

مشخصه‌یابی فرسایش دوغابی پوشش استلایت ۶ بر فولاد های زنگ نزن AISI316 و AISI410 ایجاد شده به روش جوشکاری

محمد رجبی و سید بابک موسوی

گروه مواد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(دریافت مقاله: ۹۳/۰۷/۲۹ - پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۰۲)

چکیده

در این تحقیق، ریزساختار و مقاومت فرسایشی پوشش استلایت ۶ ایجاد شده به روش جوشکاری قوس با گاز محافظ و الکتروود تنگستنی (TIG) بر روی زیر لایه از جنس فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 316 و فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI 410 بررسی شد. از میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیزور EDS، برای مطالعه ریزساختار و مکانیزم‌های فرسایشی استفاده شد. همچنین برای شناسایی فازهای تشکیل شده در پوشش از تفرق اشعه ایکس استفاده گردید. نتایج نشان داد که ریزساختار پوشش شامل کاربیدهای احاطه شده در محلول جامد غنی از کبالت است. مقاومت فرسایشی بالاتری در نمونه های حاوی پوشش نسبت به فلزات پایه فولادی دیده شد. همچنین، تأثیر قابل توجه خوردگی در رفتار فرسایشی پوشش شناخته شد. در این حالت، مقاومت فرسایشی بالاتر پوشش برای زیرلایه AISI 316 بدلیل پاسخ بهتر آن نسبت به آسیب خوردنده بدست آمد. رفتار فرسایشی ترد برای پوشش استلایت بر روی هر دو زیر لایه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: استلایت ۶، فولاد زنگ نزن، فرسایش دوغابی و جوشکاری.

Slurry Erosion Characteristics of Stellite 6 on AISI 316 and AISI 420 Stainless Steels Formed by Welding

M. Rajabi and S. B. Mousavi

Department of Material Science and Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Babol Noshirvani University of Technology

(Received 21 October 2014, accepted 21 February 2015)

Abstract

In the present work, microstructure and slurry erosion properties of the stellite 6 cladding produced by TIG on AISI 316 and AISI 410 stainless steels was investigated. Optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS) were used to study the microstructure and erosion mechanisms. X-ray diffraction method was also employed to identify phases formed in the coating. The results showed that the microstructure of coating consisted of carbides embedded in a Co-rich solid solution. The higher erosion resistance was observed at coated samples compare to bare steels. Also, a marked corrosion influence was identified on erosion behavior of coating. In this case, the higher erosion resistance of coating was obtained for AISI 316 due to its better response to corrosive attack. A brittle mode of erosion behavior was observed for stellite coating.

Keywords: Stellite 6, Stainless Steel, Slurry Erosion, Welding.

E-mail of corresponding author: m.rajabi@nit.ac.ir

مقدمه

(ابعاد به میلیمتر) بعنوان فلز زیرلایه آماده سازی شدند. از آلیاژ استلایت ۶ بصورت سیم با قطر ۳ میلیمتر بعنوان پوشش استفاده گردید. ترکیب شیمیایی فولادهای زیر لایه و پوشش استلایت در جدول ۱ نشان داده شده است. قبل از ایجاد پوشش، فلزهای زیر لایه به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد در داخل کوره پیشگرم شدند و سپس پوشش با روش جوشکاری TIG ایجاد گردید. در جدول ۲، پارامترهای مربوط به فرآیند جوشکاری آورده شده است.

جدول ۱. ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن AISI316 و AISI 410 و پوشش استلایت (بر حسب درصد وزنی).

	Co	Cr	Si	W	Ni	Mo	Mn	C	Fe
AISI 316	-	۱۷/۷	۰/۵۶	-	۱۰/۰۳	۲/۱۷	۱/۵۰	۰/۰۳	Bal
AISI 410	-	۱۱/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۵۲	-	۰/۹۶	۰/۱	Bal
Stellite 6	Bal.	۲۸/۴۱	۱	۴/۲۶	۲/۴۲	-	۰/۴۶	۱/۲	۲/۹۸

جدول ۲. پارامترهای مربوط به فرآیند جوشکاری TIG.

