

آلیاژهای چدن پر کروم در رویه سختی

رضا کلانتریان^۱، حمید امیدوار^۲

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در میان آلیاژهای جوشکاری رویه سختی (Hardfacing) چدن های پر کروم (High Chromium Cast Irons) کاربرد زیادی در کنترل سایش ساییده (Abrasion Wear) و رفتگی ناشی از ذرات جامد (Solid Particle Erosion) در صنایع سیمان، فولاد، معدن و کشاورزی دارند. ریزساختار فلز جوش این گروه عمدتاً دارای کاربیدهای فلزی است که در مراحل اولیه انجماد تشکیل می شود. اطراف این ذرات سخت با ساختار یوتکتیکی احاطه شده است که زمینه فلزی آن می تواند آستنیت، مارتنزیت و یا مارتنزیت باقی مانده باشد. در این مقاله سعی شده است پارامترهای اصلی در شناخت و کاربرد این گروه مهم از آلیاژهای رویه سختی معرفی شود.

واژه های کلیدی: جوشکاری، مقاومت به سایش، آلیاژهای رویه سختی، چدن های پر کروم.

Hardfacing High Chromium Cast Iron Alloys

Reza kalantarian, Hamid Omidvar

Department of Mining & Metallurgy Engineering, Amirkabir University of Technology

Abstract

Among the hardfacing welding alloys, high chromium cast irons are very useful in controlling the abrasive and erosive wear for the Cement, Steel, Mining and Agricultural industries. The microstructure of the weld metal has metallic carbides or borides which are formed at initial stages of the solidification. These hard particles surrounded by a eutectic structure that its metal matrix can be austenite, martensite or martensite with residual austenite. In this paper an attempt has been for introducing the main parameters in the understanding and application of this important group of hard surfacing alloys

Keywords: Welding, Wear Resistance, Hardfacing Alloys, High Chromium Cast Irons

از انواع دیگر فرایند رویه کاری است. از جمله مزایای

رویه سختی می توان به ایجاد مقاومت موضعی در برابر شرایط محیط کار، امکان کاربرد در محل، استفاده اقتصادی از عناصر گران قیمت و امکان ایجاد لایه سخت مقاوم به سایش روی زیرلایه چقرمه اشاره نمود (۲).

مواد مصرفی جوشکاری رویه سختی شامل گروه آلیاژهای فلزی پایه آهنی، آلیاژهای فلزی پایه غیر آهنی و کامپوزیت های حاوی کاربیدها و یا

مقدمه

رویه کاری (Surfacing) رسوب دادن یک لایه ماده روی فلز پایه یا روی زیرلایه بوسیله فرایندهای جوشکاری، لحیم کاری یا پاشش حرارتی به منظور دستیابی به خواص یا ابعاد مورد نظر است (۱). اگر رویه کاری به منظور کاهش نرخ سایش به کار برده شود، رویه سختی نامیده می شود. فرایندهای بازسازی (Build-up) روکش کاری (Cladding) و لایه دهی (Buttering)

Abbreviations: ANSI, American National Standards Institute; CVF, Carbide Volume Fraction; OFW, Oxy-Fuel Welding; GMAW, Gas Metal Arc Welding.

1-r.kalntrn@gmail.com

2-omidvar@aut.ac.ir

Earth) و رفتگی ناشی از ذرات جامد دارند (۲). تیغه های خاک برداری، نقاله های حلزونی (Screw Conveyors)، مسیرهای انتقال مواد معدنی، فن های غبارگیر، غلتک ها و تیغه های آسیاب مواد معدنی و سنگشکن ها از جمله تجهیزاتی است که از چدن های پرکروم برای رویه سختی و افزایش عمر کاری آنها استفاده می شود. نشان داده شده است که مقاومت به سایش ساینده این گروه از آلیاژهای رویه سختی در شرایطی می تواند ۲۰ تا ۲۴ برابر بهتر از فولادهای کم کربن باشد (۴).

ریز ساختار

ریز ساختار آلیاژ چدن پرکروم، عمدتاً دارای فازهای سخت با ترکیب شیمیایی M_aX_b (M نماینده عنصر فلزی و X نماینده کربن یا بور) یا سلولهای فلزی است که در مراحل اولیه انجماد تشکیل شده و توسط شبکه پیوسته یوتکتیک احاطه شده است. این ترکیب رفتار سایشی قابل قبولی را ارائه می نماید (۵). براساس مقدار کربن، کروم و سایر عناصر آلیاژی ترکیب آلیاژ ممکن است هیپو یوتکتیک، یوتکتیک یا هایپریو تکتیک باشد.

