Archive of SID

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

بهمن‌ماه ۱۳۹۴

انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

بررسی خواص سایش دما بالا پوشش نانوکامپوزیت الکترولس نیکل با نانو ذرات سیلیسیوم کاربید بر روی مس

پیمان صفارزاده[۱]، صادق میرزامحمدی[۲] ، حمید خرسند[۳]

[۱]. کارشناسی مهندسی مهندسی مواد دانشکده مهندسی وعلم مواد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[۲]. دانشجوی دکتری مهندسی مواد دانشکده مهندسی وعلم مواد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

[۳]. دانشیار دانشکده مهندسی و علم مواد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده

در این پژوهش، پوشش‌های الکترولس نیکل-فسفر[۲] و الکترولس نانو کامپوزیتی نیکل-فسفر-سیلیسیوم کاربید[۳] با افزودن غلظت‌های مختلف نانو ذرات سیلیسیوم کاربید به حمام آبکاری، بر روی مس ایجاد شد. با فعال سازی سطح مس، پوششی در حدود ۱۰۰ میکرون با چسبندگی و یکنواختی مناسب بر روی فلز پایه اعمال شد. بعد از عملیات حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت تحت خلأ، سختی و مقاومت به سایش نمونه‌ها در دمای بالا بررسی شدند. نتایج تست میکروسختی نشان داد که با افزودن نانو ذرات سیلیسیوم کاربید به پوشش، سختی در حدود ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج آزمون سایش در دمای ۵۰۰ درجه سانتی-گراد نشان دهنده افزایش ۶۵ درصدی مقاومت به سایش نمونه‌های کامپوزیتی نسبت به پوشش ساده الکترولس می‌باشد. به طوری که در نمونه‌های پوشش ساده الکترولس، وزن از دست رفته در حدود ۴/۸ میلی‌گرم گزارش شده است، ولی این عدد در نمونه‌های کامپوزیتی حدود ۱/۷ میلی‌گرم کاهش می‌یابد. در مجموع با بررسی‌های انجام شده، مقاومت به سایش پوشش کامپوزیت نیکل- سیلیسیوم کاربید در دمای بالا نسبت به پوشش نیکل الکترولس بهتر ارزیابی شد. و جایگزین خوبی برای بسیاری از پوشش‌ها در دمای بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الکترولس، نیکل-فسفر-نانو سیلیسیوم کاربید ، سایش دما بالا

[1].p.saffarzade@yahoo.com

[2].Ni-P

[3] .Ni-P-SiC

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تکنولوژی الکترولس در سال ۱۹۴۶ ابداع شد. از آن زمان تاکنون به دلیل خواص منحصر به فردی چون، مقاومت به خوردگی و سایش بالا، سختی زیاد، روانکاری، قابلیت لحیم کاری و یکنواختی پوشش روزبه روز بر کاربرد آن در صنایع گوناگون افزوده می‌شود و امروزه به یکی از مهم‌ترین پوشش‌های صنعتی بدل شده است[۱]. در میان پوشش‌های الکترولس، پوشش الکترولس نیکل-فسفر بدون شک پرکاربدترین نوع پوشش الکترولس می‌باشد که در صنایعی گوناگون استفاده می‌شوند .

از جمله صنایعی که از این پوشش استفاده می‌کنند، صنایع فولاد و ریخته گری می‌باشد. این صنایع به دلیل استفاده از قالب‌های مسی در خطوط ریخته گری پیوسته، پوشش‌های سختی بر روی این قالب‌ها ایجاد می‌کنند تا بتواند در دمای بالا سختی و مقاومت به سایش خود را حفظ کند. از جمله این پوشش‌ها، نیکل الکترولس می‌باشد.

