Archive of SID

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

بهمن‌ماه ۱۳۹۴

انجمن علوم و تکنولوژی سطح ایران

# بررسی مقاومت به سایش پوشش های نانو کامپوزیتی $Ni\text{-}Al_2O_3$ ایجاد شده با آبکاری پالسی با استفاده از محلول واتس حاوی کربامید

صادق میرزامحمدی[۱]، حمید خرسند[۲]، محمود علی اف خضرایی[۳]

[۱]. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی دانشکده مهندسی وعلم مواد (دانشجوی دکتری مهندسی مواد)

[۲]. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (دانشیار دانشکده مهندسی و علم مواد)

[۳]. دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس (استادیار بخش مهندسی مواد)

**چکیده**

آبکاری الکتریکی پالسی کامپوزیتی یک روش منتخب برای ایجاد پوشش های کامپوزیتی نوین است که به وسیله آن می توان ذرات تقویت کننده فلزی، غیر فلزی یا پلیمری با اندازه نانو یا میکرو را در یک زمینه فلزی یا آلیاژی رسوب داد. افزودن یک محلول آلی به محلول واتس در آبکاری های کامپوزیتی یک روش نوین جهت افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا در پوشش می باشد. در این مقاله، در جهت افزایش درصد نانوذرات در پوشش کامپوزیتی $Ni\text{-}Al_2O_3$ ،کربامید به عنوان یک حلال آلی به صورت جزئی به محلول واتس اضافه شده است. آزمایش های ارزیابی مقاومت سایشی بر روی پوشش های آبکاری شده با استفاده از محلول واتس حاوی فرمالدهید و بدون فرمالدهید انجام شده است. تاثیر حضور کربامید در محلول آبکاری بر روی مقاومت سایش با توجه به اندازه گیری نرخ سایش و ضریب اصطکاک مورد بررسی قرار گرفته است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مسیر های سایش و براده های سایش حاصل شده در حین آزمایش نیز مطالعه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق افزایش قابل ملاحظه مقاومت سایشی در پوشش هایی که با استفاده از محلول واتس حاوی کربامید آبکاری شده بودند را نشان می دهد.

**واژه‌های کلیدی:** پوشش ؛ سایش؛ نانوکامپوزیت نیکل آلومینا ؛ کربامید.

[1]. S.mirzamohamadi@Yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID



**مقدمه**

روش آبکاری الکتریکی کامپوزیتی به عنوان یک روش با راندمان انرژی بالا، قیمت موثر بالا، قابلیت استفاده آسان برای قطعات بزرگ، کنترل پذیری مطلوب، سرعت پوشش دادن مناسب، ایجاد ساختارهای فشرده تر و ظرافت بیشتر شناسایی شده است [۱ و ۲]. دست یابی به این خصوصیات مطلوب باعث کاربرد وسیع پوشش های نانوکامپوزیتی پایه نیکلی بخصوص نیکل آلومینا در صنایع مختلف مثل ساخت ابزارهای برش و سایش، صنایع نظامی و... شده است. یک روش آسان و اقتصادی برای ایجاد این پوشش ها تولید آن ها بوسیله رسوب دهی هم زمان از محلول آبکاری فلزی حاوی نانوذرات پراکنده شده است. بسیاری از تخریب ها از جمله فرسایش، سایش و خوردگی در سطح اتفاق می افتد. بنابراین پوشش های آبکاری شده ای که خواص عالی داشته باشند می توانند عمر قطعاتی که در معرض سایش و خوردگی هستند را افزایش دهند [۳]. در طول چندسال اخیر تحقیقات بسیار زیادی بر روی پوشش های کامپوزیتی که با روش آبکاری الکتریکی ایجاد می شوند انجام شده است و این پوشش ها سهم به سزایی از کاربردهای مهندسی را به خود اختصاص داده اند [۴]. دلیل این امر دارا بودن خواص مطلوبی همچون مقاومت به سایش [۵]، سختی [۶]، مقاومت به خوردگی [۷]، مقاومت به اکسیداسیون [۸] می باشد.

