ماەنامە علمى پژوھشى

مهندسی ساخت و تولید ایران www.smeir.org

تأثير نانوذرات SiO₂ و MoS₂ بر ريزساختار و مقاومت به سايش پوشش الكترولس نانوكامپوزيتی Ni-P-SiO₂-MoS₂

بهزاد رضایی¹، احسان کرمانی²، فرید بینیازان³، سعید اجلالی⁴، حمید سلیمانیمهر^{5*}

1- کارشناسیارشد، مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت، تهران

2- كارشناسىارشد، مهندسي مواد و متالورژي، دانشگاه آزاد اسلامي، واحد علوم و تحقيقات، تهران

3- كارشناسىارشد، مهندسى مكانيك، دانشگاه آزاد اسلامى، واحد علوم و تحقيقات، تهران

4- كارشناسى ارشد، مهندسى و علم مواد، دانشگاه صنعتى شريف، تهران

5- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

* تهران، صندوق پستی soleimanimehr@srbiau.ac.ir ،1477893855

| چکیدہ | اطلاعات مقاله |
|--|--|
| هدف از این تحقیق، تشکیل پوشش الکترولس نانوکامپوزیتی Ni-P-SiO ₂ -MoS ₂ و تأثیر نانوذرات SiO ₂ و MoS ₂ و ریزساختار و مقاومت به سایش پوشش میباشد. بدین منظور، ابتدا نمونههایی از ورق فولادیMO40 تهیه و آماده سازی شدند و در حمام پوشش دهی الکترولس نیکل-فسفر حاوی J g/l 5 ذرات تقویتکننده سیلیس و دی سولفیدمولیبدن در دمای 2°90 و مقدار pH /l4 به مدت 60 دقیقه | مقاله پژوهشی کامل دریافت: 18 بهمن 1398 داوری اولیه 11 خرداد 1399 پذیرش: 16 تیر 1399 |
| _ پوشش دهی شدند. سپس ازمون سایش پین روی صفحه مدور، برای ارزیابی مفاومت به سایش نمونههای پوشش دهی شده و بدون پوشش صورت پذیرفت. در انتها، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEN) و طیف سنجی پراش انرژی پرتوایکس (EDS) به تر تیب جهت بررسی ریزساختار پوشش و عناصر موجود در آن آماده و مشاهده شدند. نتایج ریزساختاری نشان دادند که پوشش یکنواختی از نانوکامپوزیت مورد نظر روی زیر لایه ایجاد شده است. همچنین نتایج آزمون سایش نشان داد که مکانیزمهای سایش خراشان و چسبان در نمونههای بدون پوشش فعال هستند اما با بهره گیری از نانوذرات SiO2 و MOS در پوشش مکانیزم لغزش فعال میشود و با کاهش ضریب اصطکاک، مقاومت به سایش به میزان 79/3 افزایش می بابد و منجر به بهبود رفتار تریبولوژیکی نمونه می شود. | كليدواژگان: پوشش الكترولس نانو كامپوزيت مقاومت به سايش ريزساختار |

Effect of SiO₂ and MoS₂ nanoparticles on microstructure and wear resistance of electroless nanocomposite Ni-P-SiO₂-MoS₂ coating

Behzad Rezaee¹, Ehsan Kermani², Farid Biniyazan³, Saeed Ejlali⁴, Hamid Soleimanimehr^{3*}

1- Department of Metallurgy and Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2- Department of Materials Engineering, Sciences and research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- Department of Mechanical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

