مطالعه خواص سایشی کامپوزیت مس با ۱،۱درصد وزنی ذرات نانوآلومینا

آروین اسکندری، محمدرضا شایق، سید خطیب الاسلام صدرنژاد، زهره رضوی حسابی و مهدی مظاهری

پژوهشگاه مواد و انرژی، پژهشکده مواد نو

mazaheri@merc.ac.ir

چکیده

در تحقیق حاضر کامپوزیت مس استحکامیافته به وسیله ذرات پراکنده آلومینا به شیوه اکسایش داخلی تهیه گردید وبرای بررسی رفتار سایشی از روش Pin On Disc استفاده شد. برای مقایسه رفتار سایشی نانو کامپوزیت، نمونه شاهد مس خالص اکسترود شده بکار گرفته شد. نتایج آزمایشات حاکی از رفتار سایشی مطلوب تر نانو کامپوزیت در سرعت $۰/۳\ m\ s^{-1}$ و نیروهای ۶۰N و ۸۰ نسبت به مس خالص بوده است. همچنین با افزایش نیرو، میزان کاهش وزن در نانو کامپوزیت و مس بطور خطی افزایش یافت. میزان اختلاف کاهش وزن نمونه نانو کامپوزیتی نسبت به نمونه شاهد، تحت بارگذاری ۸۰ N وسرعت $۰/۳\ m\ s^{-1}$ قابل توجه بود. با استفاده از مطالعات میکروسکوپی و سختی سنجی مکانیرم های سایش مطالعه گردید و مشخص شد تفاوت در مکانیزم سایش کامپوزیت با مس خالص به علت افزایش سختی تا سه برابر در نانوکامپوزیت است.

کلمات کلیدی: نانو کامپوزیت، سایش، پین بر دیسک

۱-مقدمه

فلز مس، بطور گسترده ای در صنایع الکترونیک (مدارهای مجتمع)، جوشکاری (الکترود های مقاومتی- نازل های میگ وبوش مورد استفاده در جوش زیر پودری) بعلت هدایت الکتریکی و حرارتی مناسب مورد استفاده و توجه محققین قرار گرفته است. در این میان، مس خالص بهترین هدایت الکتریکی را به خود اختصاص داده است. اما مشکل اصلی در استفاده از مس خالص، نرم شدن آن به علت افزایش دما در کاربرد های ذکر شده است که سبب می شود کارایی این ماده در این حالت شدیدا افت کند [۱و۲]. روش های استحکام بخشی این فلز می تواند از طرق کار سرد، رسوب سختی و پراکنده کردن ذرات اکسیدی می باشد. از این رو باید به این نکته توجه شود که کار سرد، انرژی لازم برای تبلور مجدد را تامین کرده و در دمای کاری، مس را دچار افت

خواص مکانیکی خواهد کرد. همچنین استفاده از عناصر آلیاژی همانند Cr ، Be وZr سبب استحکام بخشی این فلز می شوند در حالی که هدایت الکتریکی آن را کاهش خواهند داد [۳].

تحقیقات وسیعی در زمینه پراکنده کردن ذرات اکسیدی در زمینه فلزی مس، به منظور حفظ استحکام در دمای کارکرد صورت گرفته است. از روشهای مهمی که برای تولید این مواد پیشنهاد شده است، می توان به اکسایش داخلی و آلیاژسازی مکانیکی اشاره کرد. در میان ذرات اکسیدی، آلومینا علاوه بر افزایش استحکام، می تواند هدایت الکتریکی و حرارتی مس را در دما های کاری ذکر شده حفظ کند [۴و۵].

ناسر وهمکارانش [۶] پایداری مس را، با اضافه کردن ۳٪ حجمی ذرات نانومتری آلومینا با متوسط اندازه ۱۴ nm در محدودهی دمایی ۴۰۰-۷۵۰°c مطالعه کردند. آنها نشان دادند که ذرات نانومتری آلومینا مانع رشد دانه های مس در چنین دماهایی شده اند.

همچنین، طبق بررسی های انجام شده در کامپوزیت مس با ۱،۱٪ وزنی آلومینا، استحکام دهی توسط مکانیزم اراوان توجیه شده است. از طرف دیگر این ذرات با قید گذاشتن بر روی مرزدانه های اصلی و فرعی، تحرک نابجایی ها را کاهش می دهند [۱].