بطور کلی، فرایند آبکاری همزمان حداقل شامل سه مرحله متوالی است: انتقال ذرات به سمت الکترود، جذب روی الکترود و دفن ذرات بوسیله رسوب فلزات. عمده انتقال ذرات بوسیله همرفت و نفوذ انجام می گیرد و بوسیله هیدرودینامیک حمام و شکل پیل الکتروشیمیایی قابل تنظیم است. جذب ذرات به الکترود اصولا بوسیله چندین نیرو کنترل می شود که این نیرو ها علاوه بر این که بین خود ذرات وجود دارند، بین ذرات و الکترود نیز حاکم هستند. اگرچه تابحال سیستم های آبکاری بسیار متعددی به صورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفته اند و مدل های بسیاری از مکانیزم ایجاد پوشش های آبکاری شده نانوکامپوزیتی توسعه یافته اند، اما هنوز درک وسیعی از فرایند آبکاری هم زمان نانوکامپوزیتی بدست نیامده است و جنبه های مختلف این فرایند برای بهبود خواص نهایی نیازمند توسعه و پژوهش است [۹].

متداول ترین حلال که برای کاربردهای آبکاری الکتریکی استفاده می شود آب است. اما آب می تواند به صورت جزئی یا به صورت کامل با حلال های آلی جایگزین شود. معمولا محلول های غیرآبی تابحال برای جلوگیری از تردی هیدروژنی و همچنین اصلاح ترشوندگی الکترود و گاها به عنوان پنجره ای برای دستیابی به خواص دیگر مورد استفاده قرار گرفته اند [۱۰]. به طور نسبی تحقیقات بسیار کمی بر روی آبکاری کامپوزیت های پایه فلزی از محلول های غیر آبی و خواص متالورژیکی پوشش های حاصل انجام گرفته است.

هدف تحقیق حاضر تعیین اثر افزودن کربامید به محلول واتس بر خواص سایشی پوشش نانوکامپوزیتی نیکل آلومینایی آبکاری شده حاصل است. تاثیر حضور کربامید در محلول آبکاری بر روی مقاومت سایش با توجه به اندازه گیری نرخ سایش و ضریب اصطکاک بررسی خواهد شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مسیر های سایش و براده های سایش حاصل شده در حین آزمایش نیز مورد مطالعه قرار خواهد گرفت [۱۱].

www.SID.ir

Archive of SID



**مواد و روش تحقیق**

ورق فولاد CK45 به صورت نمونه هایی در ابعاد ۲۰×۲۵×۸۰ میلیمتر بریده می‌شود. سطح نمونه ها با سنباده تا شماره ۱۰۰۰ ساییده شده و سپس در محلول ۲۰ درصد وزنی هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم چربی زدایی می شوند. قبل از مرحله آبکاری نمونه ها در محلول ۱۰ درصد وزنی اسیدسولفوریک اسید شویی می شوند. شستشو با آب مقطر و الکل و خشک کردن نیز بعد از هرکدام از مراحل مذکور انجام می شود .

پوشش های نانوکامپوزیتی نیکل آلومینا بر روی نمونه های فولاد با استفاده از محلول واتس رسوب داده می شوند. ترکیب حمام الکترولیتی و پارامترهای عملیاتی ثابت مورد استفاده در فرایند در جدول ۱ نشان داده شده است. محلول قبل و حین آزمایش با همزن اولتراسونیک در حال هم زدن بود. علاوه بر این هم زدن مگنتیک نیز در طول فرایند در آبکاری استفاده شد. پوشش دهی در حالت اول بدون اضافه شدن کربامید انجام شد. سپس با افزودن حلال آلی در محلول با مقدار ۲۰ درصد حجمی کربامید در آب، فرایند پوشش دهی انجام گرفت. هرکدام از آزمایش ها سه مرتبه تکرار شد.

سطح مقطع نمونه ها جهت آنالیز میکروسکوپی نمونه مورد آماده سازی قرار گرفتند. بعد از آماده‌سازی سطح مقطع پوشش‌ها، ترکیب عددی پوشش ها، به وسیله یک طیف نگاری EDX متصل به SEM از سه منطقه یکنواخت از پوشش مورد ارزیابی قرار می گیرد.

آزمایش سایش بر روی نمونه ها با بار ۵ نیوتن با سرعت ۷ سانتی متر بر ثانیه در مسافت ۱۶۰ متر انجام می گیرد. نرخ سایش پوشش ها بعد از توزین هر سری از نمونه ها در فواصل ۴۰ متری اندازه گیری می شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مسیر های سایش و براده های سایش حاصل شده در حین آزمایش نیز به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی MIRA 3 مجهز به EDX جهت مقایسه و مطالعه تهیه می شوند.