۳	قطر الکتروود (میلیمتر)
مستقیم مثبت	نوع جریان
۲۰۰	میزان جریان (آمپر)
۱۰	نرخ گاز آرگون (لیتر بر دقیقه)

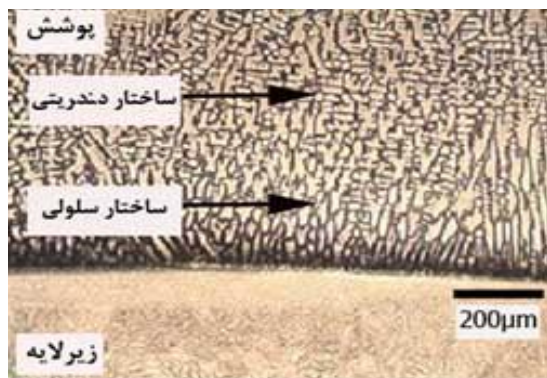
جهت مطالعات ریزساختاری، مقاطع عرضی از نمونه های حاوی پوشش تهیه شدند و پس از آماده سازی توسط روش های متعارف متالوگرافی، مورد بررسی قرار گرفتند. جهت مقایسه یک نمونه بدون پوشش هم از هر یک از فولادهای زیرلایه آماده سازی شد. مطالعات ریزساختاری با استفاده از میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) همراه با آنالیزور EDS و تفرق اشعه X انجام شد. برای تعیین پروفیل سختی، آزمون سختی سنجی میکرو با نیروی ۱۰۰ گرم بر روی مقاطع عرضی انجام شد. آزمون فرسایش مطابق با استاندارد ASTM G73 و به روش دوغابی انجام گردید. دوغاب مورد

فرسایش دوغابی بعلت تاثیر متغیرهای مختلف شامل پارامترهای مربوط به ماده هدف، فرآیند و محیط یک پدیده پیچیده بحساب می آید [۱]. یکی از تکنیک های بهبود مقاومت فرسایشی، ایجاد پوشش بر روی زیرلایه فلزی است. سوپر آلیاژهای پایه کبالت از جمله استلایت ۶، بدلیل سختی و مقاومت خوردگی، بعنوان پوشش در محیط هایی با خوردگی و سایش بالا مورد توجه قرار گرفته اند [۲ و ۳]. تشکیل کاربیدها در زمینه همراه با سخت شدن توسط تشکیل محلول جامد دو مکانیزم اصلی افزایش مقاومت فرسایشی این آلیاژها شناخته می شود [۴]. تاکنون، فعالیت هایی براساس لایه نشانی پوشش سخت بر روی زیرلایه های فولادی با استفاده از تکنیک های مختلف از جمله جوشکاری قوس با گاز محافظ و الکتروود تنگستنی (TIG) و جوشکاری با لیزر انجام شده است [۳-۶]. بعنوان مثال، قلی پور و همکارانش [۶] با ایجاد پوشش استلایت بر روی فولاد زنگ نزن 17-4PH به روش TIG، ریزساختار و مقاومت سایشی پوشش را بررسی کردند و برای بهبود مقاومت سایشی، استفاده از لایه میانی بین پوشش و فلز زیرلایه را پیشنهاد دادند. یو و همکارانش [۷]، با ایجاد پوشش استلایت ۶ بر روی زیرلایه SUS 403 به دو روش TIG و جوشکاری لیزر، ریزساختار، توزیع عناصر آلیاژی، سختی و مقاومت سایشی پوشش را با هم مقایسه کردند. در این تحقیق، پوشش استلایت ۶ بر روی دو نوع زیرلایه متفاوت (فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 316 و فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI 410) با روش TIG ایجاد شد و ریزساختار، توزیع عناصر آلیاژی، سختی، مقاومت فرسایشی و اثر محیط خورنده بر فرسایش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

روش تحقیق

ورق های فولادی از جنس فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI 316 و مارتنزیتی AISI 410 با ابعاد ۳۰۰*۲۰۰*۱۸