* P.O.B. 1477893855, Tehran, Iran, soleimanimehr@srbiau.ac.ir

| Article Information | Abstract |
|--|---|
| Original Research Paper Received: 6 February 2020 First Decision: 31 May 2020 Accepted: 6 July 2020 | In this research, electroless nanocomposite coating of Ni-P-SiO ₂ -MoS ₂ and effect of SiO ₂ and MoS ₂ nanoparticles on microstructure and wear resistance of coating were investigated. First of all, samples from MO40 (AISI 4140) steel sheet were prepared and coated in Nickel-Phosphorous electroless bath containing 7 g/l SiO ₂ and MoS ₂ particles in 90°C and 6.4 pH for 60 minutes. Then, pin on disk wear test was performed to |
| Keywords: Electroless coating Nanocomposite Wear resistance Microstructure | evaluate the wear resistance of the coated and uncoated samples. Several experiments used to explore tribological features of deposited electroless coatings. Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) images were taken to investigate coating microstructure and its elements, respectively. Microstructural results showed that a uniform coating on substrate was successfully composed. Also, several mechanisms observed during the abrasion process. Abrasive and adhesive mechanisms were active in uncoated samples, but by applying SiO ₂ and MoS ₂ nanoparticles, the sliding mechanism was activated. Furthermore, with decreasing friction coefficient, wear resistance increased by 79.3% and also the tribological properties of the sample improved. |

قدیمی ترین آن ها پوشش کروم سخت می باشد؛ اما ریز ترک های تولید شده در طی آبکاری کروم، نداشتن استحکام خستگی مناسب و ترد و شکننده بودن آن، از نقاط ضعف این روش می باشند و طبق بررسی های به عمل آمده این روش سرطان زا نیز

برای افزایش مقاومت به سایش، سختی و خوردگی قطعات در صنایع مختلف مانند هوافضا، خودروسازی، پتروشیمی و غیره از روشهای مختلف پوشش دهی استفاده میشود که از جمله

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

1- مقدمه

B. Rezaee, E. Kermani, F.Biniyazan, S.Ejlali, H. Soleimanimehr, Effect of SiO₂ and MoS₂ nanoparticles on microstructure and wear resistance of electroless nanocomposite Ni-P-SiO₂-MoS₂ coating, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 7, No. 9, pp. 65-71, 2020 (in Persian)



مهندسی السیمی می مهندسی السیمی می ساخت و تولید ایران

جدول 1 قابل مشاهده است. نمونهها توسط سنبادههای 200 تا است [1، 2]. لذا برای بهبود این خواص و رفع معایب، همواره 2000 و ذرات ساينده آلومينا با ابعاد 0/3 ميكرومتر صيقل داده شدند. سپس توسط محلول قلیایی سود در دمای 70 تا 85 درجه سانتی گراد و به مدت 10 الی 15 دقیقه شستوشو و چربی گیری شدند و در انتها توسط محلول هیدروکلریک اسید در دمای محیط و به مدت 30 تا 45 ثانیه اکسیدزدایی و فعالسازی شدند. بعد ازاین مرحله، بلافاصله نمونهها به حمام پوششدهی که از قبل آماده شده بود، انتقال داده شدند. برای ايجاد پوشش، از حمام الكترولس نيكل-فسفر SLOTONIP70A و پودرهای SiO₂ و MoS₂ با غلظت 7g/l به ترتیب بهعنوان ذرات سخت و روان کار خشک استفاده شد. بهطوری که نمونههای مورد نظر در این حمام در دمای 90 درجه سانتی گراد و مقدار 6/4pH به مدت زمان 60 دقیقه غوطهور و سپس خارج شدند. مقدار یارامتر pH در طی انجام عملیات پوششدهی بهطور مرتب هر 10 دقیقه کنترل گردید. بدین صورت که جهت بالا بردن pH از سود یک مولار و جهت پایین آوردن آن از اسیدسولفوریک 10 درصد حجمي استفاده شد. تصويربرداري ميكروسكوپي الكتروني روبشی نشر میدانی¹ (FE-SEM) و طیفسنجی پراش انرژی پرتوایکس² (EDS) به ترتیب جهت بررسی ریزساختار و عناصر موجود در پوششهای ایجاد شده، انجام گرفت. در انتها، برای بررسی مقاومت به سایش نمونههای پوشش داده شده و بدون پوشش، آزمون سایش پین، روی صفحه مدور با شعاع پین 4 میلیمتر و با سرعت چرخشrpm 200 و نیروی 30 نیوتن تا 5000 سیکل روی نمونهها انجام شد و میزان مقاومت به سایش نمونهها با اندازهگیری وزن آنها با ترازوی دیجیتال با دقت چهار رقم اعشار، قبل و بعد از آزمون سایش محاسبه و تعیین شد. سطوح سایش نمونهها نیز توسط تصاویر FE-SEM مورد بررسی قرار گرفت.