میزان فسفر موجود در پوشش نقش مهمی داشته و در نوع ساختار و خواص آن مؤثر است[۲]. پوشش‌های با مقدار فسفر کم (۱تا۵درصد) ساختار میکروکریستالی، پوشش‌های با مقدار فسفر متوسط (۶ تا۹ درصد) مخلوطی از ساختار کریستالی و آمورف و پوشش‌های با مقدار فسفر بالا (۱۰ تا ۱۳ درصد) ساختار آمورف دارند. پوشش‌های دارای فسفر بالا مقاومت به خوردگی بهتری دارند اما سختی و مقاومت به سایش آن‌ها کمتر است[۳]. افزون بر اثر درصد فسفر بر روی خواص پوشش، پارامترهای زیادی همچون نوع محلول،دمای محلول، سیکل عملیات حرارتی بر روی پوشش و ضخامت پوشش بر روی خواص پوشش تأثیر دارند.

جدیدترین پوشش‌های نیکل الکترولس، پوشش‌های کامپوزیتی نیکل الکترولس می‌باشد. با رسوب دهی همزمان ذرات جامد (از قبیل زیرکونیا[۱] ، سیلیسیوم کاربید[۲] ،آلومینا[۳] و الماس) در زمینه پوشش نیکل الکترولس، پوشش‌های کامپوزیتی بر روی سطح ایجاد می‌شود که به شدت خواص پوشش را تحت تأثیر خود قرار داده و خواص آن را ارتقا می‌دهد. این پوشش‌ها در اثر قرار گرفتن دو یا چند فاز در کنار هم، مجموعه‌ای از خواص بدست می‌آید که حصول آن‌ها توسط تک تک اجزا امکان پذیر نیست[۴]. ذرات سخت سبب افزایش سختی و مقاومت به سایش پوشش می‌شوند که در میان آن‌ها سیلیسیوم کاربید به دلیل آنکه سختی و مقاومت به سایش را به طور چشم گیر افزایش می‌دهد و قابلیت انجام دارد، انتخاب شد[۵].

خواص نهایی پوشش‌های کامپوزیتی وابسته به خواص ذرات است که شامل نوع، شکل و سایز ذرات می‌شود. بیشتر مطالعات انجام شده روی این پوشش‌ها با کاربرد ذرات میکرونی بوده است. با این وجود به علت خواص منحصر به فرد نانوذرات، کاربرد این ذرات در پوشش‌های کامپوزیتی به تازگی مورد توجه قرار گرفته است.

هدف از انجام این پژوهش، ایجاد پوشش کامپوزیتی الکترولس نیکل-فسفر-سیلیسیوم کاربید بر روی مس و بررسی سختی و مقاومت به سایش در دمای بالا این پوشش و مقایسه آن با پوشش ساده نیکل-فسفر می‌باشد. در

---

1. ZrO_2
2. SiC
3. Al_2O_3

www.SID.ir

Archive of SID

نهایت معرفی این پوشش جدید به صنایع فولادسازی و ریخته گری، جهت جایگزینی با پوشش کروم سخت و پوشش ساده الکترولس نیکل در محیط‌های ساینده و خورنده می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

فلز پایه در نظر گرفته شده برای پوشش دهی، فلز مس است. فلز مس تهیه شده با خلوص ۹۹٪ در ابعاد ۳×۴ سانتی متر به عنوان فلز پایه قرار گرفت. برای مراحل آماده سازی سطح مس در ابتدا چربی گیری و سپس پولیش می شود. در مرحله بعد قطعه مسی به مدت ۵ دقیقه در محلول قلیایی سدیم هیدروکسید (با غلظت ۴۰ گرم بر لیتر) در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته و چربی گیری می‌شود. مرحله بعدی غوطه وری نمونه به مدت ۱ دقیقه در هیدروکلریک اسید ۱۰% جهت اکسیدزدایی سطح قرار می‌گیرد. سپس نمونه در استون غوطه ور شده و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار می‌گیرد. پس از تکمیل مراحل بالا بلافاصله فعال سازی سطح صورت گرفته و در محلول الکترولس قرار می‌گیرد.