محدودیت در میزان بزرگنمایی میکروسکوپ نوری ارتباط داده شود. در شکل ۲، تصویر میکروسکوپ الکترونی پوشش نشان داده شده است. زمینه غنی از کبالت همراه با ذرات کاربیدی در مرزها دیده می شوند. بر اساس دیاگرام فاز استلایت [۸]، اولین مرحله انجماد با تشکیل محلول جامد کبالت با ساختار سلولی و یا دندریتی صورت می پذیرد. در ادامه ترکیب شیمیایی مذاب واقع در فضای بین دندریت ها از کربن و کروم غنی شده و به ترکیب یوتکتیک با ساختار لایه ای نزدیک می شود و در نهایت، با انجماد همزمان محلول جامد یوتکتیکی و کاربیدهای یوتکتیکی، مذاب باقیمانده به جامد تبدیل می شود.



شکل ۱. تصویر میکروسکوپی فلز زیرلایه مارتنزیتی و پوشش.

استفاده حاوی آب به همراه ۱۰٪ حجمی ذرات کوآرتز با محدوده اندازه ۳۰۰-۲۰۰ میکرومتر بود. در جدول ۳، پارامترهای آزمون فرسایش آورده شده است. به منظور انجام تست نمونه هایی با ابعاد ۱۰*۱۰*۱۷ (ابعاد به میلیمتر) آماده سازی گردید و نتایج آزمون بر اساس کاهش وزن با استفاده از ترازویی با دقت ۴ رقم اعشار ثبت گردید. جهت بررسی اثر خوردگی، آزمون فرسایش توام با خوردگی نیز انجام شد. برای انجام این آزمون، از آب حاوی ۳/۵ درصد نمک طعام استفاده شد و سایر شرایط مشابه آزمون فرسایش انتخاب گردید. جهت بررسی اثر زاویه برخورد، آزمون فرسایش در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه انجام شد و میزان کاهش وزن در زوایای برخورد متفاوت مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت، از میکروسکوپ الکترونی روبشی برای تحلیل مکانیزم های فرسایش استفاده گردید.

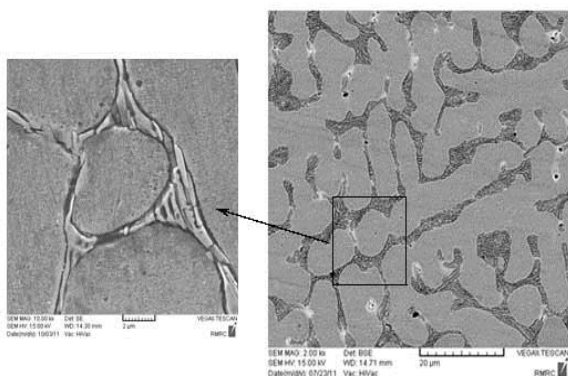
جدول ۳. شرایط آزمون فرسایش.

دما (°C)	سرعت برخورد (m/s)	زاویه برخورد (درجه)	فاصله نازل تا سطح (mm)	زمان برخورد (ساعت)
30±2	12	90	5	1

نتایج و بحث

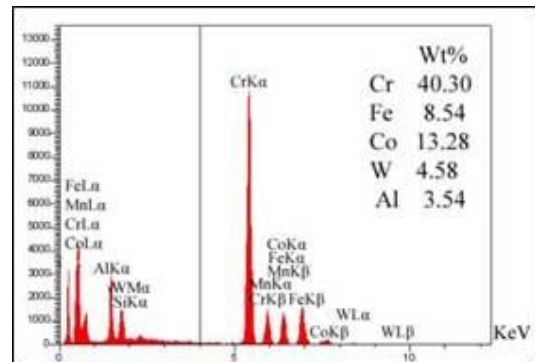
بررسی ریزساختار

در شکل ۱، تصویر میکروسکوپ نوری از ساختار میکروسکوپی فلز زیرلایه مارتنزیتی و پوشش استلایت نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، در فصل مشترک، ابتدا رشد سلولی انجام شده است و سپس، با افزایش فاصله از فصل مشترک، با تغییر نسبت گرادیان دمایی در فصل مشترک (G) و سرعت انجماد (R)، فوق تبرید ترکیبی افزایش یافته و رشد سلولی به رشد دندریتی تبدیل شده است. لازم به ذکر است که رشد صفحه ای در این تصویر دیده نمی شود که می تواند به وسعت کم آن و



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار پوشش استلایت.

