فرآیندهای نوین در مهندسی مواد سال ۱۱، شماره ۲، تابستان ۹۶

بررسی سختی و خواص سایشی در پوشش سخت پودری ایجاد شده در سیستم Fe-Cr-C-Mo به روش جوش کاری GTAW بر روی فولاد ساده کربنی

محمدمهدی غفاری'، حسین پایدار*۲، محمدرضا خانزاده قرهشیران^۳

۱ کارشناس ارشد، گروه مهندسی مواد، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران
 ۲ استادیار، گروه مکانیک، واحد تیران، دانشگاه آزاد اسلامی، تیران، اصفهان، ایران
 ۳ استادیار، مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، مجلسی، اصفهان، ایران
 ۳ استادیار، مرکز مرکز تحقیقات مهندسی پیشرفته، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، تیران، اصفهان، ایران

چکیدہ

در این تحقیق مخلوطی از پودرهای فروکروم (مقدار متغیر) و فرومولیبدن و گرافیت (به مقدار ثابت) از طریق جوشکاری قوس تنگستن گاز GTAW بر روی زمینه فولاد ساده کربنی st37 روکش کاری شدند. بررسی خواص لایه ایجاد شده بر روی زیرلایه مربوطه با استفاده از میکروسکوپهای نوری و الکترونی رویشی (SEM)، میکروآنالیزور عنصری (EDS) و ریزسختی سنجی صورت گرفت. آنالیز پرتو ایکس (XRD) مشخص نمود که ریزساختار نمونههای مورد آزمایش متشکل از آستنیت و کاربیدهای Cr, Fe)7C3) هستند. علاوه بر این مشخص شد که با افزایش کربن و کروم، بخشی از کربن صرف تشکیل کاربید کروم M7C3 شده، کروم موجب افزایش سختی می شود. نتایج آزمون سایش بالاترین مقاومت به سایش را مربوط به نمونه۲ حاوی کربی داره با ساف داده است. مطالعه نمونهها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی در ارتباط با سطوح سائیده شده، مشخص نمود که ساز و کار سایش برای نمونه حاوی کروم کمتر، همراه با مکانیزم کندگی، چسبان و شخم زدن است.

واژههای کلیدی:

ريزسختىسنجى، يوتكتيك، سخت كارى سطحى.

۱ – مقدمه

پدیده سایش یکی از معضلاتی است که صنعت از دیرباز با آن مواجه بوده است[۱–۲]. بنابراین از روکش کاری به جهت جلوگیری از سایش و بهینه کردن عمر کاری قطعات مهندسی استفاده می شود[۳]. یکی از روش های متداول بهبود

رفتار سطحی، افزودن عناصر آلیاژی نظیر کروم، تنگستن، بور و کربن به مذاب ایجاد شده در سطح و تشکیل فازهای سخت مانند WC و B₄C با ضخامت مناسب بر روی سطح است[۴]. نوع کاربیدهای (M₂₃C₆,M₇C₃,M₃C) موجود در آلیاژهای Fe-Cr-C بستگی به میزان نسب Cr/C آلیاژ دارد، این نسبت تعیین کننده کاربرد آلیاژ در شرایط متفاوت سایش میباشد[۱۸]. مقاومت به سایش خراشان عالی در این آلیاژها وقتی حاصل می گردد که نسبت Cr/C در محدوده ۵ تا ۸ قرار گیرد که این نسبت به کاربیدهای Cr,Fe)7C3) با آستنیت (غنی از آهن و کروم) در ساختار حاصل می-گر دد[۱۰].

در تحقیق حاضر، تاثیر عناصر کروم و مولیبدن با درصد وزنی کروم متغیر و مولیبدن و کربن ثابت، بر ریزساختار و سختی روکش ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از مقالات پیشین، نسبت کروم به کربن همیشه ثابت بوده، اما در این پژوهش نسبت کروم به کربن متغیر می باشد و برابر ۷ و ۷/۶ اتخاذ شده است.

هدف از انجام این پروژه بررسی تاثیرات نسبت Cr/C در پوشش پودری سختکاری سطحی بر روی سطح فولاد با درنظرگیری مقدار مولیبدن ثابت در پودر سطحی و بررسی تاثیرات این تغییرات بر خواص سایشی، مکانیکی و متالورژیکی پوشش صورت گرفته است. بدین منظور جهت آلیاژسازی سطحی به روش جوشکاری، از فرایند GTAW' دستی بر روی فولاد 2-513 استفاده شده است.

