرافی نوری لایه روکش سخت را نشان می دهد. شکل ۳-ب فاز Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی موجود در ساختار را نشان می دهد. همچنین شکل ۳-ج یوتکتیک

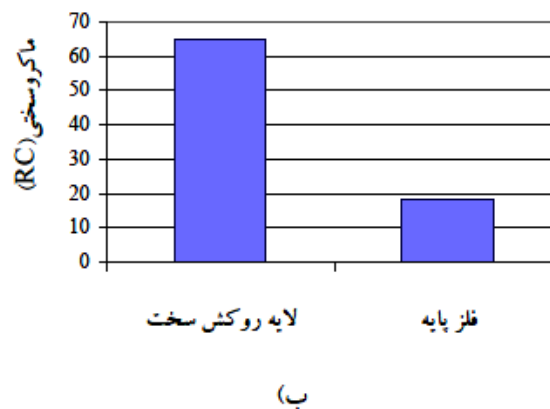
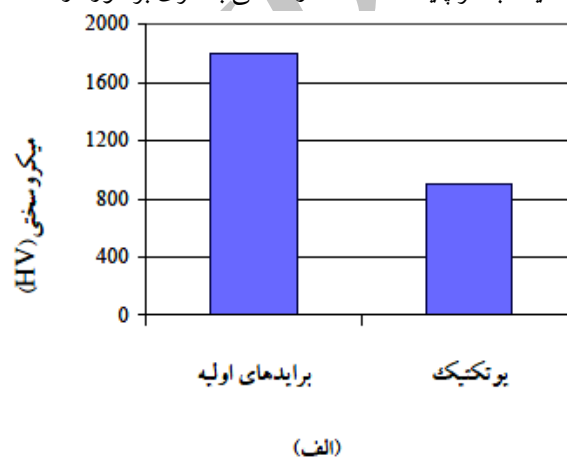
روکش سخت پایه بورایدی نسبت به فلز پایه بسیار بالاتر است، به نحوی که کاهش وزن نمونه فلز پایه در مسافت ۴۳۰۹ متر ۳/۸ گرم ولی نمونه روکش سخت شده پایه بورایدی ۰/۱۸ گرم می‌باشد. بررسی کاهش وزن نمونه‌ها در شکل ۶-ب در آزمون سایش خراشان مرطوب نیز مشخص می‌کند که لایه روکش سخت پایه بورایدی از مقاومت به سایش مرطوب بسیار بالاتری نسبت به فلز پایه برخوردار است. علت بالاتر بودن مقاومت به سایش خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه بورایدی نسبت به فلز پایه ناشی از سختی بالای لایه روکش می‌باشد.