از آنجا که فلز مس کاتالیتیکی ذاتی نیست، می‌بایست فعال سازی سطح بر روی آن انجام شود، تا بتوان بر روی آن پوشش نیکل انجام داد. در اینجا برای فعال سازی سطح از یک جریان کاتدی استفاده شد، بدین صورت که در همان محلول نیکل الکترولس با اعمال ولتاژ ۵ ولت و قرار دادن نیکل در موضع آند و قرار دادن مس در موقعیت کاتد به مدت ۱ دقیقه، لایه ای نازک از نیکل الکتریکی بر روی سطح می‌نشیند و با قطع جریان ادامه پوشش دهی به صورت الکترولس بر روی سطح رسوب می‌کند.

برای محلول آبکاری الکترولس از محلول تجاری[1] استفاده شد. در این فرآیند غلظت اسیدی محلول در حدود ۴/۵ تا ۴/۷ با آمونیاک خالص ۲۵٪و هیدروکلریک اسید ۱۰٪ تنظیم شد. محدوده دمای کاری محلول ۸۸ تا ۹۳ درجه سانتی گراد می‌باشد.

برای ایجاد پوشش از یک بشر ۲۵۰ میلی لیتری استفاده شد. پس از آن که محلول ساخته شد و به دما و pH مورد نظر رسید، محلول را در بشر ریخته و بر روی همزن مغناطیسی مجهز به هیتر قرار می‌دهیم. نمونه به مدت سه ساعت پوشش دهی الکترولس می‌شود. پس از پایان این مدت نمونه خارج کرده و با آب مقطر شست و شو می-شود.

برای ایجاد پوشش کامپوزیتی از نانوذرات سیلیسیوم کاربید با اندازه ۴۵ تا ۶۵ نانومتر با خلوص ۹۹/۵٪ استفاده شد. ذرات نانو در سه غلظت ۱، ۳ و ۵ گرم در پوشش استفاده شدند.

عملیات حرارتی نمونه‌ها در خلأ 10^{-1}میلی بار در کوره مادون قرمز انجام شد. نرخ حرارت دهی برای تمام نمونه‌ها برابر ۵۰ درجه سانتی گراد بر دقیقه تنظیم شد و نمونه‌ها در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱ ساعت قرار گرفتند.

[1] . SLOTONIP 70 A

www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی و مقایسه رفتار پوشش در دمای بالا تست سایش گرم در نظر گرفته شد. بدین صورت که آزمون در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد و با دقت اندازه گیری وزن ۰/۱ میلی گرم و محاسبه کاهش وزن و بدست آوردن ضریب اصطکاک انجام شد. علاوه بر بدست آوردن کاهش وزن و ضریب اصطکاک پوشش، ضریب سایش پوشش نیز از معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$K=Q*H/W \qquad (۱)$$

در اینجا K ضریب سایش، Q نرخ سایش، W نیرو برحسب نیوتن، H سختی جسم بر حسب ویکرز می‌باشد. بدیهی است هر چه ضریب سایش کمتر باشد، مقاومت به سایش جسم بهتر است.

نتایج و بحث

برای بررسی ویزگی های پوشش، در ابتدا میکروسختی پوشش اندازه گیری شد. در نمونه‌های پوشش الکترولس با اضافه کردن ذرات سخت، میکروسختی پوشش افزایش می‌یابد[۶]. از طرفی سختی ذرات به کار گرفته شده در نمونه‌های الکترولس، بر نرخ سایش این قطعات تأثیر مستقیم دارد. نتایج میکروسختی پوشش‌های کامپوزیتی و ساده در جدول ۱ بیان شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود، پوشش‌های کامپوزیتی سختی بیشتری نسبت به پوشش‌های ساده دارند، که این به خاطر آن است که ذرات سخت سیلیسیوم کاربید مانعی برای تغییر فرم پلاستیک هستند. به عبارت دیگر این ذرات سخت در زمینه پوشش نیکل-فسفر به عنوان مانعی برای حرکت نابجایی‌ها عمل می‌کنند و سختی پوشش را افزایش می‌دهند.