۲- مواد و روش تحقیق

فولاد ساده کربنی 2-st37 با ابعاد ۱۰mm×۱۲۰×۲۰۰ به عنوان فلز پایه استفاده شده است. سطح نمونه ها بعد از سنگ زنی به وسیله استون چربی زدایی گردید. مخلوط پودر فروکروم کم کربن و فرومولیبدن و گرافیت با تلورانس ۱/۰ گرم توزین و با نسبت های وزنی خاص پوشش داده شدند. در جدول ۱ ترکیب شیمیایی فلز پایه و در جدول۲ مشخصات مخلوط پودرها برحسب گرم و نسبت وزنی Cr/C برای نمونه های ۱ و ۲ مشخص شده است.

عملیات جوش کاری به علت صرفه اقتصادی و ایجاد لایه های نسبتاً ضخیم و مقاوم نسبت به عملیات حرارتی، آب-کاری و پوشش دادن در شرایط سایش خراشان و ضربه ارجحیت دارند[۵-۴]. ایجاد پوشش در سطح، کاربردهای گستردهای در صنعت اتومبیلسازی، پتروشیمی، هوافضا و کشاورزی دارد[۷]. لایههای روکش سخت مقاوم به سایش پایه آهنی بر اساس سیستم آلیاژی و همچنین بر مبنای نوع عنصر آلیاژی مشخص میشود[۸]. بهترین سیستم آلیاژی از نوع Fe-Cr-C شناخته شده است[۹]. تحقیقات راجع به ریزساختار آلیاژهای Fe-Cr-C نشان میدهد که این نوع آلیاژها ساختارهای یوتکتیک و هیپویوتکتیک و هايپريوتکتيک دارند[١٠-١١]، در اين گونه موارد کاربیدهای M7C3 اولیه به مقدار زیاد با غلظتهای بالای کربن تشکیل میشوند. این ریزساختار دارای خواص مقاوم به سایشی خوبی هستند[۱۲–۱۳]. عمده تحقیقات انجام شده برروی Fe-Cr-C مطالعه ریزساختار و ارتباط آن با سختی بوده است[۱۴–۱۵]. به عنوان مثال ثابت و همکاران، در تحقیق خود به بررسی اثر ترکیب شیمیایی بر ریزساختار و مقاومت به سایش آلیاژ روکش سخت Fe-Cr-C بر روی فولاد ساده کربنی ایجاد شده با فرآیند جوش کاری GTAW پرداختند. آنها در این تحقیق با نسبت متغییر Cr/C نشان دادند که اندازه کاربیدهای اولیه و درصد اتم کروم درکاربیدهای اولیه و سختی کاربیدهای اولیه در هر ناحیه از منطقه اصلی به سمت روکش افزایش یافته و در مقابل، تراکم آنها در واحد سطح کاهش یافته است [۱۶].

ثابت و همکاران در تحقیق خود به بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش لایه رویه سخت پایه Fe-C-Nb برروی فولاد ساده کربنی به روش جوشکاری GTAW پرداختند. آنها دریافتند که با افزایش میزان نیوبیوم سختی سطح افزایش یافته و مقدار فاز مارتنزیت کاهش مییابد و به مقدار آستنیت افزوده شده است و مقاومت به سایش لایه سخت با افزایش نیوبیوم زیاد شده است [10].

| جدول (۱): تر کیب شیمیایی فلز پایه (درصد وزنی) | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|--------|-------|----|----|-------|-------|--|--|
| توضيحات | C | Si | Mn | Р | Мо | Cr | Fe | مادہ | | |
| | •/•49 | •/131 | • /VYV | •/•17 | | | 99/.4 | St37- | | |

| | | ر کیب شیمیایی |
|---|--------|---------------|
| ۴ | St37-2 | |
| | | |

جدول (۲): مشخصات مخلوط پودرها برحسب گرم و نسبت وزنی Cr/C برای نمونههای ۱ و ۲

| ۲ | ١ | نمونه پودر |
|-----|-----|------------------------|
| 114 | 1.0 | فروکروم کم کربن (گرم) |
| ۱۵ | ۱۵ | گرافیت (گرم) |
| ۷۵ | ۷۵ | فروموليبدن (گرم) |
| ٧/۶ | v | نسبت فروکروم به گرافیت |