شکل (۶): نتایج آزمون سایش خراشان (الف) شرایط خشک، (ب) شرایط مرطوب

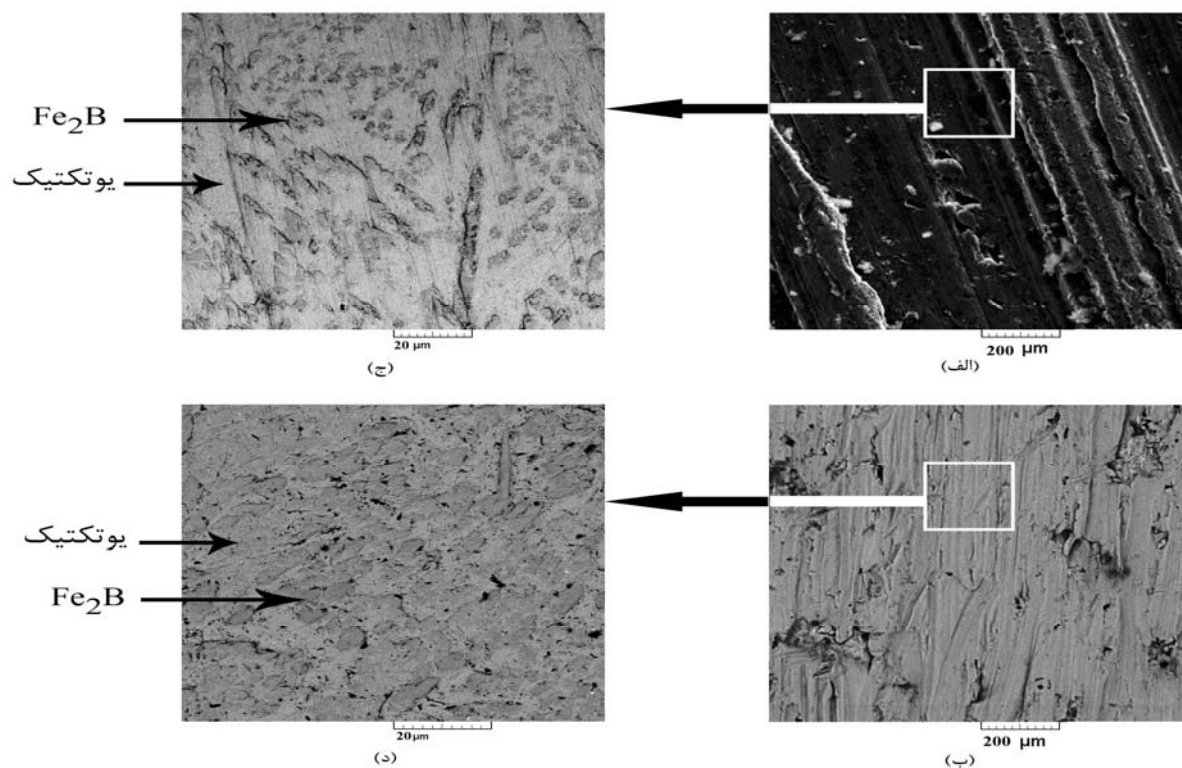
ب- سختی و مقاومت به سایش

شکل ۵ الف و ب نتایج آزمون سختی میکرو و ماکروسکوپی لایه روکش سخت را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۵-الف مشخص است فازهای Fe_2B اولیه دارای سختی بالا (۱۸۰۰ ویکرز) می‌باشند، سختی یوتکتیک ها (مارتنزیت + آستنیت + Fe_2B) که زمینه را تشکیل می‌دهند نیز ۹۰۰ ویکرز می‌باشد. از طرفی همانگونه که در شکل ۵-ب مشخص است سختی (ماکروسکوپی) لایه روکش سخت به مراتب بالاتر از فلز پایه است، به نحوی که سختی لایه روکش سخت RC ۶۴ بوده که در مقایسه با فلز پایه (RC ۱۸) از سختی بالاتری برخوردار است.



شکل (۵): نتایج سختی سنجی: (الف) میکرو، (ب) ماکرو

شکل ۶ نتایج آزمون سایش خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه بورایدی را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل های ۶ الف و ب مشاهده می‌گردد با افزایش مسافت طی شده، میزان وزن کسر شده نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همانگونه که از شکل ۶-الف مشخص است مقاومت به سایش خشک لایه



شکل (۷): تصویر SEM (BSE) از سطوح سایش یافته لایه روکش سخت:
 الف) شرایط سایش خشک آزمون سایش ASTM G65،
 ب) شرایط سایش مرطوب آزمون سایش ASTM G105،
 ج) تصویر الف با بزرگنمایی بالاتر و
 د) تصویر ب با بزرگنمایی بالاتر

علاوه بر این مقایسه شکل های ۶- الف و ب با یکدیگر مشخص می نماید که مقاومت به سایش خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه بورایدی در یک مسافت مشخص با یکدیگر متفاوت است و میزان کاهش وزن در حالت مرطوب کمتر از حالت خشک است که نشان می دهد مقاومت به سایش مرطوب لایه روکش سخت پایه بورایدی بالاتر از مقاومت به سایش خشک آن می باشد.

شکل ۷ تصویر SEM سطوح سائیده شده لایه روکش سخت پایه بورایدی را در حالت خشک و مرطوب نشان می دهد. بررسی شکل ۷- الف و ب مشخص می نماید که مکانیزم سایش لایه روکش سخت پایه بورایدی در شرایط خشک (آزمون

ASTM G65 (شکل ۷- الف)) شخم زنی همراه با کندگی جزئی می باشد ولی در شرایط مرطوب (آزمون ASTM G105 (شکل ۷- ب)) شخم زنی جزئی همراه با کندگی می باشد.

شکل ۷- ج و د تصاویر SEM سطوح سایش لایه روکش سخت را در شرایط خشک و مرطوب در بزرگنمایی بالاتر نشان می دهد. شکل ۷- ج سطح سایش را در شرایط خشک نشان می دهد. همانگونه که مشخص است خطوط سایش به همراه کندگی هایی جزئی در سطح مشاهده می شود، که کندگی ها در فاز یوتکتیک رخ داده است، و علت آن سختی کمتر فاز یوتکتیک نسبت به فاز Fe_2B (شکل ۵- الف) می باشد. شکل ۷- د سطح سایش را در شرایط مرطوب نشان می دهد. در این تصویر