فازهای سخت اولیه ممکن است کاربیدها یا بوراید های فلزی از نوع M_3B_2 ، MB_2 ، M_3C ، M_7C_3 ، MC ، M_2B ، M_3B و یا $M_{23}C_6$ باشند که دارای تاثیر متفاوت بر رفتار سایشی آلیاژ رویه سخت هستند. در این میان مهم ترین فاز سخت تشکیل شده حین انجماد که تاثیر زیادی بر خواص سایشی رسوب ایجاد شده دارد، کاربید کروم نوع M_7C_3 است.

پس از تشکیل فازهای سخت اولیه، مذاب ممکن است ترکیب یوتکتیک یا هیپویوتکتیک داشته باشد. در انجماد هیپویوتکتیک، سلول های فلزی توسط یوتکتیک احاطه

بوراید های فلزی است (۳). در گروه آلیاژهای فلزی پایه آهنی فولادهای کم کربن، فولادهای مارتزیتی، فولادهای آستیتی و چدن های پرکروم کاربرد گسترده ای دارند، در این گروه کربن عنصر اصلی تعیین کننده خواص است و عناصر آلیاژی تعیین کننده ریز ساختار، مقاومت به سایش و هزینه است. همچنین در گروه آلیاژهای فلزی با پایه غیر آهنی، آلیاژهای کبالت، آلیاژهای نیکل و برخی آلیاژهای مس مورد توجه می باشد. از جمله کامپوزیت های معروف در جوشکاری رویه سختی نیز کامپوزیت کاربید تنگستن است.

برای مواد رویه سختی خواصی مانند سختی، میکروسختی، سختی دما بالا (Hot Hardness)، مقاومت به خزش، مقاومت به انواع سایش، مقاومت به تغییر شکل و ترک، مقاومت به حرارت و خستگی حرارتی، مقاومت به خوردگی و اکسیداسیون مورد توجه قرار می گیرد. مشخصات کامل برای الکترودهای روپوش دار رویه کاری در استاندارد ANSI/AWS A5.13:2000 و برای سیم و مفتول جوشکاری در استاندارد ANSI/AWS A5.21:2000 بیان شده است.

چدن های پرکروم

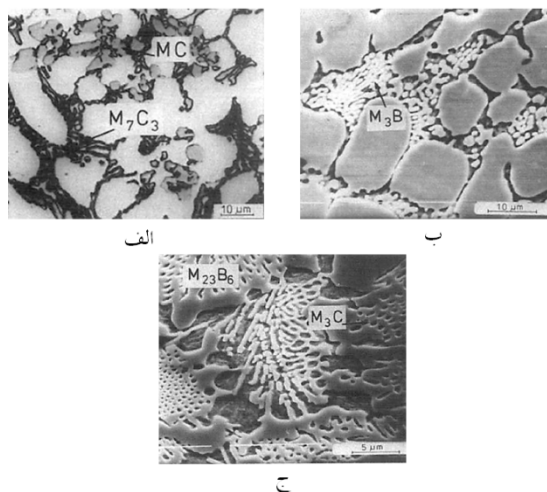
این آلیاژها شامل محدوده وسیعی از ترکیباتی است که در آنها مقدار کربن ۲ تا ۶ درصد وزنی و مقدار کروم ۶ تا ۳۵ درصدوزنی است. علی رغم اینکه چدن های پرکروم در رویه سختی دارای محدودیت هایی از قبیل چقرمگی کم و وجود ترک های عرضی (Check Cracks) در فلز جوش می باشند، امروزه کاربرد وسیعی در مقابله با سایش ساینده، به ویژه سایش فلز به خاک (Metal To

زمینه فلزی یوتکتیک نیز ممکن است آستنیت با سختی ۴۳۰ تا ۶۰۰ ویکرز یا مارتنزیت با سختی ۴۰۰ تا ۹۰۰ ویکرز و یا مارتنزیت با آستنیت باقی مانده باشد (۵). مارتنزیت در ساختار زمینه نقش حمایت از سطح ذرات سخت را داشته و باعث ایجاد مقاومت به سایش در تنش های بالا است.