سانتی گراد به مدت یک ساعت خشک گردیدند. نمونههای خشک شده تحت عملیات جوش کاری به روش تک پاس (رفت و برگشت) از طریق جوش کاری قوس تنگستن گاز GTAW)TIG) با میزان رقت ثابت به صورت رویه قرار گرفتند. جدول ۳ شرایط جوش کاری نمونه ها را نشان میدهد. پودرها به کمک آسیاب گلولهای به مدت ۱۰ دقیقه تحت عملیات همگن سازی قرار گرفتند. سپس با ۲۰ ٪ وزنی چسب سيليكات سديم مخلوط شده و به صورت خميربه ضخامت يك میلیمتر بر روی سطح ورق،هایی با ضخامت ۱۰ میلیمتر پوشش داده شدند و در کوره عملیات حرارتی در دمای ۱۲۰ درجه

| فرآيند جوش |
|-------------------------|
| |
| فطبيت |
| شدت جريان (A) |
| ولتاژ (V) |
| سرعت جوش کاري (cm/min) |
| زاويه جوش (Deg) |
| گاز محافظ |
| دبی گاز (لیتر بر دقیقه) |
| تعداد رديف جوش كاري |
| درصد هم پوشانی |
| تعداد پاس |
| |

جدول (۳): شرايط عملياتي جو ش کاري

حداقل برسد. به منظور انجام آزمایش متالوگرافی، کلیه نمونهها بعد از آمادهسازی با سمباده به صورت دستی با محلول نیتال ۲ درصد اچ شدند. با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و

پس از آلیاژسازی سطحی، آنالیز شیمیایی لایه ها به وسیله نشر نور (OES) انجام شد. جهت اطمینان در ارتباط با مقدار کروم و مولیبدن هر نمونه، روش XRF به کار برده شد تا درصد خطا به

میکروسکوپ الکترونی Philips X'pert MPD نقشه توزیع عناصر و آنالیز خطی انجام گردید. بر روی نمونه های صیقل یافته آزمایش (XRD) تحت زاویه دو تتا (20) ۱۰ تا ۱۱۰ درجه صورت گرفت. میزان سختی هر نمونه به دو روش ماکروسختی با دستگاه سختی سنج Iestor با نیروی ۳۰ کیلو گرم طبق استاندارد با دستگاه سختی سنج ASTM E92-82 با دستگاه سختی سنج RSTM E384-05A با نیروی ۵۰ گرم طبق استاندارد ASTM E384-05A تعیین گردید. از آنجایی که آلیاژ روکش سخت پایه Fe-Cr-C-Mo برای کاربردهای سایش خراشان تحت نیروی بالا مورد استفاده قرار

می گیرد، لذا آزمایش سایش مطابق با استاندارد ASTM G99 با استفاده از پین فولادی بلبرینگ ۵۲۱۰۰AISI با نیروی ۴۰ نیوتن در فاصله ۱۰۰۰ متر و قطع آن در ۱۰۰ متر و منحنی سایش بر حسب مقدار کاهش وزن – مسافت، رسم گردید.

۳- نتایج و بحث
در شکل ۱ تصاویر میکروسکوپ نوری نمونه های شماره ۱ و ۲
در ارتباط با ریزساختار از مقطع عرضی نمونه روکش کاری شده
نشان داده شد.



شکل (۱): (الف): تصویر میکروسکوپی نوری برای نمونه شماره ۱ بالاتر، (ب): تصویر میکروسکوپی نوری برای نمونه ۲، (ج): تصویر میکروسکوپ نوری برای نمونه ۱با بزرگنمایی بالاتر و (د): تصویر میکروسکوپ نوری برای نمونه ۲ با

