

The association of chemical composition microstructure and tribological properties of the coating on the 25CrMo4 DIN substrate by the SMAW process

#### Reza Saeedi<sup>1</sup>, \*Masoud Mosallaee<sup>2</sup>, Alireza Mashreghi<sup>2</sup>, S.Sadegh Ghasemi<sup>2</sup>

1. M.Sc. student, Materials Engineering group, Faculty of Mining and Metallurgy, Yazd University, Yazd, Iran.

2. Associate Professor, Materials Engineering group, Faculty of Mining and Metallurgy, Yazd University, Yazd, Iran.

**Citation:** Saeedi R, Mosallaee M, Mashreghi A, Ghasemi S.S. The association of chemical composition microstructure and tribological properties of the coating on the 25CrMo4 DIN substrate by the SMAW process. Metallurgical Engineering 2020: 22(4): 281-289 http://dx.doi. org/10.22076/me.2020.110249.1251

doi : http://dx.doi.org/10.22076/me.2020.110249.1251

#### ABSTRACT

In the present study, the effect of chromium carbide element on microstructure, hardness and abrasive properties of welded coating on the DIN-25CrMo4 substrate was investigated. For this purpose, three groups of roughing electrodes with different chromium content (0-13 wt%) were made and roughing operation was performed by hand electrode arc process (SMAW). Optical and scanning microstructural studies (SEM) along with XRD fuzzy analyzes showed that with increasing chromium content the microstructure of the coating is varied from a ferritic field with needle and morphology morphologies into a rich austenite field of carbide phases such as (FeCr)  $_{7}C_{3}$ . The evaluation of the characteristics of roughened samples showed that the coating hardness increased by about 350% with increasing chromium content (the hardness of the chromium-plated coating and the hardness of the metal substrate were 875 ± 5HV and 200 ± 5HV respectively). Examining the wear behavior of the samples indicates a significant improvement in the wear resistance of the chromium-rich coating (an 80% reduction in the coefficient of friction and a 90% reduction in the amount of lost weight relative to the metal-tensile properties) The SEM study of washed surfaces implying a change in the wear mechanism from the two-body scrubbing wear to the cutting mechanism by increasing the volume fraction of carbide compounds in higher-chromium specimens.

Keywords: Cladding, Martensitic Stainless Steel, Microstructure, Wear Resistance, SMA.

Received: 26 June 2019 Accepted: 1 January 2020

 \* Corresponding Author: Masoud Mosallaee, PhD
Address: Materials Engineering group, Faculty of Mining and Metallurgy, Yazd University, Yazd, Iran.
Tel: +98 (11) 43057620
E-mail: mosal@yazd.ac.ir



# ارتباط ترکیب شیمیایی، ریزساختار و خواص تریبولوژیکی روکش جوشی راسب شده بر زیرلایه DIN-25CrM04 توسط فرایند SMAW

#### رضا سعیدی'، \*مسعود مصلایی پور'، علیرضا مشرقی'، سید صادق قاسمی'

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مواد، دانشکده معدن و متالوژی، پردیس فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. ۲. دانشیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده معدن و متالوژی، پردیس فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

## چگيده

در پژوهش حاضر تاثیر عنصر کاربیدزای کروم بر ریزساختار، سختی و خواص سایشی روکش جوشی راسب شده بر زیرلایه DIN-25CrM04 مورد بررسی واقع شد. بدین منظور سه دسته الکترود روکش کاری با مقادیر مختلف کروم (۲۳۱۳-۰۰) ساخته و عملیات روکش کاری توسط فرآیند قوس الکترود دستی(SMAW) انجام شد. مطالعات ریزساختاری نوری و روبشی (SEM)، همراه با آنالیزهای فازی XRD نشان داد که با افزایش میزان کروم، ریزساختار روکش از یک زمینه فریتی با مورفولوژیهای سوزنی و چند وجهی به یک زمینه آستنیتی غنی از فازهای کاربیدی از قبیل <sub>د</sub>C<sub>7</sub>(FeCr) تغییر مییابد. ارزیابی خصوصیات نمونههای روکش کاری شده نشان داد با افزایش میزان کروم در روکش، سختی روکش حدود ۳۵۰% افزایش مییابد (سختی روکش غنی از کروم و سختی فازپایه به ترتیب 2H±205 و 2H±202 اندازه گیری شد). بررسی رفتار سایشی روکش، سختی روکش حدود ۳۵۰% افزایش مییابد (سختی روکش غنی از کروم و سختی فازپایه به ترتیب 2H±205 وزار افزایش میزان کروم در نمونهها حاکی از بهبود چشمگیر مقاومت به سایش روکش غنی از کروم (کاهش ۴۸۰ ضریب اصطکاک و کاهش ۳۰۰ مقدار وزن از دست رفته نسبت به خواص سایشی فلزپایه) می باشد. مطالعه Mعه سطوح ساییده شده دلالت بر تغییر مکانیزم سایش از سایش خراشان دو جسمی به مکانیزم برش ریز با افزایش کسر حجمی تر کیبرا کار در نمونهها ماکی از بهبود پشمگیر مقاومت به سایش روکش غنی از کروم (کاهش ۴۸۰ ضریب اصطکاک و کاهش ۴۰۰ مقدار وزن از دست رفته نسبت به خواص سایشی در نمونههای می باشد. مطالعه Mعد مدو حرالت بر تغییر مکانیزم سایش از سایش خراشان دو جسمی به مکانیزم برش ریز با افزایش کسر حجمی تر کیبات کاربیدی در نمونههای با مقدار کروم بالاتر دارد.