در این پژوهش مقاومت به سایش پوشش‌های کامپوزیتی نیکل-فسفر-سیلیسیوم کاربید ایجاد شده بر روی مس، در دمای بالا مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که برای پوشش ساده نیکل-فسفر به ازای ۱۰۰۰ متر مسافت طی شده پین در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد، وزن از دست رفته ۴/۸ میلی گرم می‌باشد. برای بررسی دقیق تر پارامتر ضریب سایش پوشش محاسبه شد. در اینجا ضریب سایش پوشش ۳/۹۸ بدست آمد. ضریب سایش پوشش نیکل الکترولس بین ۳ تا ۱۷ گزارش شده است[۷]. عدد ۳/۹۸ گزارش دهنده مقاومت به سایش مطلوبی برای این پوشش می‌باشد. برای پوشش نیکل واتس این عدد ۲۵ است، که گویای این مطلب است که پوشش الکترولس مقاومت به سایش بهتری نسبت به پوشش الکتریکی نیکل دارد. همچنین ضریب سایش برای پوشش کروم سخت ۲ گزارش شده است که این حکایت از مقاومت به سایش بهتر پوشش کروم سخت نسبت به نیکل الکترولس است[۷].

خروجی دیگر آزمون تست سایش، ضریب اصطکاک پوشش می‌باشد. همان طور که درنمودار شکل ۱ مشخص است ضریب اصطکاک پوشش حدود ۰/۲۵ می‌باشد. که این عدد گواه پوششی لغزان می‌باشد. نکته حائز اهمیت دیگر در این نمودار ضریب اصطکاک تقریباً یکسان در سرتاسر مسافت آزمایش می‌باشد که نشان دهنده آن است، پوشش به صورت کاملاً یکنواخت و متراکم آبکاری شده است. دلیل نوسان جزیی ضریب اصطکاک به

www.SID.ir

Archive of SID

خصوص در نقاط ابتدایی و انتهایی آزمون را می‌توان اینگونه ارزیابی کرد که در نقاط ابتدایی و انتهایی چسبندگی پین و دیسک زیاد است و علت دیگر نوسان جزیی ضریب اصطکاک در برخی نقاط آن است که ترک‌های ریزی در پوشش در آن نقاط وجود دارد.

نتایج بدست آمده برای پوشش کامپوزیتی با غلظت ۱ گرم بر لیتر سیلیسیوم کاربید نشان می‌دهد که وزن از دست رفته ۳ میلی گرم می‌باشد. همان طور که مشخص است وزن از دست رفته در این پوشش کمتر از پوشش ساده نیکل-فسفر می‌باشد، که حدود ۳۷٪ کاهش وزن نسبت به حالت قبل کمتر شده است. در اینجا ضریب سایش پوشش ۲/۷۹ بدست آمد. که این عدد نیز نشان دهنده آن است که مقاومت به سایش نمونه افزایش یافته است.

همان طور که در شکل ۲ مشخص است ضریب اصطکاک پوشش حدود ۰/۵ می‌باشد.که از پوشش قبل ضریب اصطکاک بیشتر است.

نتایج بدست آمده برای پوشش کامپوزیتی با غلظت ۳ گرم بر لیتر سیلیسیوم کاربید نشان می‌دهد که وزن از دست رفته ۲/۶ میلی گرم می‌باشد. همان طور که مشخص است وزن از دست رفته در این پوشش نسبت به دو پوشش قبل کمتر است. در اینجا ضریب سایش پوشش ۲/۵ بدست آمد. ضریب سایش نیز از هر دو نمونه قبلی کمتر بدست آمد که این گواه آن است که پوشش مقاومت به سایش بهتری دارد. همان طور که در شکل ۳ مشخص است مانند نمونه قبل ضریب اصطکاک پوشش حدود ۰/۵ می‌باشد.

نتایج بدست آمده برای پوشش کامپوزیتی با غلظت ۵ گرم بر لیتر سیلیسیوم کاربید نشان که وزن از دست رفته ۱/۷ میلی گرم می‌باشد. وزن از دست رفته در این نمونه از همه نمونه‌های دیگر کمتر است، این حاکی از آن است که بالاترین مقاومت به سایش را در بین نمونه‌ها دارد. برای بررسی دقیق تر پارامتر ضریب سایش پوشش محاسبه شد. در اینجا ضریب سایش پوشش ۱/۸ بدست آمد.