ایجاد شده در طی گرم شدن به فریت ویدمن اشتاتن تبدیل می شود. در شکل ۱ تصویر ج از نمونه شماره ۱ و تصویر د از نمونه شماره ۲، ساختار متالو گرافی نوری نشان داده شد. در این شکل می توان مورفولوژی های ستونی و دندریتی را در دو نمونه مذکور مشاهده نمود. با بررسی آنالیز کوانتومتری نمونهها (جدول ۴)، در نمونه شماره ۲ با افزایش میزان فرو کروم بر مقدار کروم افزوده می شود، در صورتی که در مقدار مولیبدن و کربن تغییر چندانی حاصل نشده است. واضح است که لایه روکش کاری شده کاملاً چسبان بوده و شامل دو ناحیه مورفولوژی ستونی همراه با ساختار دندریتی است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، فصل مشترک لایه رسوب داده شده با فلز پایه، متشکل از ساختار تیغهای است ولی در مناطق دورتر از این فصل مشترک ساختار هم محور می باشد. دلیل این تغییر ساختار در مجاورت فصل مشترک، حرارت ناشی از فرآیند جوش-کاری است که باعث آستنیته شدن ساختار در منطقه مجاور جوش شده و به علت سرعت سرد شدن بالا ساختار آستنیتی

جدول (۴): آنالیز کوانتومتری ترکیب شیمیایی لایه رسوبی (بر حسب درصد وزنی) نمونههای شماره ۱ و ۲

| Ni% | Cu | Mo% | Si% | Mn% | Cr% | C% | Fe% | نام عنصر |
|-------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|---------------|
| 0.006 | (ppm) | 0.443 | 1 1 97 | 0.537 | 11 082 | 2 164 | 74.27 | |
| 0.090 | 0.142 | 7.445 | 1.107 | 0.557 | 11.962 | 2.104 | 74.27 | ىمونە شمارە ١ |
| 0.005 | 30 422 | 8 081 | 0.244 | 0 777 | 13 / 50 | 2 265 | 71 605 | ¥ 1 5 . · · |
| 0.995 | 30.422 | 0.901 | 0.244 | 0.777 | 15.459 | 2.205 | /1.095 | ىمونە شمارە ٢ |

Cr-C-Mo با توجه به شکل ۳ مشخص مینماید که در زیر دمای یوتکتیک آستنیت به همراه استحاله یوتکتیک γ + M₇C₃ رخ میدهد که منجر به تشکیل کاربیدهای ریز کروم در ناحیه بین دندریتها و کاربیدهای اولیه میشود. مسیر انجماد این نوع آلیاژها در شکل ۳ ارائه شده است که نشان دهنده فازهای نهایی تشکیل شده در روکش میباشد. در شکل ۲، نمودار گوشهای آهن با ساختار سهتایی آهن-کروم-کربن نشان داده شده است. در این نمودار محل قرارگیری فازهای اولیه نمونههای مورد مطالعه، مطابق با مقدار درصد کربن و کروم در آنالیز کوانتومتری جوش (جدول ۴)، با شمارههای ۱ و ۲ نشان داده است. با توجه به این نمودار، جوانهزنی و رشد فاز آستنیت در محدوده دمای ایزوترمال بین ۱۳۵۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد صورت می گیرد. بررسی مکانیزم انجماد آلیاژ -Fe





شکل (۳): نمودار انجماد یو تکتیک آلیاژهای سخت کاری Fe-Cr-C در نمونههای ۱ و ۲ [۱۹]



شکل (۵): تصویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) نمونه ۲ از محل آنالیز EDS

شکل ۵ از نمونه ۲، نشاندهنده کاربید کروم از نوع M₇C₃ می-باشد که حاصل تبدیل نسبتهای جرمی کروم و کربن است (نقطه A)که نوع کاربید کمپلکس آن M₇C₃ میباشد. متعاقباً نقاط B و D که نقاط روشن تری در این تصویر هستند، مطابق با آنالیز های شکل ۷، مناطق غنی از مولیبدن را نشان میدهند. در این نقاط کربن نیز وجود دارد. مقداری کربن در نقطه C مشاهده شد که با کمی بررسی محاسباتی می توان متوجه شد که شکل ۴ در نمونه ۱، تصاویر کاربیدهای تیغهای شکل و شش-گوش (نقاط A و B) و تبدیل نسبتهای جرمی کروم و کربن را نشان میدهد که کاربید کمپلکس به دست آمده از نوع کاربیدهای M7C3 میباشد.

علاوه براین آنالیز نقاط روشن، حضور مولیبدن را نشان می-دهند. منطقه دندریتی (نقطه D) غنی از آهن و بین دندریتها (نقطه E) متشکل از مولیبدن است. همان گونه که اشاره شد، دندریتها شامل فاز آستنیت هستند که در اثر پدیده کورینگ، مولیبدن از دندریت پسزده می شود و مقدار آن بین شاخهها افزایش می یابد.