واژههای کلیدی: روکش کاری، کروم، ریزساختار، سایش.

دریافت: ۱۳۹۸/۴/۵ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۵

#### ۱. مقدمه

مادهی مناسب برای کاربردهای صنعتی باید علاوه بر خواص حجمی مناسب از خصوصیات سطحی ویژهای برخوردار باشد. دسترسی به چنین موادی در اغلب موارد هزینههای بالایی را به همراه دارد. ولی با توسعه فرآیندهای مهندسی سطح امکان تحقق و توسعه این گونه مواد با مقاومت سطحی بالا و چقرمگی مناسب فراهم شده است[۱و۲].

فولاد DIN-25CrMO4 یک فولاد کمآلیاژ با قابلیت شکل پذیری و جوش پذیری مطلوب در ساخت قطعات صنعتی از قبیل میللنگها، محورها و چرخدندهها درصنایع هواپیمایی و خودروسازی کاربرد بسیاری دارد[۳و۴]. از نقاط ضعف این آلیاژ میتوان به پایین بودن مقاومت سایشی این فولاد تحت بارهای دینامیکی اشاره نمود که موجب مشکلات اساسی در کاربردهای صنعتی این دسته از مواد می گردد. نظر به مقدار

نسبتا کم کربن (%wt ۲۲ /۰۰–۱/۱۸) در این فولادها، امکان افزایش سختی سطحی با عملیات حرارتی وجود ندارد]۵و۶[. از راهکارهای صنعتی به منظور افزایش سختی و بهبود رفتار سایشی فولاد DIN-25CrM04 میتوان به عملیات روکشکاری اشاره نمود[۷]. از راهکارهای اقتصادی و صنعتی در زمینه روکشکاری، میتوان به فرآیندهای مختلف جوشکاری اشاره کرد که دارای مزیتهایی از قبیل قیمت ارزان، سهولت اجرا و ضخامت بالای لایه روکش راسب شده میباشد[۸].

فرآیند (SMAW) به دلیل تنوع زیاد در ترکیب شیمیایی الکترود، قابلیت اجرا در تمامی موقعیتها و عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و گرانقیمت از کاربردیترین فرآیندهای جوشکاری برای روکشکاری است[۹و۱۰].

بررسیهای زیادی در زمینهی تاثیر ترکیب شیمیایی بر ریزساختار، سختی و بهبود رفتار سایشی روکشهای جوش انجام شده است[۱۳،۱۱]. Selvi و همکاران[۱۱] با افزایش

<sup>\*</sup> نویسنده مسئول:

دكتر مسعود مصلايي پور

**نشانی:** یزد، دانشگاه یزد، پردیس فنی مهندسی، دانشکده معدن و متالوژی گروه مهندسی مواد. تلفن: ۲۳۰۵۷۶۲۰ (۱۱) ۹۸+ پست الکترونیکی: mosal@yazd.ac.ir

عنصر ۲۲ از ۷۳ ۳۱% به ۷۲ ۷۱% در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که تشکیل کاربید کروم Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> در ریزساختار روکش موجب تاثیر قابل توجهای بر بهبود رفتار سایشی نسبت به خواص سایش زیر لایه میشود. عظیمی و شمعانیان [۱۲] افزایش مقاومت سایشی در لایههای روکشی را ناشی از ۲رکیب بهینهای از کروم با عناصر کاربیدزا نظیر M0 و Nb در پوشش الکترود دانستند که با شکل گیری کاربید NbC و کاربید ۲<sub>2</sub>, Fe,Mo,Cr) در ریزساختار روکش سبب افزایش سختی سطحی و بهبود رفتار سایشی می گردد. Johne و ممکاران [۱۳] تاثیر تعداد لایههای روکش بر خصوصیات سطحی نمونهها را بررسی و گزارش دادند که با افزایش تعداد لایههای روکش بر سطح زیرلایه، سختی و مقاومت سایشی افزایش مییابد. آنها بهبود خواص سایشی روکش را بدلیل افزایش کسر حجمی کاربیدها و کاهش میزان مشارکت فلزپایه در لایه روکش گزارش نمودند.