کربن

چانگ و همکاران (۶) نقش مقدار کربن در آلیاژهای رویه سختی از جنس چدن پرکروم را با افزودن مقادیر مختلف گرافیت به فیلر جوشکاری بررسی نموده اند، براساس این تحقیق همانطور که انتظار می رود مقدار کربن نقش بسیار تعیین کننده ای در ساختار، سختی و میزان مقاومت به سایش دارد. افزایش کربن موجب افزایش نیرو محرکه تشکیل کاربیدها شده و نرخ جوانه زنی آنها را افزایش می دهد. تشکیل بیشتر کاربیدها به دلیل کاهش میزان تحت تبرید، رشد بیشتر آنها را متوقف می نماید. بنابراین افزایش کربن باعث افزایش کسر حجمی کاربیدها (CVF) و کوچک شدن اندازه آنها خواهد شد. در نتیجه در فرایند سایش، خراش های ایجاد شده در سطح، کوتاه و منقطع شده و این موضوع توجیهی برای کاهش نرخ سایش خواهد بود. البته افزایش کربن موجب افزایش حفراتی در سطح نمونه نیز خواهد شد که احتمالاً ناشی از شکستن کاربیدها می باشد (شکل ۲ و شکل ۳)

می شوند ولی در انجماد یوتکتیک، یوتکتیک فازهای سخت اولیه را احاطه می نماید. براساس ساختار فازهای سخت و توزیع آنها، یوتکتیک ممکن است یوتکتیک لایه ای (Lamellar) یا اسکلتی (Skeletal) باشد. برای آلیاژهای مورد استفاده در تحقیق انجام شده توسط برنز و فیشر (۵) سختی اندازه گیری شده برای یوتکتیک لایه ای در انجماد هیپویوتکتیک (شکل ۱-الف) ۹۰۰ ویکرز و برای یوتکتیک لایه ای در انجماد یوتکتیکی (شکل ۱-ب) ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ ویکرز بوده است. با مقادیر بیشتر کروم و بور، یوتکتیک اسکلتی (شکل ۱-ج) با سختی ۹۰۰ تا ۱۳۰۰ ویکرز، فضای بین فازهای سخت اولیه را پر می کند. یوتکتیک اسکلتی به شکل شبکه ای پیوسته از فازهای سخت M_3C است که دارای اجزای فلزی محصور می باشد.



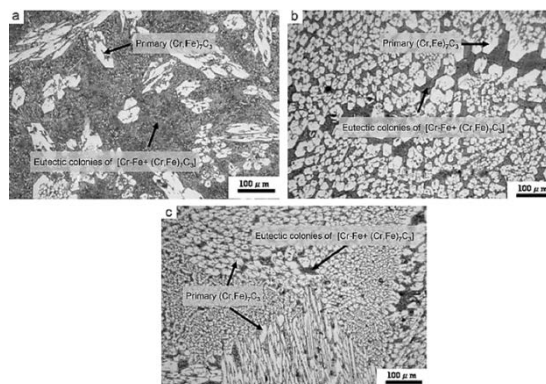
شکل ۱- یوتکتیک ها در آلیاژهای رویه سختی : الف - یوتکتیک لایه ای اطراف سلول های فلزی در آلیاژ Fe-4.2C-21.4Cr-6Nb در آلیاژ Fe-0.35C-2.41-B-11.7Cr-9.8Mn ج- فازهای سخت یوتکتیک اسکلتی در آلیاژ Fe-2.13C-1.83B-29.5Cr (۵)

افزایش کسر حجمی فازهای سخت کاربید کروم خواهند شد. چون کربن لازم برای تشکیل تک کاربیدهای نیویوم و خصوصاً تیتانیوم زیاد است پس از انجماد تک کاربیدهای اولیه ترکیب مذاب باقی مانده هیپووتکتیک می شود که در آن یوتکتیک عمدتاً ورقه ای، سلول های فلزی را احاطه می کند. در این حالت معمولاً زمینه فلزی آستنیتی خواهد بود.