شکل (۴): تصویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) نمونه ۱ از محل آنالیز EDS



شکل (۶): آنالیز EDS: (الف): نقطه های (A, B, C, D, E)، مربوط به شکل ۴ از نمونه شماره ۱، (ب): نقطه های (A, B, C, D)، مربوط به شکل ۵ و از نمونه شماره ۲

موضوع را می توان در جدول ۵ در ارتباط با نقطه A از نمونه ۲ به وضوح مشاهده نمود. با توجه به جدول ۵ می توان به این مسله پی برد که در نمونه ۲ علاوه برافزایش میزان درصد عنصر کروم، مقدار درصد مولیبدن به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. در شکل ۶ آنالیز EDS مربوط به نمونه ۱ نقطه های (A, B, C, D, E) و نمونه ۲ نقطه های (A, B, C, D, C) مشاهده می شوند. با توجه به این شکل به عنوان مثال در نمونه ۱ در نقطه D و نمونه ۲ در نقطه A، می توان دریافت که مقدار درصد عنصر کروم در نمونه ۲ به نسبت از نمونه ۱ بیشتر می باشد. همچنین، این

| نقطه E | | نقطه D | | نقطه C | | نقطه B | | نقطه A | | نمونه |
|--------|---------|--------|---------|---------------|---------|--------|---------|--------|---------|-------|
| درصد | عنصر | درصد | عنصر | درصد | عنصر | درصد | عنصر | درصد | عنصر | شماره |
| وزنى | | وزنى | | وزنى | | وزنى | | وزنى | | ١ |
| 1/44 | سيليكون | ۲/۱۱ | سيليكون | ۵/۴۲ | سيليكون | ۷۹/۳ | كربن | ۳/۹۵ | كربن | |
| 11/41 | كروم | A/VV | كروم | 11/41 | كروم | ۵۰/۲۹ | كروم | 40/40 | كروم | |
| 54/15 | آهن | ۸۴/۵۲ | آهن | 346/28 | آهن | 34/19 | آهن | 40/44 | آهن | |
| ۲۷/۹۰ | موليبدن | ۵/۶۰ | موليبدن | ۴ ۸/۸۹ | موليبدن | 11/88 | موليبدن | 10/31 | موليبدن | |
| | | D | نقطه | C · | نقطه | В | نقطه | له A | نقص | نمونه |
| | | درصد | عنصر | درصد | عنصر | درصد | عنصر | درصد | عنصر | شماره |
| | | وزنى | | وزنى | | وزنى | | وزنى | | ۲ |
| | | ۵/۸۵ | كربن | ٣/٣٧ | سيليكون | ۶/۱۰ | سيليكون | ۴/۲۳ | كربن | |
| | | 14/9 | كروم | ۱۰/۰۰ | كروم | 17/69 | كروم | 21/21 | كروم | |
| | | 41/VF | آهن | 61/60 | آهن | ۳۸/۰۶ | آهن | ۳۲/۱۰ | آهن | |
| | | rr/v8 | مراريان | 18/91 | مراريان | FT/T9 | مراريان | 11/10 | ille | |

| ۲ | و شماره | ۱ | شماره | نمونههاي | EDS | آناليز | جدول(۵): |
|---|---------|---|-------|----------|-----|--------|----------|
|---|---------|---|-------|----------|-----|--------|----------|



شکل (۷): آنالیز پراش پرتو ایکس از نمونههای شماره ۱ و ۲

آنالیز پراش پرتو ایکس در شکل ۷ از نمونههای سخت کاری شده Fe-Cr-C-Mo در حالت دو پاس و همپوشانی ۲۰٪ نشان داده شده است. آنالیز پراش پرتو ایکس در این شکل نشانگر وجود کاربیدهای کروم و مولیدن در ساختار زمینه آستنیت و فریت میباشد. این آنالیز نشان میدهد که نمونه شماره ۲ دارای فریت میباشد. این آنالیز نشان میدهد که نمونه شماره ۲ دارای در شکل ۷ میتوان دریافت که افزایش درصد عنصر کروم در نمونه شماره ۲ باعث افزایش بیشتر پیکهای کاربیدهای کمپلکس ۲۵-M مده است که علت آن مشارکت بیشتر عنصر کاربیدزای کروم در تشکیل کاربید میباشد. همچنین افزایش عنصر کروم به عنوان عنصر محدودکننده تشکیل آستنیت شده سیستم Fe-Cr-C-Mo باعث کاهش شدت پیک آستنیت شده

است.