| م دول 1 آنالیز شیمیایی فولاد MO40 |
|--|
| 6 (110040 |

| Table 1 The chemical composition of steel WO40 | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|-------|--|
| Element | Fe | С | Si | Mn | Cr | Mb | S | |
| Wt% | Base | 0/42 | 0/25 | 0/75 | 1/10 | 0/22 | 0/035 | |

3- نتايج و بحث 3-1- آناليز ذرات روان کار و تقويت کننده

بهمنظور ارزیابی ذرات مورد استفاده در ساخت پوشش MoS_2 و SiO₂ از ذرات FE-SEM نانوکامپوزیتی، تصاویر

پژوهشهایی در حال انجام هستند که یکی از مهمترین آنها يوشش الكترولس مي باشد. اين فرآيند جهت پاسخ گويي به نیازهای صنعت در سال 1946 توسط برنر و ریدل اختراع شد [3، 4]. در آبکاری الکترولس، با استفاده از یک حمام شیمیایی و بدون استفاده از جریان الکتریکی، توسط واکنشهای شیمیایی درون حمام، پوشش یکنواخت از فلز مورد نظر بر سطح قطعات ايجاد مي گردد. درميان انواع مختلف آبكاري الكترولس، الكترولس نيكل محبوبيت بسيار زيادى به دليل توانايي آن جهت ارائه یک سطح سخت و مقاوم در برابر سایش دارد [5، 6]. مطابق با مطالعات انجام شده این پوششها به طور کلی به سه گروه عمده پوششهای الکترولس نیکل خالص، آلیاژی و کامپوزیتی تقسیم میشوند که از میان آنها پوششهای کامپوزیتی از جمله روشهای مناسب صنعتی برای افزایش کارایی و خواص پوششهای الکترولس نیکل هستند [7- 9]. اما، با وجود گزارشات زیادی در مورد پوششهای الکترولس نیکل خالص و آلیاژی، تحقیقات بسیار کمی در ایجاد پوششهای کامپوزیتی و نانو كامپوزيتي نيكل صورت گرفته است تا بتوان اين پوششها را جایگزین روشهای قدیمی مورد استفاده در صنعت نمود. در پوششهای کامپوزیتی، ذرات جامد غوطهور شده در حمام الكترولس، با پوشش زمينه روى سطح قطعه همرسوب مىشوند. به طورىكه انواع ذرات سراميكي نظير اكسيدها، كاربيدها و تركيبات سخت مانند الماس در فرايند پوششدهي الكترولس نیکل به عنوان عاملی برای افزایش مقاومت به سایش و سختی شناخته شده اند. همچنین انواع ذرات نرم شامل PTFE و در ساختار کامپوزیتهای نیکل نقش روان کننده MoS_2 داشتهاند[10- 12]. بهبود ویژگیهای تریبولوژیکی و همچنین ارتقاء پارامتر مقاومت به سایش در این پوششها، میتواند کاربرد آنها را در شرایط عملیاتی پیچیدهتر میسر سازد و زمینهساز بهبود عملكرد پوشش شود. لذا هدف از این تحقیق، ایجاد و بررسی ریزساختار پوشش جدیدی از نانو کامپوزیت نیکل-فسفر با استفاده از هر دو عامل ذرات تقویت کننده و روان کار روی بستر فولادی به روش الکترولس میباشد. همچنین در ادامه به بررسی و مقایسه مقاومت به سایش نمونه پوششدهی شده با نمونه بدون پوشش پرداخته می شود.