**نتایج و بحث**

بسیاری از تخریب ها از جمله فرسایش، سایش و خوردگی در سطح اتفاق می افتد. بنابراین پوشش های آبکاری شده ای که خواص عالی داشته باشند می توانند عمر قطعاتی که در معرض سایش و خوردگی هستند را افزایش دهند. همانطور که بیان شد، در این پژوهش سعی شده است با افزودن یک محلول آلی به محلول واتس و متعاقب آن بالا بردن مقدار نانوذرات در پوشش های کامپوزیتی، مقاومت سایشی افزایش داده شود. اندازه ذرات و شکل پودر آلومینای اولیه دریافت شده در شکل ۱ نشان داده شده است. نانوذرات اختصاص داده شده به تحقیق حاضر دارای شکل کروی با قطر ۵۰ تا ۸۰ نانومتر می باشند. این نتیجه، مقدار میانگین داده شده بوسیله شرکت تولید کننده (۶۰ نانومتر) را تایید می نماید. شکل ۲ الف و ب نرخ های سایش ضریب های اصطکاک پوشش های آبکاری شده با محلول واتس حاوی کربامید و بدون کربامید را به ترتیب نشان می دهد. بر طبق

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ ، نرخ سایش و ضریب اصطکاک پوشش های آبکاری شده با محلول واتس حاوی کربامید به طور واضح کمتر از پوشش هایی می باشد که با محلول واتس بدون کربامید آبکاری شده اند. این نتیجه نشان می دهد که پوشش های مربوط به محلول حاوی کربامید خواص ضد سایشی بهتری نسبت به پوشش های مرسوم دارا می باشند. نرخ سایش کمتر پوشش های آبکاری شده با محلول واتس حاوی کربامید می تواند به محتوای نانوذرات بالاتر آن ها نسبت داده شود. زیرا که بر طبق نتایج به دست آمده از آنالیز عددی از سطح مقطع دو پوشش، مشخص شده است که درصد نانوذرات آلومینایی در پوشش آبکاری شده با محلول واتس حاوی کربامید ۴/۴ درصد است و به طور قابل ملاحظه از محتوای ۱/۹ درصدی پوشش دیگر بیشتر است. شکل ۳ (الف و ب) مربوط به مسیرهای سایش دو پوشش ایجاد شده با محلول واتس با و بدون کربامید می باشد. بر طبق شکل ۳ الف شیارهای وسیع زیادی با تغییر فرم پلاستیک شدید و ذرات پوسته شکلی بر روی مسیر سایش پوشش ایجاد شده با محلول واتس متداول مشاهده می شود. شیارها و ذرات پوسته ای شکل نشان می دهند که سایش شدید و چسبان بر روی انجام شده است [۱۲]. همچنین مکانیزمی در شرایط سایشی انجام شده دلالت بر سختی کمتر پوشش نشان داده شده در شکل ۳ الف دارد. اما مسیر سایش نشان داده شده در شکل ۳ ب که مربوط به پوشش های آبکاری شده با محلول حاوی کربامید می باشد دارای ظاهر صاف هستند و هیچ نشانه ای از کندگی و ترک های کوچک و ذرات پوسته ای مربوط به سایش شدید در آن مشاهده نمی شود. به نظر می رسد که در این حالت سایش آرامی روی پوشش انجام شده است و این حالت به دلیل مقدار بیشتر نانوذرات موجود در پوشش نسبت به پوشش قبلی باشد.

## نتیجه‌گیری

شواهد حاصل از این تحقیق افزایش قابل ملاحظه مقاومت سایشی در پوشش هایی که با استفاده از محلول واتس حاوی کربامید آبکاری شده بودند را نشان می دهد. به طوری که نرخ سایش و ضریب اصطکاک پوشش های آبکاری شده با محلول حاوی کربامید بسیار کمتری از پوشش های آبکاری شده با محلول واتس متداول می باشد.