بر اساس مشاهدات تصاویر SEM (شکل ۸)، در نمونه ها ترک مشاهده شد. الکترودهای سخت کاری سطحی حاوی عناصر آلیاژی بالایی هستند. بلافاصله پس از جوش کاری رسوب سخت آنها شروع به انقباض مینماید و انتقال حرارت سریعی در منطفه سخت کاری شده صورت می گیرد. از آنجایی که انعطاف پذیری پوشش های سخت کاری کم است، رسوب جوش حاصله ترک پوشش های سخت کاری کم است، رسوب جوش حاصله ترک می خورد که مناسب برای آزاد سازی تنش های پسماند جوش است و اثری بر مقاومت به سایش رسوب ندارد. با توجه به تصاویر میکروسکوپی نوری (شکل ۱ الف و ب) و همچنین به شکل ۸ ترک موجود در نمونه شماره ۱ (تصویر الف) و نمونه شماره ۲ (تصویر ب) به وضوح دیده می شود.



شکل (۸): تصاویر ترک موجود در تصویر: (الف): نمونه شماره ۱و (ب): نمونه شماره ۲

| | | - |
|--------------|-----------------------|-------------|
| انحراف معيار | عدد سختي درون كاربيدي | شماره نمونه |
| 24,241 | 148. | ١ |
| | 1470 | |
| ۵۰ | 149. | ۲ |
| | ۱۵۰۰ | |

جدول (۶): نتایج آزمون ریزسختی از زمینه و کاربیدهای فلز جوش Fe-Cr-C-Mo بر حسب HV

است. به همین دلیل از میزان درشت شدن این فازها کاسته شده است که میزان این کاهش، در جدول۶ نشان داده شده است. با افزایش کروم، به مقدار درصد این عنصر در داخل کاربیدهای کمپلکس افزوده شده و میزان مولیبدن آنها نسبتا کاهش یافته میزان کمتر کروم در آلیاژ روکش میباشد.

سختی بیشتری نسبت به نمونه ۱ برخوردار است. دلیل این امر را

می توان به وجود درصد کمتر کاربیدهای کروم در نمونه ۱

نسبت به نمونه ۲ دانست که علت آن به طور طبیعی ناشی از

بیشترین ریزسختی نمونه شماره (۲) ۱۵۰۰ ویکرز میباشد. این سختی بیانگر این مطلب میباشد که درصد عناصر آلیاژی مانند کروم در نمونه شماره ۲ بیشتر است که با توجه به آنالیز نمونه در جدول ۵ این مقدار سختی معقول به نظر میرسد. همان طور که ملاحظه می شود در جدول ۷ سطح نمونه ۲ از

جدول(۷): نتایج آزمون ماکروسختی از سطح روکش آلیاژی Fe-Cr-C-Mo بر حسب HV

| انحراف معيار | نمونه ۲ | نمونه ۱ | |
|--------------|---------|---------|---------------------|
| 144,909 | 1111 | 999 | سختي سطح مقطع نمونه |

۴- بررسی خواص سایشی ساختار هیپویوتکتیک آلیاژ Fe-Cr-Mo-C به علت دارا بودن مقادیر زیادی از کاربیدهای کروم و مولیبدن، دارای سختی بسیار بالایی میباشد. به وضوح میتوان مشاهده نمود که خراشهای ناشی از سایش روی سطح نمونه شماره ۱ (شکل ۹ الف و ج و ه) عمیق تر از نمونه شماره ۲ (شکل ۹ ب و د و ی) هستند. علاوه بر این ریزترکها و حفرههای ناشی از اعمال نیروی سایش بر روی قطعه دیده می شود (شکل ۹ ج از نمونه ۱ و د از نمونه ۲). حفرههای مشاهده شده، یکنواخت نیستند. این بدین معناست که این حفرات می توانند اثر کاربیدهای درشتی باشند که در اثر نیروی فشاری سایش، تراشیده و از جای خود کنده شدهاند. ولی در نمونه شماره ۲ به دلیل سختی بالاتر، شدت اثر خراش و همچنین تغییر فرم پلاستیکی در شکافهای موجود کمتر است. همچنین در شکل ۹ ه از نمونه شماره ۱ و شکل ۹ ی از نمونه شماره ۲ وجود مکانیزم سایش چسبان را می توان مشاهده نمود. اندازه ذرات کاربید M₇C₃ حدود ۱ الی ۲ میکرون میباشد که هم اندازه حفرات است. همچنین به مرور زمان، اثر مهار کردن ٔ