2- مواد و روش تحقيق

در این پژوهش ابتدا نمونههایی از جنس ورق فولادی MO40 به ابعاد 3 cm³ ×1/5 ×1/5 تهیه شدند. آنالیز شیمیایی این فولاد در

¹ Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM)

² Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

مورداستفاده در این پژوهش تهیه شدند. این تصاویر در شکلهای 1- الف و ب به تصویر کشیده شدهاند. همان طور که مشخص است، ساختار ذرات روان کار MoS₂، ورقهای شکل¹ بوده و ضخامت صفحات نانومتری هستند. ذرات سخت SiO₂ نیز به صورت کلوخهای² بوده و ابعاد نانومتری دارند.

3-2- بررسی ریزساختار پوشش

تصاویر ریزساختاری از سطح نمونه بدون پوشش و همچنین نمونههای پوشش داده شده از جنس نانو کامپوزیت Ni-P-SiO₂-MoS₂ در شکل 2 به تصویر کشیده شده است. همان طور که در شکل 2- الف مشاهده می شود، سطح نمونه هموار بوده و برای فرآیند پوششدهی آماده میباشد. شکل 2-ب نشان مىدهد كه ريزساختار يوشش الكترولس Ni-P ايجاد شده بهصورت گنبدی شکل بوده و از کنار هم قرار گرفتن این گنبدیها ساختاری شبیه به ساختار گلکلم ایجاد شده است. اندازه گنبدیهای تشکیل شده به نرخ رسوب پوشش الکترولس Ni-P روی زیرلایه و همچنین مکانهای فعال جوانهزنی زیرلایه مربوط میباشد. هرچقدر نرخ رسوب گذاری لایه بیشتر باشد، اندازه ساختار گنبدی شکل، بزرگتر خواهد بود و هرچقدر مکانهای فعال جوانهزنی روی زیرلایه بیشتر باشد، جوانههای تشکیل شده افزایش می یابد و درنتیجه تعداد ساختارهای گنبدی شکل کاهش می یابد [8]. همچنین مطابق با مطالعات گذشته پوشش الكترولس Ni-P عمدتا از فاز نيكل أمورف تشكيل می شود و با عملیات حرارتی ثانویه می توان این فاز آمورف را به فاز کریستالی تبدیل نمود[6]. شکل 2- ج نیز سطح پوشش نانوكامپوزيتى Ni-P-SiO₂-MoS₂ محتوى 7g/l ذرات تقویت کننده را نشان میدهد.



Fig. 1 FE-SEM images of (a) MoS₂ and (b) SiO₂ nanoparticles. شكل1 تصاوير FE-SEM نانوذرات الف) MoS₂ (و ب

Fig. 2 FE-SEM images of samples surfaces microstructure for (a) Steel MO40, (b) Ni-P composite and (c) Ni-P- MoS₂- SiO₂ nanocomposite. شکل **2** تصاویر FE-SEM از ریزساختار سطح نمونههای الف) فولاد MO40، ب) کامپوزیت Ni-P- MoS₂- SiO₂.

بهمنظور بررسی دقیقتر اثر ذرات به کار گرفتهشده در پوشش، تصاویر میکروسکوپی الکترون ثانویه³ (SE) در بزرگنمایی بالاتر تهیه شد که نتایج آن در شکل 3 آورده شده است. شکل 3- الف ریزساختار سطح پوشش نانوکامپوزیت در بزرگنمایی ده هزار برابر را به تصویر کشیده است. به منظور بررسی دقیقتر سطح پوشش، تصویربرداری در بزرگنمایی هفتاد هزار برابر نیز صورت گرفته و نتایج حاصل در شکل 3- ب نشان داده شده است. پیکانهای نشان داده شده در شکل، ساختار ورقهای شکل MoS₂ و همچنین ذرات SiO₂ را به تصویر کشیدهاند. ساختار جزیرههای زیرلایه نیز بهخوبی تشکیل پوشش نیکل-فسفر را نشان میدهد. بهمنظور صحه گذاری بر فرآیند تشکیل پوشش و بررسی کیفیت پوشش، می توان توزیع ذرات نانو کامپوزیتی را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور سطح پوشش با تصویر الکترون برگشتی⁴ (BSE) در شکل 4 و همچنین نقشه توزیع عنصری از ناحیه مورد نظر با استفاده از طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS) در شکل 5 تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت.