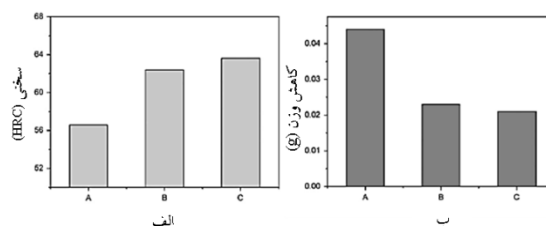
به جای استفاده از عناصر گران قیمتی مانند تیتانیوم و نیویوم می توان رفتار سایشی را با افزودن عنصر بور بهبود داد. بوراید کروم سخت تر نوع M_3B_2 یا بوراید آهن با سختی مشابه M_7C_3 عامل بهبود اقتصادی رفتار سایش ساینده خواهند بود.

آلیاژهای Fe-Cr-C-B با مقدار کم کروم طبق سیستم Fe-B-C منجمد شده و دارای فازهای سخت اولیه با مقادیر کم کربن، کروم و بور از نوع M_3C و $M_{23}B_6$ هستند که کسر حجمی آنها تا حدود ۹۰ درصد است. نمونه های دارای فازهای نوع M_3B و $M_{23}B_6$ نیز دارای یوتکتیک ورقه ای و زمینه فلزی آستنیتی-مارتنزیتی هستند. با توجه به مقایسه سختی و ریز سختی نمونه های بدون کروم و کم کروم در این گروه مشاهده می شود برای دستیابی به سختی مطلوب مقدار مشخصی کروم مورد نیاز خواهد بود.

در نمونه های پرکروم چون نصف جز فلزی کاربیدهای کروم M_7C_3 را آهن تشکیل می دهد، نمونه های پرکروم دارای کسر حجمی فازهای سخت اولیه تا ۶۰ درصد هستند. معمولاً فلز زمینه مارتنزیتی است و منگنز به دلیل توزیع یکسان در ساختار پایدار کننده قوی آستنیت نمی باشد.



شکل ۲- ریزساختار آلیاژهای رویه سختی با مقدار کربن متفاوت (نمونه A) 4.47wt% (نمونه B) 3.61 wt% (نمونه C) 5.21wt%



شکل ۳- مقایسه سختی و کاهش وزن برای آلیاژهای (نمونه A) 3.61 wt% (نمونه B) 4.47wt% (نمونه C) 5.21wt% (الف) افزایش سختی با افزایش مقدار کربن (ب) مقاومت به سایش بیشتر با افزایش مقدار کربن (ب)

عناصر آلیاژی

عناصر آلیاژی مانند تیتانیوم و نیویوم می توانند باعث افزایش کسر حجمی فازهای سخت کاربیدی در ساختار فلز جوش رویه سخت شده و زمینه فلزی را آستنیتی نمایند (۵). در آلیاژهای Ti-Cr-C-Nb/Ti (شکل ۱-الف) حین انجماد فلز جوش، ابتدا تک کاربیدهای تیتانیوم و یا نیویوم نوع MC از دمای حدود ۳۰۰۰ درجه سانتیگراد رسوب می کنند. پس از آن مذاب طبق سیستم Fe-Cr-C منجمد می شود. تک کاربیدهای اولیه نقش هسته را در تشکیل کاربید کروم نوع M_7C_3 در دمای حدود ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد داشته و در نتیجه باعث

محلول در زمینه با سطح کاربید تیتانیوم و تولید (Ti, Mo)_{1-x} ترشوندگی کاربیدها توسط زمینه را بهبود داده و موجب افزایش استحکام پیوند کاربیدها و زمینه می شود. این موضوع باعث سایش یکنواخت کاربیدها و زمینه و نیز جلوگیری از کنده شدن آنها از سطح می شود. ضریب اصطکاک نیز به دلیل سطح ساییده شده صاف و تغییر شکل پلاستیک کم، کاهش می یابد.

مقاومت به سایش

نقش ریزساختار در رفتار سایشی آلیاژهای رویه سخت مهم تر از مقدار سختی یا ریز سختی است چراکه ریز ساختار، تعیین کننده مکانیزم جداشدن مواد از آلیاژ رویه سختی است (۸). کسر حجمی کاربیدها یکی از مهمترین خواص ریزساختار در این مورد است.

افزایش کسر حجمی کاربیدهای M_7C_3 در شرایطی که مواد ساینده، نرم تر از کاربیدها باشند مقاومت عالی به سایش ساینده ایجاد می کند. اگر ذرات ساینده کوارتز یا گارنت باشد مقاومت به سایش ساینده چدن های پرکروم ۲۰ تا ۲۵ بهتر از فولاد ساده کربنی در سایش دوجزیبی و سه جزیبی است اما در صورتیکه ذرات ساینده آلومینا یا کاربید سیلیسیوم باشد این مقاومت کاهش می یابد (۴).