در این پژوهش به منظور بهبود رفتار سایشی فولاد کم آلیاژ DIN-25CrM04 از عملیات روکشکاری جوشی با استفاده از فرآیند SMAW استفاده شد. بدین منظور سه دسته الکترود با مقادیر مختلف کروم و کربن ساخته و تاثیر ترکیب شیمیایی روکش بر ریزساختار، سختی و خواص سایشی روکش حاصله مورد ارزیابی وتحقیق واقع شد.

### ۲. مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از فولاد کم آلیاژ DIN-25CrM04 با ترکیب (wt%) Fe-0.25C-0.2MO-1.15Cr-0.6Mn (wt%) استفاده شد. برای انجام روکشکاری نمونههایی در ابعاد ۱۵ mm<sup>3</sup> ۲۵×۲۵×۲۰ از زیرلایه دریافتی برش و بعد از آماده سازی سطحی (سنگ زدن تا سمباده ۶۰۰) و چربی زدایی در حمام استون، تحت عملیات روکشکاری جوشی واقع شدند.

به منظور بررسی تاثیر عنصر کروم بر ریزساختار و خواص روکش سه دسته الکترود حاوی مقادیر مختلفی از کروم طراحی و با همکاری شرکت الکترود یزد ساخته شد. در جدول(۱) ترکیب شیمیایی فلزجوش راسب شده از این الکترودها ارائه شده است.

**جدول۱.** ترکیب شیمیایی لایه روکش برای نمونههای مختلف روکش کاری شده در پژوهش حاضر

Cr–H	Cr–M	Cr–L	کد الکترود عنصر
•/۶۵	۰/۵۱	•/•۵	<b>C</b> '/.
•/84	• /87	۰ /۲ ۱	Mo'/.
14/66	۹/۵۴	• /٣ •	Cr'/.
۰/۵۳	• / ۵ •	•/47	Mn'/.
Bal	Bal	Bal	Fe'/.

www.SID.ir

الکترودها قبل از عملیات روکشکاری به مدت ۲ hr جهت رطوبتزدایی در دمای C<sup>o</sup> ۳۰۰ مورد پخت مجدد واقع شدند. عملیات روکشکاری با فرآیند SMAW مطابق با پارامترهای جوشکاری ارائه شده در جدول(۲) در وضعیت مسطح مطابق با استاندارد AWS A5.5 انجام شد.

جدول ۲. پارامترهای جوشکاری مورد استفاده در این پژوهش

مقدار	پارامتر جوشکاری		
۳۰۰ mm/min	سرعت جوشکاری		
۱۱۳±۵(A)	شدت جریان جوشکاری (آمپر)		
۲ <b>۰</b> ±۲(V)	ولتاژ جوشکاری (ولت)		
۳ mm	قطر الكترود (ميليمتر)		
٢	تعداد لايه روكش		
۳۸۰±۱۰ J/mm	گرمای ورودی		
DCEP	پلاريته		

نمونههای متالوگرافی در ابعاد  $10 \text{ mm} \times 12 \times 10 \text{ c}$  در راستای عمود بر مقطع روکش برش و پس از آماده سازی سطحی مطابق با روشهای استاندارد متالوگرافی توسط محلول نایتال 1% به مدت زمان vsec در دمای محیط اچ شیمیایی شدند. مطالعات ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی IROST انجام شد. همچنین بررسی ترکیب شیمیایی اجزا تشکیل دهنده روکشها توسط آنالیز Spot-EDS صورت پذیرفت. بررسی کیفی فازهای تشکیل شده در ساختار روکشها توسط آزمون تفرق اشعه Xباسرعت پیشروی vec/ $0^{-10}$  در بازه زاویهای  $^{-10}$  با طول موج در بازه زاویهای 1/0 انجام شد.

پروفیل سختی در امتداد مقطع روکش کاری شده با استفاده از دستگاه میکروسختی Koopa و بار اعمالی g ۰۰۰ و مدت زمان نشست بار ۱۰ sec انداره گیری و رسم شد.

آزمون سایش به روش پین روی دیسک و از فولاد بلبرینگ با سختی RC64 به عنوان پین ساینده استفاده شد. همچنین آزمون تحت نیروی عمودی ۴۰ ۷ در دمای ۲۰ °۲ و رطوبت ۱۰۰% در مسافت سایشی m ۱۰۰۰ انجام پذیرفت. کاهش وزن نمونهها نیز با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۱mg ۲۰۱۳ بعد طی مسافت سایشی مشخص اندازه گیری و ثبت گردید. سطوح ساییده شده و ذرات جدا شده از نمونهها در حین آزمون سایش جمعآوری به منظور تعیین مکانیزم سایش مورد مطالعات SEM واقع شد.