¹ Plate-like ² Agglomerated

³ Secondary Electron

⁴ Backscattered Electron



Fig. 3 SE microscope images of Ni-P-MoS₂-SiO₂ nanocomposite coating surface in magnification of a) 10 kx and (b) 70 kx.
شكل 3 تصاوير ميكروسكوپى الكترونى ثانويه از سطح پوشش نانو كامپوزيت Ni-P- MoS₂-SiO₂



Fig. 4 BSE microscope image of Ni-P-MoS $_2$ -SiO $_2$ nanocomposite coating surface.

شکل 4 تصویر میکروسکوپی الکترون بر گشتی از سطح پوشش نانوکامپوزیت Ni-P- MoS2- SiO2.



 Fig. 5 EDS analysis of Ni-P-MoS2-SiO2 nanocomposite coating surface; (a) Ni, (b) P, (c) Si, (d) O, (e) Mo and (f) S.

 شكل 5 آناليز EDS از سطح پوشش نانو كامپوزيت Ni-P- MoS2- SiO2 از سولغور.

 الف) نيكل، ب) فسفر، ج) سيليسيوم، د) اكسيژن، ه) موليبدن و و) سولفور.

همانطور که مشخص است، ذرات سیلیس، Si و O با ابعاد نانومتری خود، توزیع خوبی در این تصویر از خود نشان دادهاند. همچنین شکلهای 5- ه و 5- و، توزیع عناصر MO و S را نشان میدهند که بیان گر حضور ساختارهای ورقهای شکل 2Mos در سراسر نمونه است. با توجه به توزیع عناصر Ni و P در سراسر سطح تصویربرداری شده، میتوان نتیجه گرفت ساختارهای الکترولس نیکل-فسفر روی زیرلایه و همچنین روی ذرات تقویت کننده/وان کار فرصت رسوب دهی داشته اند و پوشش یکنواختی حاصل نمودهاند. شکل 6، به خوبی تشکیل جزایر کوچک نیکل-فسفر را روی سطوح در دسترس یعنی زیرلایه و ذرات نشان می دهد.



Fig. 6 FE-SEM image of Ni-P composite surface microstructure. شكل**6** تصوير ساختار سطح كامپوزيت نيكل -فسفر.

3-3- بررسى مقاومت به سايش

مهمترین دلیل بهره گیری از پوششهای الکترولس نیکل-فسفر حاوی ذرات روانکار و ذرات سخت، بهبود مقاومت به سایش نمونه میباشد، بهنحویکه بتوان در فرآیند سایش و یا ضریب اصطکاک سطحی تغییراتی دید؛ لذا تصاویر میکروسکوپی آلکترونی در شکل 7 از سطح نمونههای بدون پوشش و پس از آزمون سایش تهیه شد. در شکل 7- الف آثار شیارهای موازی با خطوط سایش روی سطح نمونه مشهود است. میتوان بیان نمود مکانیزم سایش خراشان در این نمونه حاضر است. علاوهبر این نشانههایی از کندهشدنهای سطحی دیده میشود. به منظور مطالعه بیشتر و دقیقتر مکانیزمهای سایش فعال در این نمونه، شکلهای 7- ب و ج، سطح سایش این نمونه را از نزدیک به تصویر کشیده است که نشان از کندهشدنهای گسترده در سطح نمونه، در کنار منطقه تغییر شکل یافته، دارد. این مسئله، بیان گر

 Fig. 8 Wear surface of Ni-P-MoS₂-SiO₂ nanocomposite coated sample in magnification of (a) 55x, (b) 350x and (c) 1000x.

 Ni-P-MoS₂-SiO₂ مطح سایش نمونه حاوی پوشش نانو کامپوزیتی SiO₂-SiO₂ مطح سایش نمونه حاوی پوشش نانو کامپوزیتی 1000 برابر، ب) 350 برابر و ج) 1000 برابر.