ذرات کاربید یوتکیتک بر روی ذرات کاربید اولیه ۳۸٫۲۵ به تدریج کاهش مییابد. فاز کاربید اولیه شکسته شده و پس از جدایش، باعث افزایش نرخ سایش میشود. با توجه به شکل ۱۰ نمودارهای ضریب اصطکاک و شکل ۱۱ نرخ سایش میتوان چنین استنباط کرد که کاهش نرخ سایش نمونههای ۱ و ۲ در مسافتهای ۵۰۰ متر و ۸۰۰ متر، ناشی از عدم تشکیل ترک در سطح و تجمع نابجاییها در لایه زیرین سطح میباشد. به بیان میشود و نرخ سایش نمونهها را افزایش میددد[۲۰]. بنا براین با مقایسه ضریب اصطکاک این دو نمونه میتوان چنین برداشت مقایسه ضریب اصطکاک این دو نمونه میتوان چنین برداشت میزان عناصر آلیاژی حاصل می گردد. علت کاهش نرخ سایش در نمونههای هیپویوتکتیکی مربوط به افزایش سختی در حین سایش است که این افزایش سختی به علت تبدیل فاز آستنیت به مارتنزیت در اثر کار مکانیکی به وجود می آید.

بررسی سختی و خواص سایشی در پوشش سخت پودری ایجاد شده در سیستم Fe-Cr-C-Mo به...



شکل (۹): تصاویر BSE و SE از نمونه های شماره ۱ (الف، ج و ه) و شماره ۲ (ب، د و ی)





۵- نتیجه گیری

۲- افزودن کروم بیشتر سبب افزایش سختی سطح به مقدار ۱۱۷۱ ویکرز
ویکرز در نمونه شماره ۲ با محتوای Cr=۱۳,۴۵۹ ویکرز
در نمونه شماره ۱ حاوی Cr=۱۱,۹۸۲ سته است.
۳- لایه روکش کاری شده، چسبان بوده و شامل دو ناحیه
مورفولوژی ستونی همراه با ساختار دندریتی است. همچنین فصل

۱– ریزساختار نمونههای مورد آزمایش متشکل از آستنیت و کاربیدهای Cr,Fe)٫۲C₃) هستند. این موضوع دلالت بر این دارد که با افزایش کربن و کروم، بخشی از کربن در تشکیل کاربید کرم M٫۲C₃ نقش داشته است.

- [7] A. Röttger, S. Weber & W. Theisen, "Supersolidus liquid-phase sintering of ultrahigh-boron highcarbon steels for wear-protection applications" Materials Science and Engineering, Vol. 532A, pp. 511-521, 2012.
- [8] S. G. Sapate & A. V. RamaRao, "Erosive wear behaviour of weld hardfacing high chromium cast irons: effect of erodent particles" Tribology International, Vol. 39, No. 3, pp. 206-212, 2006.
- [9] D. K. Dwivedi, "Microstructure and abrasive wear behaviour of iron base hardfacing", Materials Science and Technology, Vol. 20, No. 10, pp. 1326-1330, 2004.
- [10] R. Chotěborský, P. Hrabě, M. Müller, J. Savková & M. Jirka, "Abrasive wear of high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys", Research in Agricultural Engineering, Vol. 54, No. 4, pp. 192-198, 2008.
- [11] C. W. Kuo, C. Fan, S. H. Wu & W. Wu, "Microstructure and wear characteristics of hypoeutectic, eutectic and hypereutectic (Cr, Fe) 23C6 carbides in hardfacing alloys", Materials transactions, Vol. 48, No. 9, pp. 2324-2328, 2007.
- [12] S. Atamert & H. K. D. H. Bhadeshia, "Microstructure and stability of Fe- Cr- C hardfacing alloys", Materials Science and Engineering, Vol. 130A, No. 1, pp. 101-111, 1990.
- [13] C. M. Chang, Y. C. Chen & W. Wu, "Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy", Tribology international, Vol. 43, No. 5, pp. 929-934, 2010.
- [14] M. Kirchgaßner, E. Badisch & F. Franek, "Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact", Vol. 265, No. 5, pp. 772-779, 2008.
- [15]E. Zumelzu, I. Goyos, C. Cabezas, O. Opitz & A. Parada, "Wear and corrosion behaviour of highchromium (14–30% Cr) cast iron alloys", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 128, No. 1, pp. 250-255, 2002.