### ۳. نتايج وبحث

مطالعات ریزساختاری بررسی ریزساختاری با میکروسکوپ نوری از زیرلایه (شکل ۱) ارتباط ترکیب شیمیایی، ریزساختار و خواص تریبولوژیکی روکش جوشی راسب شده بر زیرلایه DIN-25CrMo4 توسط فرایند SMAW



نشان داد که فلز پایه دارای زمینه فریتی درشت دانه (متوسط اندازه دانه ۱۰ ±۱۲۰ و با مورفولوژیهای مختلف فریت از قبیل فریت تودهای و فریت سوزنی تشکیل شده است.



**شکل۱.** ریزساختار نوری فلزپایه.

تصویر میکروسکوپ نوری از سطح روکش نمونه جوشکاری شده با اکترود L-Cr در شکل ۲ نمایش داده شده است. با توجه به ترکیب شیمیایی روکش (جدول ۱) و مطالعات ریزساختاری این نمونه، میتوان عنوان کرد که روکش جوشی نمونه Cr-L از یک زمینه کاملا فریتی با مورفولوژیهای مختلف از این فاز شامل سوزنی، چندوجهی و مرزدانهایی تشکیل شده است[۱۴].



شکل۲. ریزساختار نوری روکش جوشی نمونه Cr-L.

در شکل۳ ریزساختار نواحی مختلف روکشهای ایجاد شده توسط الکترود Cr-M و Cr-H ارائه شده است. بر اساس انجماد روکش جوشی با رشد رونشستی (Epitaxial) بر فصل مشترک روکش/زیرلایه شروع و با مکانیزم رشد رقابتی ادامه مییابد [۱۵و۱۶]. مورفولوژی ستونی دانهها در مجاورت فصل مشترک روکش/زیرلایه (شکل۳-الف) مبین رشد رقابتی در مراحل اولیه انجماد روکش میباشد. اختلاف مورفولوژیهای اجزاء روکش در نواحی پایینی (نواحی نزدیک به فصل مشترک روکش و زیرلایه) و نواحی فوقانی روکش را میتوان به تغییر سرعت انجمادی و گرادیان دمایی اعمالی بر فاز مذاب با پیشرفت انجماد، نسبت داد [۱۵و۸۲].

www.SID.ir



**شکل ۳.** ریزساختار نواحی مختلف روکشهای ایجاد شده توسط الکترود Cr-M و Cr-H. (الف) ناحیه فصل مشترک نمونه Cr-H، (ب) سطح فوقانی نمونه Cr-M. (ج) سطح فوقانی نمونه Cr-H.

در شکل ۴ بخشی از نمودار سهتایی Fe-C-Cr نشان داده شده است. موقعیت روکشهای Cr-H و Cr-M به ترتیب شده است. موقعیت روکشهای Cr-H و Cr-M و cr-M روی سده است. میتوان بیان نمود که انجماد لایه روکش با جوانهزنی و رشد فاز آستنیت در محدوده دمایی  $\circ 0.4$  تا  $\circ 0.4$  تا  $\circ 0.4$  میشود. و با استحاله یوتکتیک ( $\gamma + R_7 C_3 + \gamma$ ) تکمیل میشود. بنابراین فازهای نهایی تشکیل شده در ریزساختار برای هر دو مورنه به علت ترکیب شیمیایی تقریبا یکسان روکشها، به مورت یک زمینه آستنیتی کاربیدی میباشد.

مطالعات SEM-EDS از روکش نمونه Cr-L (شکل۵) حاکی از تشکیل روکشی با زمینه غنی از آهن و مقادیر جزئی از مولیبدن و کروم میباشد. حضور این عناصر در ترکیب شیمیایی روکش را میتوان به انحلال زیرلایه در لایه روکش نسبت داد. مطالعات SEM-EDS مناطق مختلف روکش در این نمونه دلالت بر جدایش عنصری و تشکیل اجزاء غنی

🏄 مهندسي مآلور ژي



**شکل ۴.** دیاگرام سه تاییFe-Cr-C نقاط آبی و قرمز به ترتیب مبین موقعیت نمونههای Cr-H و Cr-M میباشد.



شكل ۵. تصویر SEM-BSE از روكش Cr-L، همراه با آنالیز EDS.

از Mo و Cr در روکش Cr-L داشت. لازم به ذکر است نظر به کیفی بودن آنالیز EDS تنها میتوان به حضور این عناصر در بخشهای مختلف روکش و مقایسه نسبی آنها با هم اکتفا نمود.