## مراجع


1. Stroumbouli M, Gyftou P, Pavlatou EA, Spyrellis N. Codeposition of ultrafine WC particles in Ni matrix composite electrocoatings. Surface and Coatings Technology 2005;195:325-32
2. Wang, L., Gao, Y., Xue, Q., Liu, Xu, H., T.,(2005) "Effects of nano-diamond particles on the structure and tribological property of Ni-matrix nanocomposite coatings" , Materials Science and Engineering A, Vol. 390, pp. 313-318.
3. Low, C., Wills, A. and Walsh, F, (2006) "Electrodeposition of Composite Coatings Containing Nanoparticles in a Metal Deposit", Surface and Coatings Technology, Vol. 201, pp. 371–383.


www.SID.ir

Archive of SID



4. Hu, F., Chan, K.C.,"(2005) Deposition behaviour and morphology of Ni–SiC electro-composites under triangular waveform", Applied Surface Science 243, pp251–258.
5. Tripathi MK, Singh D, Singh V. Electrodeposition of Ni-Fe/BN Nano-Composite Coatings from a Non-aqueous Bath and Their Characterization. Int J Electrochem Sci 2013;8:3454-71.
6. Uysal M, Cetinkaya T, Kartal M, Alp A, Akbulut H. Production of Sn–Cu/MWCNT composite electrodes for Li-ion batteries by using electroless tin coating. Thin Solid Films 2014;572:216-23.
7. Zheng H-Y, An M-Z. Electrodeposition of Zn–Ni–Al2O3 nanocomposite coatings under ultrasound conditions. Journal of Alloys and Compounds 2008; 459:548-52.
8. Liu C, Su F, Liang J. Producing cobalt–graphene composite coating by pulse electrodeposition with excellent wear and corrosion resistance. Applied Surface Science 2015;351:889-96.
9. M. A. Juneshani, M. Farzam, H. Zohdirad, "Wear and corrosion resistance and electroplating characteristics of electrodeposited Cr–SiC nano-composite coatings" ,Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23, 2013, 1993-2001.
10. M. Deng, G. Ding, Y. Wang, X. Cui, H. Wang, F. Zang, H. Wu, "Room temperature mass production of carbon nanotube field emission micro-cathode arrays using electroplating of a CNT/Ni composite followed by micro-machining" ,Vacuum, 85, 2011, 827-832.
11. Bahrololoom, M.E., Sani, R., (2005) "The influence of pulse plating parameters on the hardness and wear resistance of nickel–alumina composite coatings", Surface and Coatings Technology., Vol. 192, pp. 154-163.
12. I.M. Hutchings, Friction and wear of engineering materials, First edition, 1992, p. 99, Great Britain

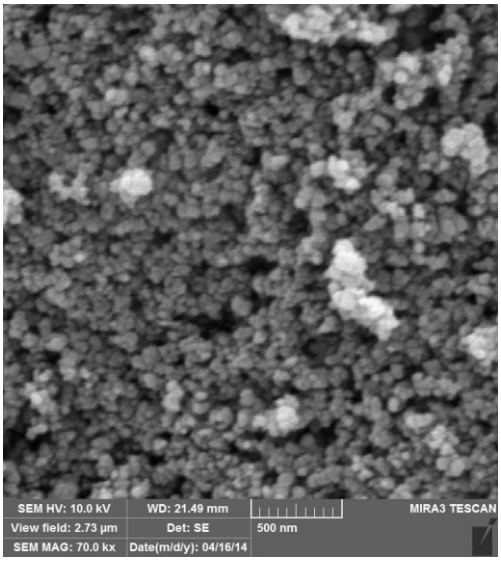
جدول ۱: ترکیب شیمیایی حمام الکترولیتی و شرایط آبکاری.

| ترکیب الکترولیت | | شرایط فرایند آبکاری | |
|---|---|---|---|
| سولفات نیکل $NiSO_4.6H_2O$ | ۳۰۰ گرم در لیتر | PH | ۳/۸ |
| کلرید نیکل $NiCl_2.6H_2O$ | ۵۰ گرم در لیتر | دمای آزمایش | ۵۵ درجه سانتیگراد |
| اسید بوریک $H_3BO_4$ | ۴۰ گرم در لیتر | فرکانس امواج اولتراسونیک | ۴۰ وات بر سانتی متر مربع |
| درصد وزنی نانو ذرات آلومینا | ۲۵ | فرکانس جریان | ۱۰۰۰ هرتز |
| کربامید حل شده | ۲۰ درصدحجمی در آب | سیکل کاری | ۵۰ درصد |