خروجی دیگر آزمون تست سایش، ضریب اصطکاک پوشش می‌باشد. . همان طور که در نمودار شکل۴ مشخص است مانند دو نمونه قبل ضریب اصطکاک پوشش حدود ۰/۵ می‌باشد.

در جدول ۲ وزن از دست رفته و ضریب سایش پوشش‌های مختلف بیان شده است.

همان طور که در جدول ۲ و شکل ۵ مشخص است، کاهش وزن پوشش‌های نیکل-فسفر-سیلیسیوم کاربید نسبت به پوشش نیکل-فسفر ساده در مسافت سایش مورد نظر کمتر شده است. همچنین در پوشش‌های کامپوزیتی نیز با افزایش غلظت سیلیسیوم کاربید کاهش وزن کمتر شده است.این بدین معناست که مقاومت به سایش نمونه‌ها با افزایش افزودنی نانو سیلیسیوم کاربید ، افزایش می‌یابد.

ضریب سایش پوشش ساده نیکل الکترولس کمتر از پوشش‌های کامپوزیتی می‌باشد، یعنی با افزودن سیلیسیوم کاربید مقاومت به سایش افزایش یافته است. این افزایش مقاومت به سایش را می‌توان به دلیل سختی بالای پوشش‌های نیکل-فسفر حاوی نانو ذرات سیلیسیوم کاربید و تنشی که نانو ذرات سیلیسیم کاربید به پوشش وارد می‌کنند و همچنین توزیع استحکام بین زمینه پوشش و نانو ذرات سیلیسیم کاربید و انتقال بار به نانو ذرات سیلیسیم کاربید که ممکن است حرکت نابجایی را به تأخیر بیاندازد و در نتیجه مانع تغییر فرم پلاستیک شود

www.SID.ir

Archive of SID

دانست. دلیل دیگری که می‌توان ارائه داد این است که سطح سایش پوشش مرکب شامل منگوله‌های خیلی سختی است که توسط سطح زیرین نیکل غیر الکتریکی از هم جدا شده‌اند. در خلال سایش، سطح ذرات است که درگیر می‌شوند و لغزش بالای زمینه پوشش انجام می‌گیرد. بنابراین مشخصات سایشی این پوشش‌ها تقریباً مشابه مواد ذرات است[۷].

نکته حائز اهمیت دیگری که در پوشش‌های کامپوزیتی سیلیسیوم کاربید وجود دارد که سبب سختی و مقاومت به سایش بالا پوشش می‌شوند، آن است که، سیلیسیوم کاربید موجود در پوشش وقتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد عملیات حرارتی می‌شود، علاوه برتشکیل برخی رسوبات مانند همه پوشش‌های نیکل الکترولس[1]، سیلیسیم موجود در سیلیسیوم کاربید با نیکل واکنش داده و امکان تشکیل ترکیب نیکل و سیلیسوم[2] وجود دارد. به عبارت دیگر در دمای بالا هنگام عملیات حرارتی سیلیسیوم کاربید با نیکل واکنش داده و احتمال تشکیل ترکیب نیکل سیلیسیوم[2] با کربن آزاد هست[۵]. و این سبب سختی و مقاومت به سایش بالای پوشش کامپوزیتی سیلیسیوم کاربید می‌شود. طوری که در مقایسه پوشش‌های کامپوزیتی سیلیسیوم کاربید بعد ازکامپوزیتی الماس دارای بیشترین سختی و مقاومت به سایش می‌باشد[۸]. وهر چه غلظت آن بیشتر شود، سختی نیز افزایش می‌یابد.

هر چه درصد فسفر این پوشش‌ها کمتر باشد نقطه ذوب پوشش بیشتر می‌شود و افت سختی آن در دمای بالا کمتر می‌شود.در تحقیقات صورت گرفته کاهش جرم پوشش نیکل الکترولس در تست سایش در دمای محیط ۴ میلی گرم می‌باشد، در حالی که کاهش وزن اندازه گیری شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد ۴/۸ میلی گرم می‌باشد، که این نشان از افت سختی کم پوشش در دمای بالا است. همچنین به دلیل انتقال حرارت بالای پوشش نیکل الکترولس، استفاده از این پوشش در دماهای بیش از ۲۰۰ درجه سانتی گراد توصیه می‌شود[۹و۷].