در شکل۶ ریزساختار SEM در مد الکترون برگشتی از نمونههای Cr-M و Cr-H ارائه شده است. ریزساختار روکش نمونه Cr-H ظریفتر از ریزساختار روکش Cr-M میباشد که میتواند ناشی از غلظت بیشتر عناصر آلیاژی (جدول۱) و افزایش مادون انجماد حین انجماد مذاب روکش Cr-H باشد.

ارزیابی نتایج تفرق اشعه ایکس (XRD)

با توجه به نتایج آزمون XRD از روکش ایجاد شده در نمونه

www.SID.ir



شكل 6. تصاوير SEM الف) نمونه Cr-H ب) نمونه Cr-M



شکل ۷. الگو پراش XRD از سطح نمونه .Cr-L

Cr-L (شکل۷) می توان برداشت نمود که این روکش از یک زمینه کاملا فریتی تشکیل شده و عدم فازهای کاربیدی در همخوانی با مقادیر کم کربن (۰/۰۵ wt) و عناصر آلیاژی کاربیدزا از قبیل کروم می باشد.

Cr–H و T–H دمونههای M–Cr و Cr–H و Cr–H دمونههای M–Cr و Cr–H و Cr–K (شکل  $\Lambda$ ) بیانگر وجود ترکیبات کاربیدی غنی از کروم و آهن در زمینه آستنیتی برای هر دو نمونه میباشد. با مقایسه الگوهای پراش بدست آمده از این دو نمونه میتوان دریافت که افزایش عنصر کاربیدزای کروم در نمونه H–Cr موجب شدت بیشتر پیکهای مربوط به ترکیبات کاربیدی  $M_rC_3$  در نمونه H–Cr نسبت به نمونه M–Cr شده است. کاهش شدت نمونه H–Cr نسبت به نمونه M–Cr شده است. کاهش شدت نمونه H–Cr را میتوان به تاثیر فریتزائی کروم مرتبط نمود. لازم به ذکر است شدت پیکهای یک فاز متناسب با مقادیر آن فاز میباشد. همان گونه که از شکل  $\Lambda$  برداشت میشود با افزایش کروم در لایه روکش یک سری پیکهای جدیدی مرتبط با ترکیبات بین فلزی غنی از آهن، کروم و وانادیم (CrVFe) در الگوی پراش نمونه H–Cr ایجاد شد.





شكل∧. الكو پراش XRD الف) سطح نمونه Cr-M ب) سطح نمونه Cr-H

بررسیهای ریزسختی

نتایج آزمون میکروسختی از زیرلایه (DIN-25CrM04) و سطوح روکشکاری شده در جدول۳ ارائه شده است. همانگونه که برداشت میشود، عملیات روکشکاری جوشی در تمامی نمونهها موجب افزایش سختی (از ٪ ۲۰۰ تا ٪۳۵۰) در سطح روکش نسبت به فلز پایه شده است. نتایج آزمون سختی نشان داد با افزایش کروم در روکش، سختی روکش ایجاد شده افزایش مییابد. افزایش سختی با افزایش میزان کروم در همخوانی با نتایج ریزساختاری و مطالعات فازی XRD میباشد. به عبارت دیگر افزایش سختی مذکور را میتوان به افزایش میزان کاربیدها نسبت داد. بیشترین مقدار سختی افزایش میزان کاربیدها نسبت داد. بیشترین مقدار سختی سختی زیرلایه (HV ۵±۲۰۰) بالاتر میباشد. در نمونه M-Cr نیز با وجود عناصر آلیاژی و ترکیبات کاربیدی تشکیل شده سختی به مقدار زیادی افزایش پیدا کرد. نتایج آزمون سختی

**جدول۳.** نتایج حاصل از آزمون سختی از سطح روکشهای ایجاد شده در این پژوهش

BM	Cr–H	Cr–M	Cr–L	نمونه آزمون
۱۹۷	٧۴۴	894	494	اول
۱۹۸	٨٩۶	۷۱۰	۴۷۳	دوم
7.4	٨۶۵	۷۰۸	498	سوم
۲۰۰	9 + 7	۶۹۵	467	چهارم
۲۰۱	٨۴٣	۶٩٠	۴۷۷	پنجم
200±5	875±5	700±5	475±5	میانگین

www.SID.ir

بر روی این نمونه سختی HV ۵±۷۰ را نشان داد. تحقیقات نشان داد که توزیع ذرات فاز دوم در ریزساختار نیروی ممانعت کنندهای را در برابر حرکت مرزدانهها با زاویه کوچک یا بزرگ اعمال میکند. این عامل میتواند اثر قابل توجهای بر تعویق، مهار و رشد دانهها اعمال نماید [۱۹و۲۰] که موجب افزایش سختی میگردد.