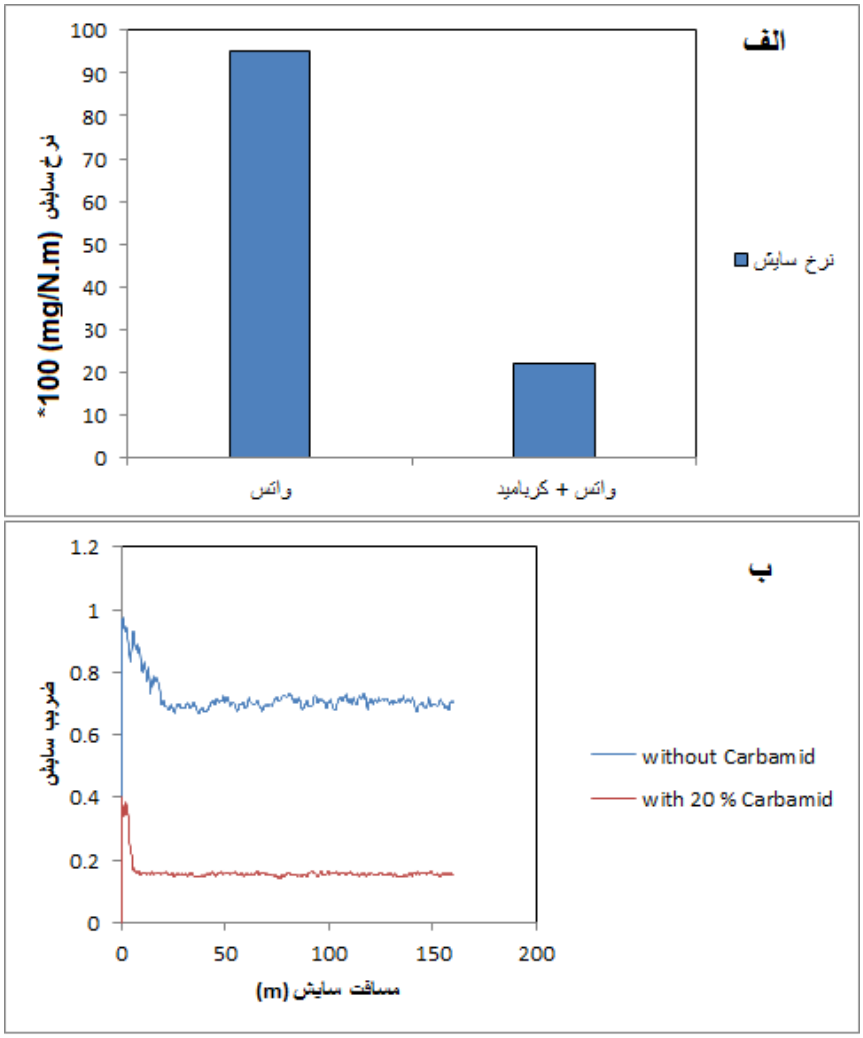
www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۱: تصویر SEM از نانوذرات آلومینا.

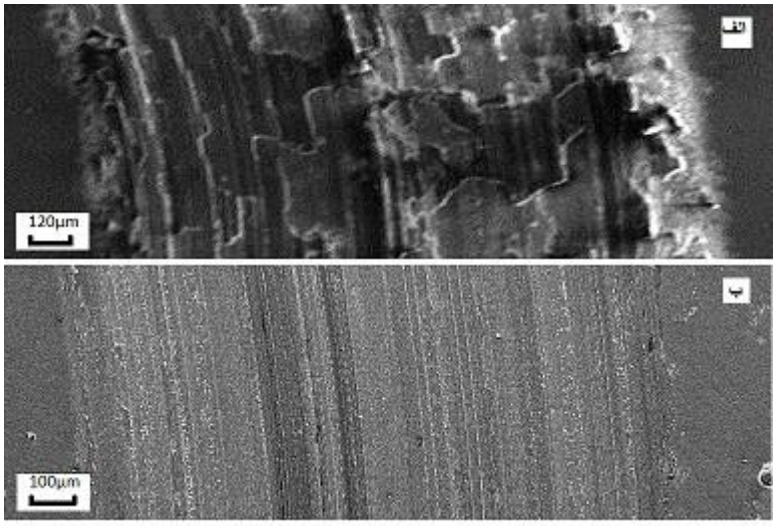



شکل ۲: (الف) - نرخ سایش و (ب)- ضریب سایش پوشش های آبکاری در محلول واتس با و بدون حلال آلی کربامید

www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۳: مقایسه مقدار نانوذرات در پوشش های کامپوزیتی $Ni\text{-}Al_2O_3$ با افزودن حلال آلی کربامید به محلول واتس

www.SID.ir