افزون بر اینکه پوشش‌های نیکل الکترولس در دمای بالا مناسب هستند، با اضافه کردن ذرات نانو و ایجاد پوشش کامپوزیت، افت سختی نمونه کاهش می‌یابد. در اینجا با ایجاد پوشش کامپوزیتی سیلیسیوم کاربید کاهش وزن پوشش به ۱/۷ میلی گرم کاهش می‌یابد. که نشان دهنده افزایش تقریباً ۶۵ درصدی در مقاومت به سایش پوشش نیکل–فسفر ساده در اثر افزودن نانو ذرات سیلیسیوم کاربید به حمام الکترولس می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱) با اضافه کردن نانو ذرات سیلیسیوم کاربید به پوشش با غلظت ۵ گرم بر لیتر، سختی پوشش از ۸۲۳ ویکرز به ۱۰۵۹ ویکرز ارتقا پیدا کرد. زیرا ذرات سیلیسیوم کاربید به عنوان مانعی برای حرکت نابجایی‌ها عمل می‌کنند و سختی پوشش را افزایش می‌دهند.

۲) سختی پوشش‌های کامپوزیتی رابطه مستقیم با غلظت سیلیسیوم کاربید اضافه شده به پوشش‌ها دارد، بدین معنا که با افزایش غلظت نانو سیلیسیوم کاربید سختی پوشش نیز افزایش می‌یابد

---

[1] . Ni_3P
[2] . Ni_3Si

www.SID.ir

Archive of SID

۳) در تست سایش گرم، مقدار کاهش وزن پوشش ساده ۴/۸ میلی گرم بدست آمد در حالی که این مقدار در پوشش کامپوزیتی به ۱/۷ میلی گرم کاهش یافت که نشان دهنده افزایش تقریباً ۶۵ درصدی در مقاومت به سایش پوشش نیکل-فسفر ساده در اثر افزودن نانو ذرات سیلیسیوم کاربید به حمام الکترولس می‌باشد. این افزایش مقاومت به سایش به دلیل سختی بالای پوشش‌های نیکل-فسفر حاوی نانو ذرات سیلیسیوم کاربید و تنشی که نانو ذرات سیلیسیم کاربید به پوشش وارد می‌کنند و همچنین توزیع استحکام بین زمینه پوشش و نانو ذرات سیلیسیم کاربید و انتقال بار به نانو ذرات سیلیسیم کاربید که ممکن است حرکت نابجایی را به تأخیر بیاندازد و در نتیجه مانع تغییر فرم پلاستیک شود توجیه کرد.

مراجع

1. Fields W.D. and the ASM committee on electroless nickel plating, ASTM handbook, 5, 219, 1990
2. Peeters P., Hoorn G.V.D., Daenen T, Kurowski A. and Staikov G., "Properties of electroless and electroplated", *Surface and Coatings Technology*, 202 , 2009, 97-103.
3. Taheri R., Oguocha I.N.A. and Yannacopoulos S., "The tribological characteristics of electroless NiP coatings", *Wear*, Vol. 249, 2001, 389-396,.
4. E.P.Munoz, P.Bercot, A.Grosjeam, M.Rezrazi, J.Pagetti. "Electrolytic and electroless coatings of Ni-PTFE composites study of some characteristices". *Surface and Coatings Technology* , 107, 1998,.85-93
5. Jiaqiang G, Lei L, Yating W, Bin S, Wenbin H. "Electroless Ni–P–SiC composite coatings with superfine particles". *Surface & Coatings Technology* , 58 , 2006, 36–42.
6. Sh.Zhang, K.Han, L.Cheng. "The effect of SiC particles added in electroless Ni-P plating solution on the properties of composite coatings". *Surface and Coatings Technology* , 202 , 2008, 2807-12.

۷. اسرافیل بشارت،مهندسی آبکاری فلزات، موسسه انتشارات طراح; ۱۳۸۰.