به منظور تعیین ترکیب شیمیایی کاربیده‌های موجود در منطقه بین دندریته‌ها، از آنالیز EDS استفاده شد. در شکل ۳، نتایج آنالیز EDS از منطقه بین دندریته پوشش آورده شده است. با مشاهده مقدار نسبتاً قابل توجهی عنصر کروم در نتایج آنالیز، می‌توان نتیجه گرفت که عمده کاربیده‌ها از نوع کاربید کروم هستند. با توجه به استفاده از دو فلز زیرلایه با ترکیب شیمیایی متفاوت، توزیع عناصر نیکل، کبالت، آهن، کروم و منگنز در فلز زیرلایه و پوشش با استفاده از آنالیز خطی بررسی گردید.

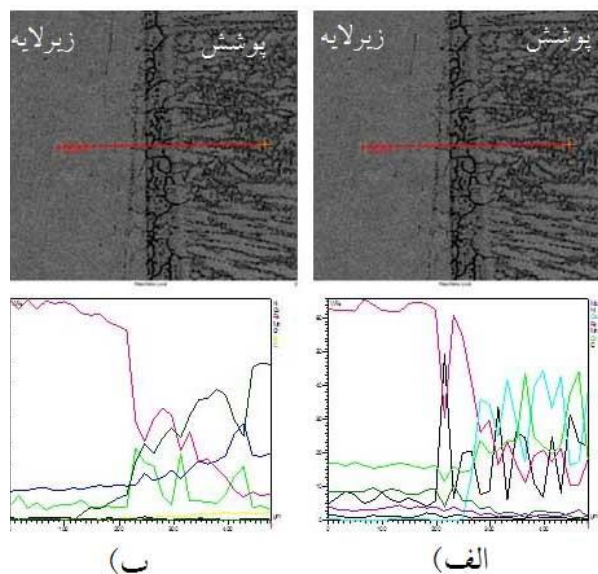


شکل ۳. نتایج آنالیز EDS از منطقه بین دندریته‌ها.

در شکل ۴، توزیع عناصر مذکور برای زیرلایه‌های آستنیتی و مارتنزیتی آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در هر دو زیر لایه، با حرکت از فصل مشترک به سمت پوشش، غلظت عناصر کروم و کبالت افزایش و غلظت آهن کاهش یافته است. همچنین باید توجه کرد میزان آهن در پوشش برای هر دو زیر لایه افزایش یافته است. بر اساس منابع، افزایش آهن در پوشش انرژی مربوط به نقص چیده شدن را در شبکه کبالت افزایش می‌دهد و منجر به کاهش سختی، مقاومت خوردگی و همچنین مقاومت سایشی پوشش می‌گردد [۶].

همچنین در تصاویر میکروسکوپ الکترونی فصل مشترک پوشش زیر لایه (شکل ۴) می‌توان مشاهده کرد که در هر دو نمونه مورد بررسی، مرز دانه‌ها از مرزهای فلز پایه شکل گرفته و در جهت عمود بر فصل مشترک در حوضچه جوش رشد نموده‌اند، لذا می‌توان نتیجه گرفت مرز نوع ۱ (رشد هم بافته^۱) تشکیل شده است. نتایج مشابهی از رشد هم بافته پوشش استلایت بر روی فولاد زنگ نزن PH 17-4 گزارش شده است [۶]. در شکل ۵ نتایج آزمایش تفرق اشعه ایکس از سطح پوشش استلایت برای دو زیرلایه آستنیتی و مارتنزیتی نشان داده شده است. در هر دو نمونه مورد بررسی، فاز اصلی تشکیل دهنده پوشش، کبالت با شبکه مکعبی با وجوه مرکزدار (FCC) است و فازهای نیمه پایدار از قبیل Cr_7C_3 و $M_{23}C_6$ هم در نتایج آزمون قابل مشاهده هستند.