رفتار سایش رفتگی چدن های پرکروم کاملاً متفاوت با رفتار سایش ساینده آنها است. متغیرهای جریان سیال، خواص ذرات برخورد کننده و خواص ماده ای که در معرض سایش قرار دارد (ماده هدف) از عوامل موثر بر نرخ سایش رفتگی است. از خواص ماده هدف، میزان سختی، حساسیت نرخ کرنش، جهت گیری دانه ها، اندازه دانه ها و چقرمگی از موارد مهم می باشد (۸). زاپاته و راما رأ (۴) نرخ سایش رفتگی فولاد ساده کربنی و چند آلیاژ رویه سختی چدن پرکروم را توسط چهار

در سیستم Fe-Cr-C-B-Ti کاربیدها و بوراید تیتانیوم نوع MC و MB₂ دارای سختی زیادی هستند اما به دلیل مصرف زیاد عناصر غیرفلزی کربن و بور، زمینه دارای مارتنزیت با دمای تشکیل بالاتر و نرم تر خواهد بود.

جدول ۱- مشخصات فازهای سخت اولیه تشکیل شده در سیستم

آلیاژی (۵)

سیستم آلیاژی	فازهای سخت اولیه	CVF%	سختی
Fe-Cr-C-Nb/Ti	MC	۶-۴۱	۱۹۰۰-۳۰۰۰
	M_7C_3	۰-۲۸	۱۰۹۰-۱۶۵۰
Fe-C-B-Cr<15%	$M_{23}C_6$, M_3C , M_2B	۱۷-۸۵	۱۰۹۰-۱۷۴۰
Fe-C-B-Cr>20%	M_7C_3 , M_3B , M_3B_2	۲۷-۵۹	۱۱۹۰-۲۳۰۰
Fe-Cr-Ti-C-B	TiB_2 TiC	۲-۲۴	۲۳۰۰-۴۰۰۰

افزودن فرو مولیبدن در آلیاژ رویه سختی با ترکیب 12% Fe-V , 15% Fe-Ti , (0-5)% Fe-Mo باعث افزایش سختی، سایش یکنواخت در سطح، جداشدن کاربیدها از سطح، کاهش ضریب اصطکاک و نهایتاً افزایش مقاومت نسبت به سایش فلز به فلز خواهد یافت (۷). مولیبدن از طریق تشکیل رسوبات سخت M_2C و MC و تشکیل محلول جامد، استحکام و سختی زمینه را افزایش می دهد. همچنین کسر حجمی کاربیدها به دلیل توزیع گسترده کاربیدهای کمپلکس سخت و ریز تیتانیوم، وانادیوم و مولیبدن افزایش یافته و این موضوع در کنار استحکام زمینه باعث افزایش سختی لایه جوش می شود. در این ترکیب، ساختار زمینه، مارتنزیت بشقابی (Lath Martenite) با سختی و پلاستیسیته مناسب است و کاربیدهای کمپلکس مکعبی میله ای شکل (Rode-Type Complex Carbides) را به شکل موثری در خود نگه می دارد. واکنش مولیبدن

خراشان) ولی در برخورد با مواد سخت تر مانند آلومینا و سیلیکا و در زاویه عمود، اثر منفی بر مقاومت به سایش رفتگی خواهد داشت.

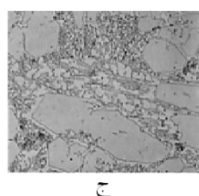
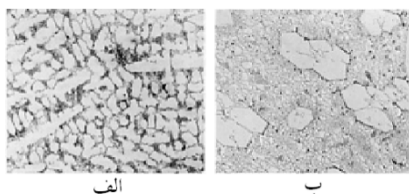
با افزایش شدت شرایط رفتگی نرخ رفتگی چدن های رویه سخت وابستگی بیشتری به سختی نسبی پیدا می کند و ممکن است نیاز به بررسی کاربرد آلیاژهای دیگر رویه سختی باشد. هانسن (۹) نرخ رفتگی تعداد زیادی از آلیاژهای فلزی را تحت ذرات آلومینا مطالعه نمود و مشاهده کرد نرخ رفتگی چدن با کروم ۲۵ درصد ۱,۲۵ برابر بیشتر از آلیاژ رویه سخت پایه کبالت درای کروم و تنگستن (Stellite 6B) در زاویه ۹۰ درجه است.