۸. آقاجانی خیاوی، آبکاری نیکل،موسسه زبان تصویر،۱۳۸۶.

9. Hitoshi Ogihara, Hui Wang, Tetsuo Saji "Electrodeposition of Ni–B/SiC composite films with high hardness and wear" *Applied Surface Science*, Volume 296, 30 March 2014, Pages 108-113

www.SID.ir

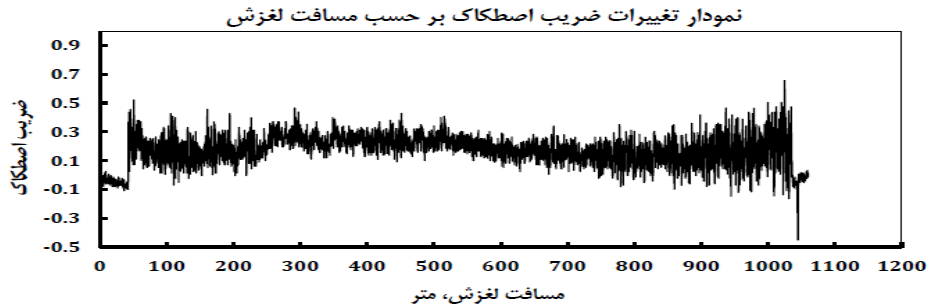
Archive of SID

جدول ۱:سختی انواع پوشش‌ها.

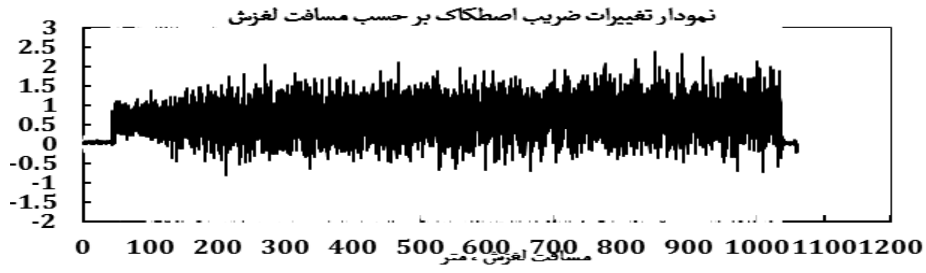
نوع پوشش	سختی(HV)
الکترولس ساده نیکل-فسفر	۸۲۳
الکترولس کامپوزیت ۱ گرم بر لیتر سیلیسیوم کاربید	۹۳۳
الکترولس کامپوزیت۳گرم بر لیتر سیلیسیوم کاربید	۹۶۲
الکترولس کامپوزیت۵ گرم بر لیتر سیلیسیوم کاربید	۱۰۵۹

جدول ۲: وزن از دست رفته و ضریب سایش پوشش‌ها در تست سایش گرم

نوع پوشش	وزن از دست رفته(mg)	ضریب سایش
پوشش ساده نیکل-فسفر	۴/۸	۳/۹۸
پوشش کامپوزیتیg/lit ۱ سیلیسیوم کاربید	۳	۲/۷۹
پوشش کامپوزیتیg/lit ۳ سیلیسیوم کاربید	۲/۶	۲/۵
پوشش کامپوزیتیg/lit۵ سیلیسیوم کاربید	۱/۷	۱/۸



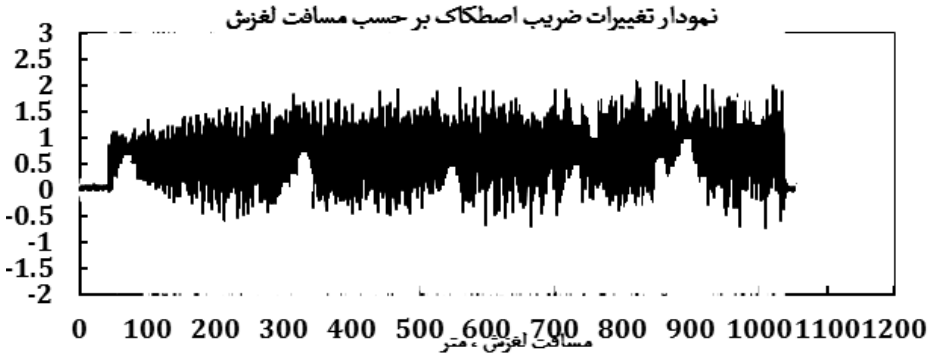
شکل۱: نمودار تغییرات ضریب اصطکاک پوشش ساده الکترولس نیکل بر حسب مسافت لغزش