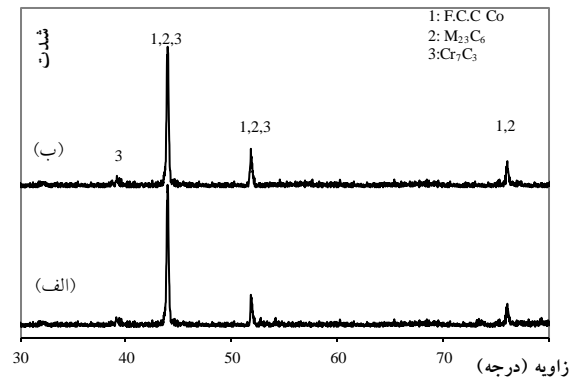
در شکل ۶، نتایج سختی سنجی میکرو بر حسب فاصله از سطح پوشش نشان داده شده است. در هر دو نمونه، سختی پوشش از فلز پایه بالاتر است. همچنین سختی از فصل مشترک به سمت پوشش افزایش می‌یابد. همانگونه که نتایج آنالیز خطی نشان داد، میزان آهن در مجاورت فصل مشترک افزایش یافته است.



شکل ۴. توزیع عناصر نیکل، کبالت، آهن، کروم و منگنز در پوشش و زیر لایه: الف) آستنیتی و ب) مارتنزیتی.

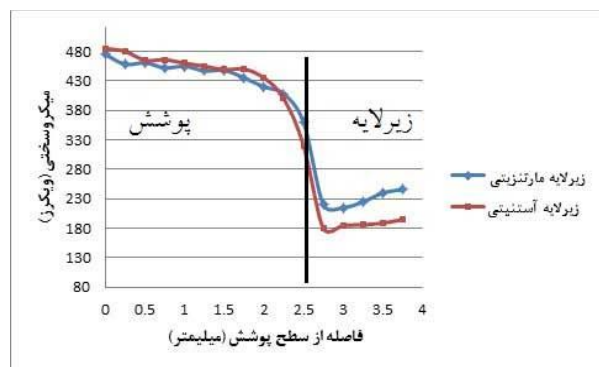
¹ Epitaxial Growth

شده است. همان گونه که مشاهده می شود در هر دو نمونه مورد بررسی، ایجاد پوشش استلایت موجب افزایش مقاومت فرسایشی نسبت به فلز زیرلایه شده است. این اثر را می توان به حضور فازهای کاربیدی سخت در زمینه همراه با اتصال متالورژیکی مناسب پوشش و فلز زیرلایه نسبت داد. با مقایسه نتایج آزمون های فرسایش و فرسایش توام با خوردگی، می توان نتیجه گرفت که نقش محیط خوردنده در افزایش نرخ فرسایش در تمامی نمونه های مورد بررسی قابل توجه است. اگرچه فولاد زنگ نزن مارتنزیتی نسبت به فولاد زنگ نزن آستنیتی بدلیل سختی بالاتر، در مقابل فرسایش مقاومتر است، اما در شرایط فرسایش توام با خوردگی، بدلیل مقاومت ذاتی خوردگی بالاتر فولاد زنگ نزن آستنیتی، میزان فرسایش زیرلایه مارتنزیتی بیشتر است. این نتایج با گزارشات لوپز و همکارانش [9] هم مطابقت دارد. آن ها نشان دادند فولاد زنگ نزن AISI304 نسبت به فولاد زنگ نزن AISI420 در مقابل خوردگی - سایش مقاومتر است و نتیجه گرفتند مقاومت ذاتی خوردگی نسبت به سختی، در بررسی رفتار خوردگی - سایش نقش مهمتری دارد. مقایسه میزان فرسایش پوشش بر روی دو زیرلایه نشان می دهد که پوشش استلایت ایجاد شده بر روی فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316 نسبت به فولاد زنگ نزن مارتنزیتی AISI410 از مقاومت بالاتری در برابر فرسایش و فرسایش توام با خوردگی برخوردار بوده است. این مساله می تواند به توزیع عناصر آلیاژی در پوشش ارتباط داده شود. با توجه به حضور مقدار بیشتر عنصر کروم در پوشش ایجاد شده بر روی زیرلایه آستنیتی، می توان انتظار داشت که کاربید کروم بیشتری در پوشش مذکور تشکیل شود. در عین حال، از آنجا که میزان آهن در فولاد مارتنزیتی بیشتر از فولاد آستنیتی است، مقدار آهن پوشش در زیرلایه مارتنزیتی بیشتر است. بنابراین می توان انتظار داشت که مقاومت فرسایشی پوشش ایجاد شده بر روی زیرلایه مارتنزیتی پایتتر باشد. در شکل 8، تصاویر



شکل 5. تفرق اشعه ایکس از سطح پوشش استلایت، الف) زیرلایه آستنیتی، ب) زیرلایه مارتنزیتی.