فعال بودن مکانیزم سایش چسبان در این نمونه است. سطح، سختی کافی جهت مقابله با جسم فرورونده را نداشته و حرکت این جسم، منجر به کندهشدن فولاد بستر شده است. ذرات کندهشده ابعاد میکرومتری داشته و حرکت پین در حضور این ناخالصیها فرآیند تخریب سطح را تشدید نموده است.

شکل 8 سطح نمونهی پوشش داده شده را پس از آزمون سایش نشان می دهد. همان طور که مشخص است، فرآیند حرکت پین روی سطح تسهیل شده و نشانه های بسیار کمتری از فرورفتگی عمیق در سطح نمونه وجود دارد. کمتر شدن کندگیها و خراشیدگیها روی سطح پوشش حاکی از بهبود رفتار سایشی این نمونه است. منطبق بر آن چه مطرح گردید، ساختارهای ورقه ای شکل، پتانسیل کاهش ضریب اصطکاک را دارند که فرآیند حرکت پین را تسهیل می نمایند. هم چنین بهبود سختی سطح در اثر حضور پوشش نیکل - فسفر بوده و ذرات سخت، مقاومت سطح در برابر نفوذ پین را افزایش داده است.

شکل 9، صفحات ورقهای شکل MoS₂ را به تصویر کشیده است که تحت تأثیر تنش حاضر در فرآیند سایش، تغییر شکل پیدا کردهاند.





Fig. 7 Wear surface of uncoated sample in magnification of (a) 55x, (b) 350x and(c) 1000x.

شکل 7 سطح سایش نمونه بدون پوشش در بزر گنمایی الف) 55 برابر، ب) 350 برابر و ج) 1000 برابر.





Fig. 9 Structure of nanocomposite coating after wear test in magnification of (a) 4 kx, (b) 8 kx and (c) 20 kx.
شکل 9 ساختار پوشش نانوکامپوزیتی بعد از آزمون سایش در بزرگنمایی الف) 4 هزار برابر، ب) 8 هزار برابر و ج) 20 هزار برابر.

بهواسطه هندسه ذرات MoS₂ و سطح ذرات در دسترس

بالای آنها، این ساختارها تعامل بیشتری در فرآیند افزایش مقاومت به سایش دارند و به نظر میرسد مکانیزم لغزش، مکانیزمی غالب در بهبود مقاومت به سایش پوشش نانوکامپوزیتی است.

بهمنظور روشنتر شدن پدیده مقاومت به سایش و تعیین اهمیت نوع مکانیزم مقابله کننده با سایش، می بایست به نمودار تغییرات وزن مراجعه نمود. شکل 10 مقدار کاهش وزن نمونههایی که تحت آزمون سایش قرار گرفتهاند را با توجه به تعداد چرخه بارگذاری به تصویر کشیده است. تغییرات وزن در بازههای ۱۰۰۰ سیکل اندازه گیری شده و نمودار تغییرات وزن مربوط به هر نمونه درونیابی¹ شده است. شایان ذکر است، میانگین وزن نمونهها 25/0967 گرم محاسبه شد و نمونهها کمتر از 5 درصد اختلاف وزن داشتند تا وزن و ابعاد نمونهها در است، فولاد 4000 بدون پوشش، دچار سایش و کاهش وزن بسیار شدیدی به مقدار ۲۰/۰ گرم و نمونه دارای پوشش، به مقدار 25/000 گرم تغییرات وزنی از خود نشان داده است. لذا پوشش نانوکامپوزیتی به کاررفته، مقاومت به سایش را به میزان



Fig.10 Weight reduction amount of coated and uncoated samples vs. loading cycles.

شکل10 مقدار کاهش وزن نمونههای پوشش دهی شده و بدون پوشش برحسب تعداد چرخه بارگذاری.

4- نتيجەگىرى

- پوشش الکترولس نانو کامپوزیتی نیکل-فسفر محتوی ذرات سخت سیلیس و ذرات روانکار جامد دیسولفیدمولیبدن روی فولاد MO40 با چسبندگی مطلوب، بهصورت موفقیتآمیز اعمال گردید.