پروفیل سختی نمونههای روکش کاری شده در شکل ۹ رسم گردید. همان گونه که در این شکل نشان داده شده است در تمامی نمونهها با فاصله گرفتن از سطح زیرلایه به سمت سطح روکش میزان سختی افزایش مییابد. علت این تغییرات را میتوان به کاهش میزان مشارکت فلز پایه (رقّت) در نواحی سطحی روکش نسبت داد. با فاصله گرفتن از زیر لایه به سمت روکش ترکیب شیمیایی در سطح روکش به ترکیب شیمیایی الکترود مصرفی نزدیکتر میشود که به علت حضور عناصرآلیاژی بیشتر و تشکیل ترکیبات کاربیدی و بالا بودن سرعت سرد شدن در این نواحی، میزان سختی در نواحی فوقانی روکش افزایش میابد. افزایش سختی روکشهای جوشی با حرکت از سطح زیرلایه به سمت فوقانی روکش همخوانی با نتایج دیگر محققین [۲۰۲۲و۲۳] میباشد.



**شکل ۹**. تاثیر ترکیب شیمیایی روکش بر پروفیل سختی نمونههای روکشکاری شده.

ارزیابی رفتار سایشی نمونهها

شکل ۱۰ کاهش وزن نمونههای سایشی را بعد از طی مسافت سایشی m ۱۰۰۰ برای هرسه نمونه روکش داده نشان میدهد. همانگونه که دیده میشود کمترین میزان کاهش وزن مربوط به نمونه Cr-H میباشد که به علت سختی بالای روکش این نمونه میباشد. کاهش وزن این نمونه بعد از طی مسافت سایشی ۲۰۰۳ کمتر از mg /۰۲ تعیین شد. در وزن شدیدی شده بطوری که تنها بعد از طی مسافت سایشی وزن شدیدی شده بطوری که تنها بعد از طی مسافت سایشی رفتار سایشی نمونه Mr-D مابین نمونههای فوقالذکر بود که

در همخوانی با میزان سختی این نمونه میباشد. کاهش وزن اندازه گیری شده در نمونه Cr-M بعد از طی مسافت ۱۰۰۰ m

🌌 مهندسي متالور ژي

در حدود ۳/۲ mg تعیین شد.

همانطور که در شکل ۱۰ دیده می شود شیب کاهش وزن نمونههای Cr-M و Cr-H در مسیرهای ابتدایی، بیشتر از مسیرهای پایانی می باشد. علت این تغییرات در رفتار سایشی این نمونهها را می توان ناشی از افزایش سختی به دلیل مکانیزم کار سختی و افزایش دانسیته نابجاییها در سطح روکش بیان کرد. توضیح آنکه آستنیت موجود در زمینه روکش های Cr-H و M-r در نتیجه کار مکانیکی ایجاد شده حین آزمون سایش به مارتنزیت تبدیل شده و موجب افزایش سختی سطح و افزایش مقاومت به سایش و کاهش شیب سایش در حین آزمون سایش می شود.



شکل۱۰. نمودار کاهش وزن نمونهها بعداز طی مسافت m ۱۰۰۰.

تاثیر ترکیب شیمیایی روکش بر تغییرات ضریب اصطکاک برحسب مسافت پیموده حین آزمون سایش در شکل۱۱ ارائه شده است. از عوامل موثر در ضریب اصطکاک می توان به سطح تماس واقعى بين پين و سطح روكش اشاره نمود. توضيح أنكه افزایش سختی و کاهش زبری سطوح تماس موجب کاهش ضريب اصطكاك مىشود [٢٤و٢٥]. بنابراين سختى بالاى روکش Cr-H موجب ایجاد کمترین میزان ضریب اصطکاک (میانگین ۴۰/۴۰) شده است. برعکس سختی کمتر نمونهی Cr-L موجب نفوذ بیشتر پین در سطح روکش مذکور شده و تماس بیشتری بین پین و سطح روکش Cr-L موجب افزایش ضریب اصطکاک این نمونه شده به طوری که بعد از طی تنها ۳۰۰ متر، میانگین ضریب اصطکاک این نمونه به ۰/۹۰ میرسد. روند یکنواخت ضریب اصطکاک حین سایش در نمونه Cr-L را می توان به ثابت باقی ماندن مکانیزم غالب سایش در طول مسیر برای این نمونه نسبت داد. در مقابل نوسانات ضریب اصطکاک مربوط به روکش نمونههای Cr-M و Cr-H حین آزمون سایش، در نتیجه تغییرات مکانیزم غالب سایش می باشد. توضیح آنکه میزان ضریب اصطکاک در این نمونهها در ابتدای مسیر بالا بوده و در ادامه کاهش مییابد. این را www.SID.ir

می توان ناشی از پدیده کار سختی دانست که در ابتدای مسیر سایش به علت سختی کمتر ضریب اصطکاک بالاتر و در ادامه با سخت تر شدن سطح روکش ناشی از استحاله آستنیت به مار تنزیت میزان ضریب اصطکاک کاهش می یابد.