با افزایش آهن، میزان کروم و کبالت کاهش می یابند، بنابراین می توان انتظار داشت میزان کاربیدهای کروم و همچنین سختی محلول جامد کاهش یابد [6]. بعبارت دیگر، با افزایش میزان آهن در فصل مشترک، سختی کاهش می یابد. علاوه بر این، از آنجا که دانه ها در سطح در مقایسه با فصل مشترک ظریفتر هستند، می توان انتظار داشت سختی سطح بالاتر باشد. از آنجا که فصل مشترک زیرلایه - پوشش در حین جوشکاری در معرض دمای بیشتری قرار دارد، لذا سرعت سرد شدن آن آهسته تر بوده و شرایط رشد دانه از سطح مهیاتر است [6].

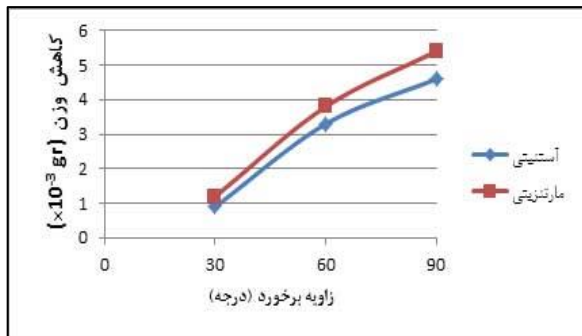


شکل 6. نمودار میکرو سختی بر حسب فاصله از سطح به سمت فلز پایه.

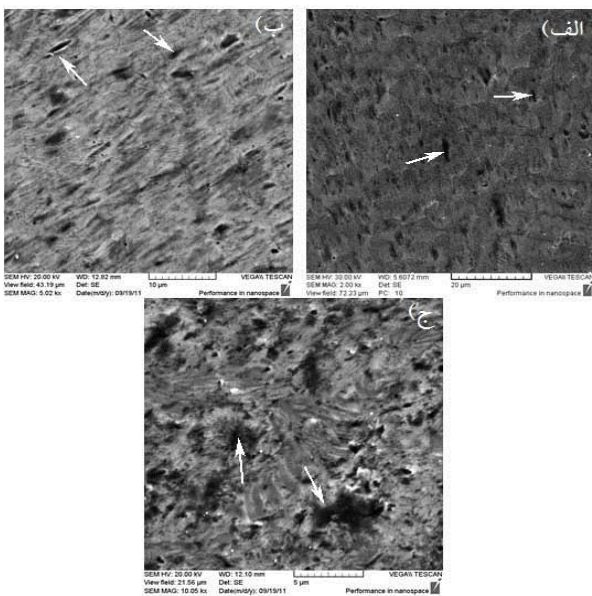
آزمون فرسایش و فرسایش توام با خوردگی

نتایج حاصل از آزمون فرسایش و فرسایش توام با خوردگی به صورت کاهش وزن در شکل 7 نشان داده

نرخ فرسایش در زاویه ۹۰ درجه دیده می شود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که رفتار پوشش استلایت با تئوری فرسایش مواد ترد مطابقت دارد [۵].



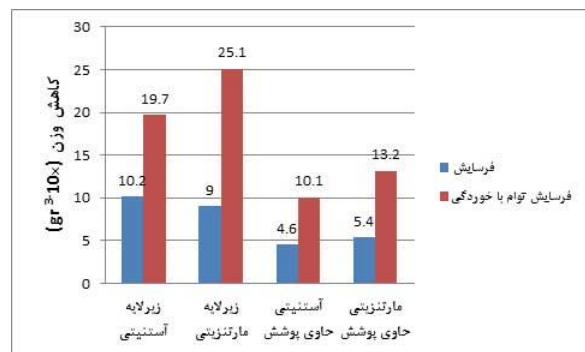
شکل ۹. نتایج آزمون فرسایش پوشش استلایت در زوایای برخورد متفاوت.