برای یک آلیاژ جوش رویه سخت رسوب فلز جوش به شدت تحت تاثیر فرایند و پارامترهای جوشکاری است. میزان رقت (Dilution) و درهم آمیختن لایه و زیر لایه، تغییر در ترکیب به دلیل افت عناصر شیمیایی در قوس الکتریکی و نرخ سرمایش رسوب از جمله عوامل مرتبط با این موضوع می باشد. در جوشکاری با سوخت گاز (OFW) و شعله احیایی، مقدار کربن در رسوب افزایش خواهد یافت. هنگام رویه سختی فولاد دارای کروم و مولیبدن با فرایند OFW، به دلیل نفوذ کربن در سطح، امکان کربوره شدن سطح و تشکیل لایه نازک یوتکتیک چدن (نقطه ذوب ۱۰۹۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد) وجود خواهد داشت که باعث سهولت جریان یافتن و اتصال بهتر رسوب به سطح می شود. در مقابل، جوشکاری قوسی باعث سوختن کربن، افزایش رقت و در نتیجه افزایش چقرمگی رسوب و مقاومت به سایش کمتر آن خواهد شد. شکل ۴ تاثیر میزان رقت را در جوشکاری GMAW نشان می دهد.

نوع ذره ساینده (آلومینا، سیلیکا، کلینکر سیمان و ذرات زیتتر کوره فولادسازی) بررسی نمودند. نتیجه این تحقیقات نشان می دهد افزایش سختی ذرات ساینده باعث افزایش نرخ رفتگی برای همه نمونه ها شده است ولی مقدار رفتگی در زوایای مختلف برخورد مواد ساینده متفاوت است. در فولاد ساده کربنی، برای انواع مواد ساینده بیشترین نرخ رفتگی در زاویه ۳۰ درجه و کمترین در زاویه ۹۰ درجه است درحالیکه بیشترین نرخ رفتگی برای آلیاژ رویه سختی توسط آلومینا و ذرات سیلیکا در زاویه ۹۰ درجه و توسط ذرات کلینکر سیمان در زاویه ۶۰ درجه اتفاق افتاده است و مواد رویه سختی دارای کمترین رفتگی در زاویه های کم (۱۵ درجه) هستند. این موضوع به دلیل امکان شکسته شدن کاربیدها در زوایای نزدیک به ۹۰ درجه توسط ذرات ساینده ای است که دارای مقدار سختی بیش از ذرات کاربید هستند. همچنین نرخ سایش با ذرات آلومینا در زاویه ۳۰ درجه ۱,۵ برابر بیشتر از نرخ سایش با ذرات سیلیکا در این زاویه گزارش شده است که این به دلیل لبه های تیزتر ذرات آلومینا است. به طور کلی در صورتیکه نسبت سختی ذرات ساینده به سختی منطقه برخورد (سختی نسبی) بیش از ۱,۲ برابر باشد ذرات ساینده قادر به ایجاد تغییر شکل پلاستیک، سایش در زمینه و یا شکستن کاربیدها خواهند بود. اگر سختی نسبی مساوی ۱,۲ شود نرخ رفتگی وابسته به سختی زمینه و در صورتیکه کمتر باشد (مانند ذرات کلینکر سیمان) نرخ رفتگی وابسته به سختی حجمی (Bulk Hardness) آلیاژ رویه سخت خواهد بود. بنابراین کسر حجمی زیاد کاربیدها در برخورد مواد ساینده نرم تر، مقاومت نسبت به سایش رفتگی را افزایش می دهد (شبه نقش کاربیدها در سایش

کاربرد

شکل ۵-الف نشان دهنده ساختار ترکیب هیپویوتکتیک الکتروود ER FeCr-A3 (جدول ۲) است که دارای دندریت های اولیه آستنیت و ساختار یوتکتیکی کاربید-آستنیت در زمینه می باشد. کاربرد این نوع آلیاژها، رویه سختی آلیاژهای منگنزدار آستنیتی در قطعاتی با شرایط کاری ضربه و سایش متوسط مانند پوسته پمپ می باشد.