- پوشش الکترولس نیکل-فسفر، ساختاری یکنواخت

گنبدی شکل، با توزیع همگن عناصر از خود نشان داد. بهره گیری از ذرات تقویت کننده، ساختار پوشش را ریزتر نموده و مکانهای فعال جوانهزنی را افزایش داد. - مکانیزمهای سایش خراشان و چسبان بهطور فعال در

تخریب سطح نمونهها حضور داشتند. با این وجود شدت و ابعاد آثار خراش در سطح نمونه پوشش دهی شده نسبت به نمونه بدون پوشش بسیار کمتر بوده است. - پوشش اعمال شده مقدار مقاومت سایش فولاد MO40 را به میزان 79/3 افزایش داد.

5- مراجع

- Qin, W, "Microstructure and corrosion behavior of electroless Ni–P coatings on 6061 aluminum alloys." J. Coat Technol Res, 8(1) 135-139 (2011).
- [2] Liu, X, Wu, C, Wang, X, "Synthesis, characterization, and infrared-emissivity study of Ni–P–CB nanocomposite coatings by electroless process." J. Coat Technol Res, 7(5) 659-664 (2010).
- [3] Taha-Tijerina, J, Aviña-Camarena, K, Torres-Sánchez, R, Dominguez-Ríos, C, Maldonado-Cortes, D, "Tribological evaluation of electroless Ni–B coating on metal-working tool steel." Int. J. Adv Manuf Technol, 103(5-8) 1959-1964 (2019).
- [4] Banerjee, T, Sen, RS, Oraon, B, Majumdar, G, "Predicting electroless Ni–Co–P coating using response surface method. Int. J. Adv Manuf Technol, 64(9-12) 1729-1736 (2013).
- [5] E. Rudnik, K. Kokoszka, J. Łapsa, Comparative studies on the electroless deposition of Ni–P, Co–P and their composites with SiC particles, Surface and Coatings Technology, Vol. 202, No. 12, pp. 2584-2590, 2008.
- [6] P. Sahoo, S. K. Das. Tribology of electroless nickel coatings–A review", Materials & Design, Vol. 32, No. 4, pp. 1760-1775, 2011.
- [7] Carrillo, DF, Santa, AC, Valencia-Escobar, A, Zapata, A, Echeverría, F, Gómez, MA, Zuleta, AA, Castaño, JG, "Tribological behavior of electroless Ni–P/Ni–P–TiO2 coatings obtained on AZ91D magnesium alloy by a chromium-free process." Int. J. Adv Manuf Technol, 105(1-4) 1745-1756 (2019).
- [8] Ji, R, Liu, Y, Xu, C, Li, X, Cai, B, Zhang, Y, "Novel method for the hybrid composite electroplating of the upstream pumping mechanical seal." Int. J. Adv Manuf Technol, 89(5-8) 1875-1886 (2017).
- [9] Pillai, AM, Alevoor, R, Sharma, AK, "Electrodeposited nickel-phosphorous (Ni-P) alloy coating: An in-depth study of its preparation, properties, and structural transitions." J. Coat Technol Res, 9(6) 785-797 (2012).
- [10] Mohammadi, M, Ghorbani, M, Azizi, A, "Effect of specimen orientation and heat treatment on electroless Ni-PTFE-MoS2 composite coatings." J.

¹ Trending

بهزاد رضایی و همکاران

[12] Liu, YY, Yu, J, Huang, H, Xu, BH, Liu, XL, Gao, Y, Dong, XL, "Synthesis and tribological behavior of electroless Ni–P–WC nanocomposite coatings." Surf Coat Technol, 201(16-17) 7246-7251 (2007). Coat Technol Res, 7(6) 697-702 (2010).

[11] Palaniappa, M, Seshadri, SK, "Friction and wear behavior of electroless Ni–P and Ni–W–P alloy coatings." Wear, 265(5-6) 735-740 (2008).