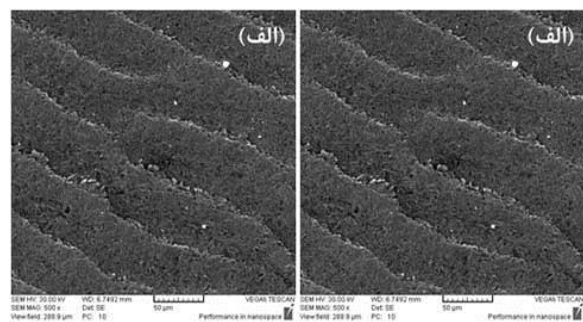
شکل ۱۰. تصویر میکروسکوپ الکترونی از فرسایش پوشش استلایت در زوایای برخورد: الف) ۳۰ درجه، ب) ۶۰ درجه، ج) ۹۰ درجه.

در شکل ۱۰، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از فرسایش سطح پوشش برای زوایای برخورد ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه نشان داده شده است. در زوایای برخورد پایین، در اثر برخورد ذرات ساینده با سطح، تراشه^۱ بوجود می آید که نتیجه آن تشکیل لبه ای با تغییر فرم پلاستیک است و در

میکروسکوپ الکترونی از فرسایش زیرلایه آستنیتی و مارتنزیتی نشان داده شده است. در هر دو سطح، تغییر شکل پلاستیک بصورت خطوط موازی دیده می شود که می توان نتیجه گرفت که فولاد مارتنزیتی با وجود سختی بالاتر در مقایسه با فولاد آستنیتی، در مقابل فرسایش رفتار نرم را نشان می دهد. لویز و همکارانش [۹] با انجام آزمون خوردگی - سایش بر روی فولاد زنگ نزن AISI420 رفتار نرم را در مقابل سایش گزارش کردند. تصاویر مربوط به فرسایش پوشش در بخش بعدی آورده خواهد شد.



شکل ۷. نتایج آزمون فرسایش و فرسایش توام با خوردگی.



شکل ۸. تصویر میکروسکوپ الکترونی از فرسایش فلز زیر لایه:

الف) آستنیتی، ب) مارتنزیتی.

اثر زاویه برخورد و تعیین مکانیزم فرسایش پوشش

برای بررسی اثر زاویه برخورد، آزمون فرسایش در سه زاویه ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه بر روی پوشش استلایت انجام شد که نتایج آن در شکل ۹ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود در هر دو نمونه مورد بررسی، بیشترین

^۱ Chip

۲) نتایج میکروسختی نشان می‌دهد که در هر دو نمونه مورد بررسی، سختی از فصل مشترک به طرف سطح افزایش می‌یابد.

۳) ایجاد پوشش استلایت باعث بهبود قابل توجه مقاومت فرسایشی نسبت به فلز زیرلایه آستنیتی و مارتنزیتی می‌گردد.

۴) تاثیر محیط خوردنده در افزایش نرخ فرسایش در تمامی نمونه‌های مورد بررسی قابل توجه است. پوشش استلایت ایجاد شده بر روی فولاد آستنیتی نسبت به فولاد مارتنزیتی از مقاومت فرسایشی بالاتری برخوردار است که این مساله می‌تواند به توزیع عناصر آلیاژی موجود در پوشش ارتباط داده شود.

۵) بیشترین نرخ فرسایش پوشش در زاویه ۹۰ درجه دیده می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رفتار پوشش استلایت با تئوری فرسایش مواد ترد مطابقت دارد.