**شکل ۱۱.** تغییرات ضریب اصطکاک برحسب مسافت پیموده حین آزمون سایش نمونههای Cr-H، Cr-M و Cr-L.

جهت بررسی کاملتر و تعیین مکانیزم غالب سایش در هر نمونه، مسیر سایش و ذرات حاصل از آن با استفاده از ميكروسكوپ الكترونى روبشى مورد بررسى واقع شدند (شکل۱۲). بررسی سطوح سایش مربوط به روکش نمونههای Cr-H و Cr-M (شکل۲۲-الف و ب) حاکی از سطوح خیش خورده با پهنا و عمق کم و همچنین وجود لایههای چسبیده بر سطح میباشد. میتوان استنباط نمود که سایش در این دو نمونه ابتدا با مکانیزم سایش خراشان دو جسمی از نوع خیش ریز شروع و در ادامه، سایش با مکانیزم خراشان سه جسمی دنبال می شود. نظر به کندگیها و شیارهای ایجاد شده در سطح سایش این نمونهها، مکانیزم غالب سایشی در نمونههای Cr-H و Cr-M مكانيزم ريزترک میباشد. توضيح أنکه سختی بالای سطح موجب ریزتر کهایی در اثر تغییر شکل در لایههای سطحي شده با رشد و اتصال أنها به هم، موجب كندكي سطح می شود. لازم به ذکر است عمق و پهنای شیارها و میزان کندگی در سطح سائیده شده نمونه Cr-M بزرگتر و بیشتر از کندگیها در سطح نمونه Cr-H می باشد که در همخوانی با سختی کمتر نمونه Cr-M نسبت به نمونه Cr-H می باشد.

cr-L وجود شیارهای پهن و عمیق در سطح سائیده شده Cr-L بیانگر یک حالت شخم زدگی از سطح می باشد. از دلایل اصلی آن می توان به پایین بودن سختی روکش اشاره کرد که با نفوذ زیاد پین منجر به ایجاد شیارهای پهن و عمیق در سطح روکش گردید. مکانیزم اصلی سایش در این نمونه مکانیزم سایش ورقهای می باشد.



۳. افزایش کروم تا حدود %tw ۱۳ در لایه روکش موجب بهبود چشمگیر مقاومت به سایش نمونههای روکش کاری شده (کاهش ۸۰% ضریب اصطکاک و کاهش ۹۰% مقدار وزن از دست داده شده حین سایش) نسبت به رفتار سایشی زیرلایه می شود.

۴. حضور کروم در لایه روکش موجب تغییر مکانیزم سایش حین آزمون سایش میشود. علت را میتوان به وقوع پدیده کار سختی و استحاله زمینه آستنیتی به مارتنزیت نسبت داد.

### ٥. تشكر و قدر داني

از مدیریت محترم شرکت الکترود یزد و دیگر اعضای محترم پژوهشی و تولید شرکت الکترود یزد که در ساخت الکترودها و انجام جوشکاری با نویسندگان این مقاله همکاری داشتند، نهایت سپاسگزاری و قدردانی را داریم.

#### References

- Sapate, S. G., and A. V. RamaRao. "Erosive wear behaviour of weld hardfacing high chromium cast irons: effect of erodent particles." Tribology International, vol. 39.3, pp. 206-212, 2006.
- [2] Karadeniz, Erdal, Ugur Ozsarac, and Ceyhan Yildiz. "The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding." Materials & design, vol. 28.2, pp. 649-656, 2007.
- [3] Ji-Liang, Doong, Chi Jing-Ming, and Tan Yen-Hung. "Fracture toughness behaviour in AISI 4130 steel of electron beam welding." Engineering fracture mechanics, vol. 36.6, pp. 999-1006, 1990.
- [4] Romo, S. A., et al. "Cavitation and high-velocity slurry erosion resistance of welded Stellite 6 alloy." TribologyInternational,vol. 47,pp.16-24,2012.
- [5] I. Hutchings and P. Shipway, "Tribology: friction and wear of engineering materials", 2nd Edition, Butterworth-Heinemann publication, 2017.
- [6] Eroglu, Mehmet. "Boride coatings on steel using shielded metal arc welding Microstructure and hardness." Surface&CoatingsTechnology,vol. 203.16, pp. 2229-2235, 2009.
- [7] Pradeep, G. R. C., A. Ramesh, and B. Durga Prasad. "A review paper on hardfacing processes and materials." Engineering Science and Technology, vol. 2.11, pp. 6507-6510, 2010.
- [8] de Melo, Anderson CA. "Some observations on wear and damages in cemented carbide tools." Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 28.3, pp. 269-277, 2006.
- [9] Mendez, Patricio F., et al. "Welding processes for wear resistant overlays." Journal of Manufacturing Processes, vol, 16.1. pp. 4-25,2014.
- [10] Buchanan, V., P. H. Shipway, McCartney. "Microstructure and abrasive wear behaviour of shielded metal arc welding hardfacings used in the sugarcane industry." Wear, vol.263, pp 99-110,2007.