[۱۶] ح. ثابت، ش. خیراندیش، ش. میردامادی، م. گودرزی، "بررسی ریزساختار و مشخصات کاربیدهایCr,Fe)7C3) در آلیاژهایپریوتکتیک روکش سخت پایه Fe-Cr-C "، فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین مهندسی مواد، شماره اول، بهار ۱۳۹۰، ص ۲۹–۲۴. مشترک لایه رسوب داده شده با فلز پایه، متشکل از ساختار تیغه-ای است، ولی در مناطق دورتر از این فصل مشترک ساختار هم-محور می باشد. ۴- نمونه شماره ۲ با محتوای ۳۹٬۴۵۹ = ۲۲ دارای بشترین مقاومت به سایش است. ۵- در نمونه یو تکتیکی، ساز و کار سایش برای نمونه های جو شکاری شده با کروم کم، همراه با کندگی، چسبان و شخم-زدن می باشد. ۶- کاهش نرخ سایش نمونه شماره ۱ حاوی ۳۰۹۱=Cr و نمونه شماره ۲ حاوی ۲۹٬۴۵۹ ترک در سطح و تجمع نابجایی ها در لایه زیرین سطح می باشد.

۶- منابع

- [1] 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, Vol. 57. No. 4, pp. 227-231, 2006.
- [2] F. Madadi, F. Ashrafizadeh & M. Shamanian, "Optimization of pulsed TIG cladding process of stellite alloy on carbon steel using RSM", Journal of Alloys and Compounds, Vol. 510, No. 1, pp. 71-77, 2012.
- [3] J. R. Davis, ASM handbook, volume 6: welding, brazing and soldering. ASM International, Materials, USA, pp. 787-799, 1993.
- [4] Y. C. Lin & Y. C. Chen, "Reinforcements affect mechanical properties and wear behaviors of WC clad layer by gas tungsten arc welding", Materials & Design, Vol. 45, pp. 6-14, 2013.
- [5] S. Buytoz, M. Ulutan & M. M. Yildirim, "Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings", Applied Surface Science, Vol. 252, No. 5, pp. 1313-1323, 2005.
- [6] M. F. Buchely, J. C. Gutierrez, L. M. Leon & A. Toro, "The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys" Wear, Vol. 259, No. 1, pp. 52-61, 2005.

171

C، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی مواد، ۱۳۹۴.

[20] J. Yang, J. Tian, F. Hao, T. Dan, X. Ren, Y. Yang & Q. Yang, "Microstructure and wear resistance of the hypereutectic Fe–Cr–C alloy hardfacing metals with different La 2 O 3 additives", Applied Surface Science, Vol. 289, pp. 437-444, 2014.

۷- پی نوشت

- [1] Gas Tungsten Arc Welding
- [2] Clamping Effect

- [۱۷] ح. ثابت، س. ر. امبر آبادیزاذه، م. صادقی و م. ن. میرزا،"بررسی ریزساختار و مقاومت به سایش لایه رویه سخت پایهFe-C-Nb بر روی فولاد ساده کربنی" فصلنامه علمی پژوهشی فرآیندهای نوین مهندسی مواد، شماره سوم، ص۵۳–۵۰، پائیز ۱۳۸۸.
- [18] S. Atamert & H. K. D. H. Bhadeshia, "Microstructure and stability of Fe- Cr- C hardfacing alloys" Materials Science and Engineering, Vol. 130A, No. 1, pp. 101-111. 1990.

[۱۹] ب. صمیمی، ع. سعادت و م. ر. خانزاده قره شیران، بررسی تاثیر افزودن مولیبدن بر خواص سایشی و متالوژیکی پوشش های سخت -Fe-Cr