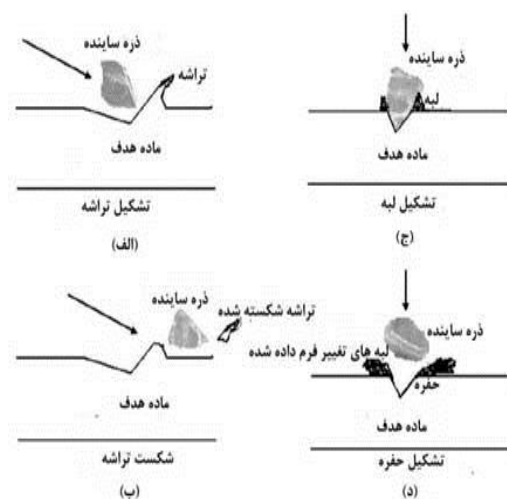
تشکر و قدردانی

در پایان از شرکت نفت مناطق مرکزی ایران بخاطر حمایت مالی پروژه تقدیر و تشکر می‌شود.

مراجع

1. C. S. Ramesh, R. Keshavamurthy, B. H. Channabasappa and S. Pramod, *Influence of heat treatment on slurry erosive wear resistance of Al6061 alloy*, *Materials and Design*, 30 (2009) 3713–3722.
2. M. Sebastiani, V. Mangione, D. De Felicis, E. Bemporad and F. Carassiti, *Wear mechanisms and in-service surface modifications of a Stellite 6B Co–Cr alloy*, *Wear*, 290-291 (2012) 10-17.
3. M. X. Yao, J. B. C Wu and Y. Xie, *Wear, corrosion and cracking resistance of some W- or Mo-containing Stellite hardfacing alloys*, *Materials Science and Engineering A*, 407 (2005) 234-244.
4. J. C. Shin, J. M. Doh, J. K. Yoon, D.Y. Lee and J.S. Kim, *Effect of molybdenum on the microstructure and wear resistance of cobalt-base satellite hardfacing alloys*,

ادامه، در اثر برخورد سایر ذرات ساینده، تراشه‌ها شکسته شده و از سطح جدا می‌شوند. در زاویه برخورد بالا، ابتدا در اثر برخورد ذرات ساینده لبه^۱ بوجود می‌آید و بدنبال آن با برخورد سایر ذرات ساینده، حفره^۲ شکل می‌گیرد. لبه تشکیل شده در سطح در اثر ضربات بعدی کشیده شده و در نتیجه حفره‌ها پهن‌تر شده و لبه‌های کشیده شده بصورت صفحه‌های کوچک از سطح حذف می‌شوند. شکل ۱۱، تصویری شماتیک از مراحل فرسایش در زوایای برخورد پایین و بالا نشان داده شده است.



شکل ۱۱. تصویری شماتیک از مکانیزم های حذف ماده در فرسایش پوشش: تشکیل و شکست تراشه در زوایای برخورد پایین ((الف) و (ب))، تشکیل لبه و حفره در زوایای برخورد بالا ((ج) و (د)) [۷].

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱) ریزساختار پوشش استلایت شامل زمینه محلول جامد غنی از کبالت همراه با کاربیدهای غنی از کروم در مرزها است.

¹ Lip

² Crater

- Surface and Coating Technology, 166 (2003) 117-126.
5. R. C. Shivamurthy, M. Kamaraj, R. Nagarajan, S.M. Shariff and G. Padmanabham, *Slurry erosion characteristics and erosive wear mechanisms of Co-based and Ni-based coatings formed by laser surface alloying*, Metallurgical and Materials Transactions A, 41A (2010) 470-486.
 6. A. Gholipour, M. Shamanian, and F. Ashrafizadeh, *Microstructure and wear behavior of satellite 6 cladding on 17-4PH stainless steel*, Journal of Alloys and Compounds, 509 (2011) 4905-4909.
 7. G. Xu, M. Kutsuna, Z. Liu and K. Yamada, *Comparison between diode laser and TIG cladding of Co-based alloys on the SUS403 stainless steel*, Surface & Coatings Technology, 201 (2006) 1138-1144.
 8. L. Fouilland, M. El Mansori and A. Massa, *Friction-induced work hardening of cobalt-base hardfacing deposits for hot forging tools*, Journal of Materials Processing Technology, 209 (2009) 3366-3373.
 9. D. Lopez, J. P. Congote, J. R. Cano, A. Toro and A. P. Tschiptschin, *Effect of particle velocity and impact angle on the corrosion-erosion of AISI 304 and AISI 420 stainless steel*, Wear, 259 (2005) 118-124.