SEM FAC: 25 SUY View Fad: 250 Jm View Fad: 500 x View Fad: 500 x





**شکل۱۲.** تصویر SEM از مسیر سائیده شده در (الف) نمونه Cr-H، (ب) نمونه Cr-Mو (د) نمونه Cr-L. نواحی مشخص شده کندگی در سطوح سایش میباشد.

### ٤. نتيجه گيري

در پژوهش حاضر تاثیر عنصر کاربیدزای کروم بر ریزساختار، سختی و خواص سایشی روکش جوشی راسب شده بر زیرلایه DIN-25CrM04 مورد پژوهش واقع شد. از مهمترین دستاوردهای این پژوهش میتوان به موارد زیر اشاره نمود.

- ۱. مطالعات میکروسکوپی و آزمون پراش XRD حاکی از ایجاد کاربید کروم به صورت ۲۰<sub>۲</sub>Cs در یک زمینه آستنیتی با افزودن عنصر کروم (%۱۳ wt-۹~)در روکش میباشد.
- ۲. با افزایش عنصر کروم (%۱۳٫۵ wt) در لایه روکش، سختی زیرلایه از HV ±۵ ۲۰۰± به مقادیر حدود HV ±۵ ۲۵ افزایش یافت.

🏄 مهندسي متالور ژي

[11] Selvi, S., S. P. Sankaran, and R. Srivatsavan. using MMAW process." Journal materials Processing technology,vol. 207,pp. 356-362, 2008.

[۱۲] ق. عظیمی، م.شمعانیان، "روکش کاری فولاد ساده کربنی با الکترودهای پرکروم، وارزیابی ریزساختارو رفتار سایشی روکش".نشریه علوم مهندسی سطح، شماره۶، ص ۸۶-۸۶، سال ۱۳۸۷.

- [13] Coronado, John J., Holman F. Caicedo, and Adolfo L. Gómez. "The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits. "Tribology International,vol. 42.5 pp.745-749,2009.
- [14] Wang, X. H., et al. "Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings." Materials Science Engineering: A, vol. 489, pp. 193-200, 2008.
- [15] Correa, E. O., et al. "The effect of microstructure on abrasive wear of a Fe-Cr-C-Nb hardfacing alloy deposited by the open arc welding process." Surface and Coatings Technology,vol. 276 pp. 479-484,2015.
- [16] Sawant, Mayur S., and N. K. Jain. "Investigations on wear characteristics of Stellite coating by micro-plasma transferred arc powder deposition process." Wear, vol. 378, pp. 155-164, 2017.
- [17] Jankauskas, Vytenis, et al. "Effect of WC grain size and content on low stress abrasive wear of manual arc welded hardfacings with low-carbon or stainless steel matrix." Wear, vol.328, vol. 378-390, 2015.
- [18] Amushahi, M. H., F. Ashrafizadeh, and M. Shamanian."Characterization boride-rich hardfacing on carbon steel by arc spray and GMAW processes. "Surface and Coatings Technology, vol. 204.16, pp. 2723-2728, 2010.

- [19] Yang, Jian, et al. "Microstructure and wear resistance of the hypereutectic Fe–Cr–C alloy hardfacing metals with different La2O3 additives." Applied Surface Science, vol. 289, pp. 437-444, 2014.
- [20] Zener, C. S. "Grains, phasesandinterfaces: an interpretation of microstructure." Trans. AIME, vol. 175, pp.15-51, 1984.
- [21] Evans, G. M. "The Effect of Carbon on the Microstructure and Properties of C--Mn All-Weld Metal Deposits." Weld Res Abroad, vol. 19.1,pp. 13-24, 1983.
- [22] Wei, Shizhong, et al. "Effects of carbon on microstructures and properties of high vanadium high-speed steel." Materials & design, vol. 27.1, pp 58-63,2006.
- [23] Chandrashekharaiah, T. M., and S. A. Kori."Effect of grain refinement and modification on the dry sliding wear behaviour of eutectic Al-Si alloys." Tribology international 42.1 59-65,2009.
- [24] Kirchgaßner, M., E. Badisch, and F. Franek. "Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact." Wear,vol. 265.5.pp.772-779, 2008.
- [25] Gualco, Agustín, et al. "Effect of welding procedure on wear behaviour of a modified martensitic tool steel hardfacing deposit." Materials & Design 31.9 pp.4165-4173,2010.