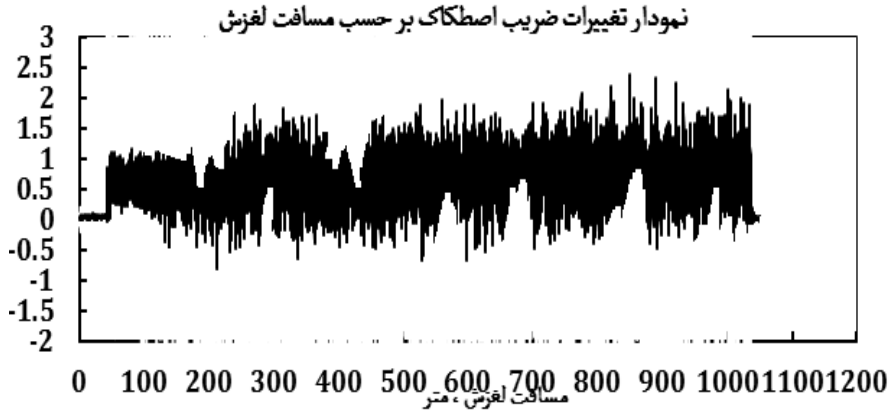
شکل ۲: نمودار تغییرات ضریب اصطکاک پوشش کامپوزیتی ۱ گرم بر لیتر بر حسب مسافت لغزش

www.SID.ir

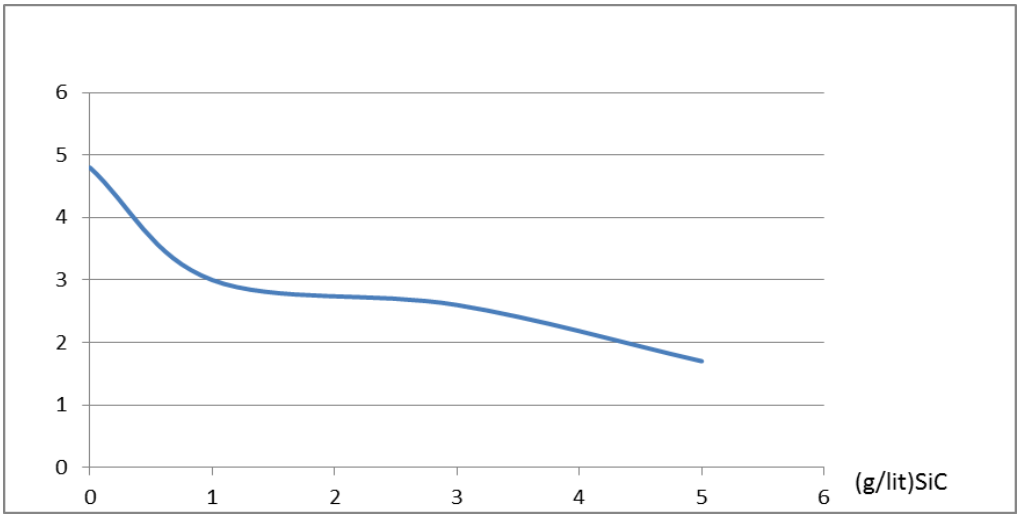
Archive of SID



شکل ۳ : نمودار تغییرات ضریب اصطکاک پوشش کامپوزیتی ۳ گرم بر لیتر بر حسب مسافت لغزش



شکل ۴ : نمودار تغییرات ضریب اصطکاک پوشش کامپوزیتی ۵ گرم بر لیتر بر حسب مسافت لغزش



شکل ۵ : منحنی تغییرات وزن پوشش نسبت به غلظت سیلیسیوم کاربید

www.SID.ir