www.SID.ir

۶- مراجع

- [1] Metal's Handbook, Vol. 8, 9th Edition, 1998, ASM.
- [۲] ح. ثابت، ش. میردامادی، ش. خیراندیش، م. گودرزی، "مروری بر فرآیندهای سخت کاری سطحی از طریق جوشکاری"، جوشکاری، پائیز ۱۳۸۷، شماره ۵۱، ص ۷۱-۷۷.
- [3] T. Hejwowski, "Erosive and Abrasive Wear Resistance of Overlay Coating" Vacuum, Vol.30, pp. 1-5, 2008.
- [4] D. K. Dwivedi "Microstructure and Abrasive Wear Behavior of Iron Base Hardfacing" Materials Science and Technology, Vol.10, pp. 10-20, 2004.
- [۵] م. محمدی خواه، ح. ثابت، ع. شکوه فر، س. محرابیان، ا. هادی زاده "بررسی و مقایسه ریزساختار، سختی و مقاومت به سایش لایه های سخت کامپوزیتی ایجاد شده به روش جوشکاری FCAW حاوی ذرات TiC و TiCN بر روی فولاد ساده کربنی" فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، بهار ۱۳۸۹، شماره اول، ص ۲۱-۳۱.
- [6] C. Fan, M. Chen, C. M. Chang, W.Wu, "Microstructure Change Caused by (Cr,Fe)23C6 Carbides in High Chromium Fe-Cr-C Hardfacing Alloys" Surface and Coating Technology, Vol. 21, pp.908-912, 2006.
- [7] M.F.Buchely, J.C.Gutierrez, L.M.Leon, A.Toro, "The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys" Wear, Vol. 259, pp. 52-61, 2005.
- [8] 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.
- [9] W. Zmudziriski and M.Ezekiel, "Coating and Overlays for Critical Valve Applications" Materials Forum, Vol. 30, pp. 333-338, 2006.
- [10] K. Yildizi, M. Eroglu, M. Baki Karamis "Microstructure and Erosive behavior of Weld Deposits of High Manganese Electrode" Surface and Coating Technology, Vol. 201, pp. 7166-7173, 2007.
- [11] A. S. C. M. D'Oliviera, I. J. Tigrinho, R.R.Takeyama "Coating Enrichment by Carbide Dissolution" Surface and Coating technology, Vol. 202, pp. 4660-4665, 2008.
- [۱۲] ح. ثابت، س.ر. امیرآبادی زاده، م. صادقی، ن. میرزامحمد، "بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش لایه رویه سخت پایه Fe-C-Nb بر روی فولاد ساده کربنی"، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، پائیز ۱۳۸۸، شماره سوم، ص ۴۳-۵۰.
- [13] X.H.Wang, M.Zhang, Z.D.Zou, S.L.Song, F.Han, S.Y.Qu "In Situ production of Fe-TiC Surface Composite Coating by Tungsten-Inert Gas Heat Source" Surface & Coating Technology, Vol. 200, pp. 6117-6122, 2006.
- [14] W. Xibao "The Metallurgical behavior of B4C in the Iron-

خطوط سایش کم عمق به همراه کندگی هایی از فاز زمینه در سطح نمونه مشاهده می شود، که مشخص می نماید در شرایط سایش مرطوب، فازهای Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی به علت سختی بالاتر مقاومت خوبی در شرایط سایش از خود نشان داده اند، لذا ذرات ساینده باعث ایجاد خراش در فاز زمینه شده اند که به علت حضور رطوبت (غنی از اکسیژن) شرایط برای اکسید شدن و کنده شدن فاز زمینه تحت تنش های ناشی از سایش [۱۸] میسر بوده است.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر ریزساختار و مقاومت به سایش خراشان خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه Fe-C-B بر روی فولاد ساده کربنی ایجاد شده توسط فرآیند جوشکاری FCAW بررسی شد و نتایج زیر حاصل گردید:

- ۱- ریزساختار لایه روکش سخت ایجاد شده با سیم توپودری پایه بور متشکل از فاز Fe_2B اولیه پرویوتکتیکی به همراه رسوبات FeB و یوتکتیک (مارتنزیت + آستنیت + Fe_2B) می باشد
- ۲- حضور فازهای FeB ، Fe_2B و یوتکتیک (مارتنزیت + آستنیت + Fe_2B) باعث افزایش چشمگیر سختی لایه روکش سخت ایجاد شده بر روی فولاد ساده کربنی می شود.
- ۳- مقاومت به سایش خشک و مرطوب لایه روکش سخت پایه بورایدی به مراتب بالاتر از فلز پایه می باشد.
- ۴- مقاومت به سایش مرطوب لایه روکش سخت پایه بورایدی بالاتر از مقاومت به سایش خشک آن می باشد.
- ۵- مکانیزم سایش خشک لایه روکش سخت پایه بورایدی شخم زنی همراه با کندگی جزئی و مکانیزم سایش مرطوب آن شخم زنی جریبی همراه با کندگی (اکسیدها) تشخیص داده شد.

۵- تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت های مالی و اجرایی شرکت کاوش جوش انجام شده است. بدین وسیله از مدیریت و کارشناسان واحد تحقیقات و کنترل کیفیت شرکت کاوش جوش قدردانی می گردد.

- based Surfacing Alloy During PTA Powder Surfacing" Applied Surface Science, Vol. 252, pp. 222-225, 2005.
- [15] G.Deniz, S. Sen, U. Sen "Properties of the Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Boron by TIG Welding Technique" International Conference of the International Institute of Welding, pp.207-211, 2010.
- [16] M.H. Amushahi, F. Ashrafizadeh, M. Shamanian "Characterization of Boride-rich Hardfacing on Carbon Steel by Arc Spray and GMAW Processes" Surface and Coating Technology", Vol. 204, pp. 2723-2728, 2010.
- [17] M.Eroglu "Boride Coating on Steel Using Shielded Metal Arc Welding Electrode: Microstructure and hardness" Surfacing and Coating Technology, Vol. 203, pp. 2229-2235, 2009.
- [18] D.A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion" Upper Saddle River Publisher, 1998.

۷- پی نوشت

1- Erosion

² -Inductivity Coupled Plasma- Mass Spectrometry

Archive of SID