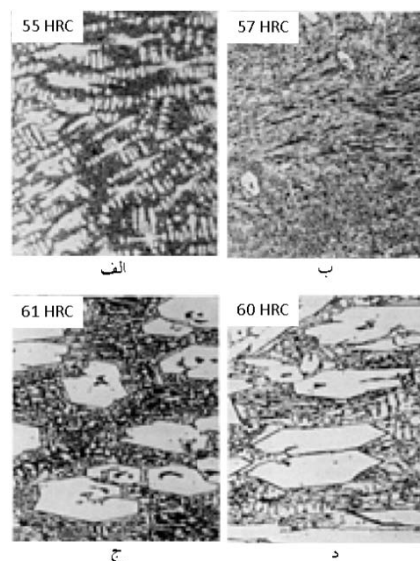
شکل ۵- ریزساختار آلیاژهای سایش خراشان فلز به خاک چدن سفید پرکروم جوشکاری شده. (الف) ER FeCr-A3 (ب) ER FeCr-A4 (ج) ER FeCr-A2 (بزرگنمایی ۳۰۰) (۲)

جدول ۲- ترکیب شیمیایی چدن های سفید پرکروم استفاده شده در سایش ساینده فلز به خاک (۲)

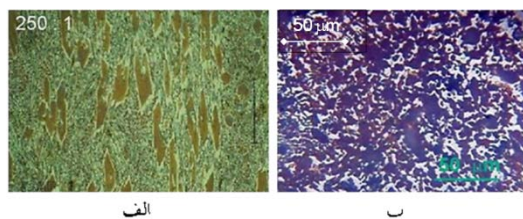
AWS	C	Cr	Si	Mn	Mo	Ni	B
ER FeCr-A3	2.6	11	1.3	1.8	1.5
ER FeCr-A4	3.5	29	1.1	0.9	...	2.6	0.7
ER FeCr-A2	4.3	28	0.8	1.7	1.4

شکل ۵-ب ساختار ترکیب یوتکتیک- هایپریوتکتیک الکتروود ER FeCr-A4 را نشان می دهد که دارای کاربیده های درشت اولیه از نوع M_7C_3 و مقدار کم کاربیده های نوع M_6C و M_3C می باشد. ساختار زمینه در این ترکیب آستنیتی بوده و در قطعاتی که تحت سایش شدید با ضربات کم مانند تیغه های بلدوزر و

رقت زیاد در لایه اول رویه سختی ممکن است باعث تشکیل ساختار هایپویوتکتیک و کاهش سختی شود (شکل ۶-الف و ۶-ب) ولی در لایه های بعدی و با دور شدن از فلز پایه تشکیل ساختار هایپریوتکتیک درشت دانه با کاربیده های اولیه M_7C_3 در زمینه یوتکتیکی مشاهده خواهد شد (شکل ۶-ج و ۶-د). همچنین کسر حجمی کاربیده ها در لایه دوم رسوب در مقایسه با لایه اول بیشتر است. پیشگرمایش نیز باعث افزایش کسر حجمی کاربیده های اولیه است اما این تاثیر اندک در شرایطی که ذرات ساینده، سخت تر از کاربیده ها هستند در ایجاد مقاومت به سایش نقش چندانی ندارد (۸).



شکل ۴- اثر رقت بر ریز ساختار و سختی لایه های جوشکاری شده با آلیاژ رویه سختی FE-28CR-4MO-0.4MN-4.6C در فرایند GMAW روی فولاد کربنی ساده. (الف) لایه اول دارای دندریت های فلزی و یوتکتیک بین دندریتی. (ب) لایه دوم نشان دهنده ساختار ریزدانه هایپویوتکتیک با سهم زیاد زمینه یوتکتیکی. (ج) لایه سوم نشان دهنده ساختار هایپریوتکتیک (د) لایه پنجم نشان دهنده ساختار شبیه هردولایه سوم و چهارم (۲)



شکل ۶- (الف) وجود کاربیدهای کروم ساده در Hardpalte
100 (ب) تراکم کاربیدهای کروم، مولیبدن و نیوبیوم در
Hardplate 600 (۱۰)

نتیجه گیری

با توجه مطالب مذکور در این مقاله موارد زیر در خصوص آلیاژهای چدن پرکروم در رویه سختی نتیجه می شود:

- ۱- نقش ریزساختار در رفتار سایشی آلیاژهای رویه سختی مهم تر از میزان سختی است.
- ۲- ریزساختار، دارای کاربیدها و یا بورایدهای فلزی از نوع M_aX_b و یا سلولهای فلزی است که در مراحل اولیه انجماد تشکیل شده و توسط شبکه پیوسته یوتکتیک احاطه شده است. مهم ترین فاز سخت تشکیل شده حین انجماد، کاربید کروم نوع M_7C_3 می باشد.
- ۳- افزایش کربن و عناصر آلیاژی باعث افزایش کسر حجمی ذرات سخت اولیه می شود.
- ۴- در سایش ساینده هرچه کسر حجمی کاربیدها بیشتر باشد مقاومت به سایش بیشتر خواهد بود ولی در سایش رفتگی کسر حجمی زیاد کاربیدها در برخورد با مواد سخت تر مضر خواهد بود.
- ۵- وابستگی نرخ رفتگی به زاویه برخورد ذرات ساینده کم است. بیشترین نرخ رفتگی در زاویه ۶۰ تا ۹۰ درجه و وابسته به نوع آلیاژ و خواص ذرات ساینده است.

برخی چکش های خردکن قراردادند استفاده می شود. شکل ۵-ج ساختار ترکیب هایپرئوتکتیک الکترو ER FeCr-A2 را نشان می دهد که دارای کاربیدهای اولیه شش وجهی از نوع M_7C_3 و مقدار کم کاربیدهای نوع M_6C با ساختار زمینه آستنیتی و احتمالاً مقادیری فریت یا مارتنزیت است. این نوع الکترو دارای مقاومت در برابر پوسته شدن تا دمای حدود ۶۵۰ درجه سانتیگراد بوده و در شرایط سایش خراشان شدید با ضربات کم یا بدون ضربه در تجهیزاتی مانند پمپ های شن و تجهیزات حمل کلینکراستفاده می شود.

شکل ۶-الف تصویر ریز ساختار یک آلیاژ رویه سخت را نشان می دهد که دارای سختی حدود ۶۰ راکول سی و کاربیدهای کروم از نوع M_7C_3 در زمینه آستنیتی است. از این نوع آلیاژ می توان در شرایط سایش خراشان و رفتگی تا دمای حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد در قطعاتی از قبیل مسیرهای انتقال مواد ساینده، همزن های بتن و قطعات تحت سایش کشاورزی استفاده نمود. شکل ۶-ب ریزساختار یک آلیاژ رویه سخت دیگر را نشان می دهد که دارای سختی حدود ۶۳ راکول سی و با تراکم زیاد کاربیدهای کروم، مولیبدن و نیوبیوم در زمینه آستنیتی است. از این آلیاژ در شرایط سایش خراشان و رفتگی همراه با ضربه تا دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد و در قطعاتی از قبیل سرندهای گرم و کوره های پخت استفاده می شود.

منابع

1. **American Welding Society.** *Standard Welding Terms and Definitions.* AWS A3.0M/A3.0: 2010.
2. **Davis, J.R. & Associates.** *ASM international ,welding brazing and soldering , ASM Handbook vol.6, pp.1967-2000.*
3. **American Welding Society.** Surfacing. *WELDING HANDBOOK, 8'th Ed. AWS WHB-4 part2.*
4. **Sapate, S.G. and Rama Rao, A.V.** Erosive wear behavior of weld hardfacing high chromium cast irons: effect of erodent particles, *Tribology International* 39 (2006) , pp.206–212.
5. **Berns, H. And Fischer, A.** microstructure of fe-cr-c hardfacing alloys with additions of Nb, Ti And, *Metallography* 20,(1987), pp.401-429 .
6. **Chia-Ming Chang et al.** Microstructural and abrasive characteristics of high carbon Fe–Cr–C hardfacing alloy, *Tribology International* 43,(2010),pp. 929–934.
7. **Wang, X.H. et. al .** Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of Fe-based hardfacing coatings, *Materials Science and Engineering A* 489 (2008), pp.193–200.
8. **Sapate, S.G. and Rama Rao, A.V.** *Effect of carbide volume fraction on erosive wear.* 2004. pp. 774–786.
9. **Hansen, J.S.** Relative erosion resistance of several materials; *WFASTM STP 664.* ASTM;1979. pp.148-62.
10. Product and Services. [Online] *Welding Alloys Group,* 2012. <http://www.welding-alloys.com>.