آلومینا در خواص سایشی فلزات نیز تاثیر گذار است. بطوری که کک و ازیدین [۷] در مطالعات خود بر آلومینیوم ۲۰۲۴ که با ذرات میکرومتری آلومینا مستحکم شده بود، دریافتند که این ذرات مقاومت سایشی این آلیاژ را افزایش می دهد. همچنین با افزیش اندازه این ذرات از ۱۶ تا ۶۶μm، خواص سایشی این کاموزیت بهبودیافته است.

در اکثر مطالعات صورت گرفته [۸و۹]، حضور ذرات میکرو متری بر مقاومت سایشی بررسی شده است. در این پژوهش، اثر ذرات نانو متری آلومینا در زمینه فلزی مس، بر رفتار سایشی این کامپوزیت، با استفاده از روش پین بر دیسک انجام و برای مطالعه سطوح ساییده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید.

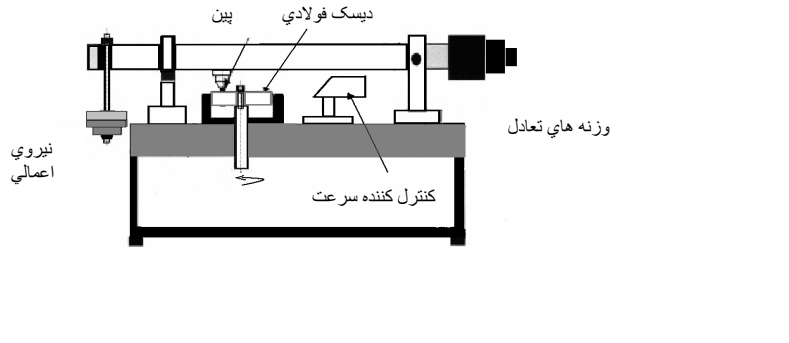
۲-روش آزمایش

در این پژوهش کامپوزیت مس تقویت شده با ۱/۱٪ وزنی ذرات نانومتری آلومینا، به روش اکسایش داخلی توسط شرکت آرتاش تهیه گردید. میانگین اندازه ذرات آلومینا در فلز مس، ۱۵ nm گزارش شده است [۱]. برای مقایسه رفتار سایشی، از مس خالص نیز به عنوان نمونه شاهد استفاده شد. برخی از خواص مکانیکی مس و نانو کامپوزیت مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. خواص مکانیکی نانو کامپوزیت و مس خالص.

مواد	Cu-۱.۱%wt Al_2O_3	Cu
استحکام تسلیم (MPa)	٤٢٢	٨٠/٨
استحکام کششی(MPa)	٤٩٥	٢٢٠/١
سختی(BHN)	١٥٥/٤	٥١/٤

آزمایش باتوجه به دستگاه پین بر دیسک طراحی شد. شماتیک دستگاه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. شماتیکی از دستگاه پین بر دیسک

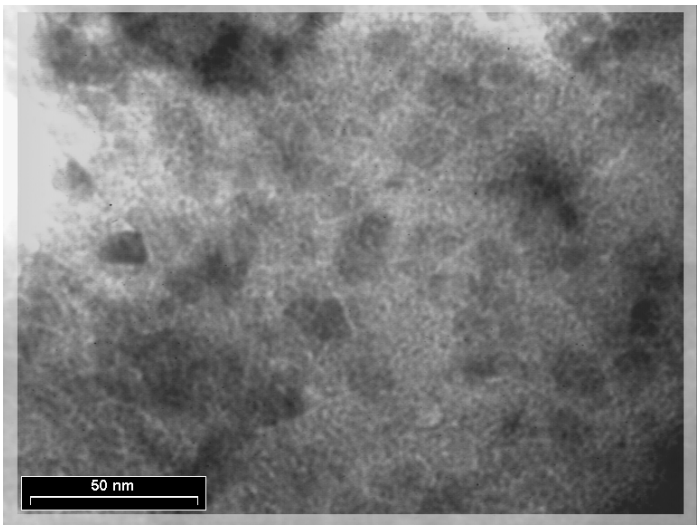
پین های مورد استفاده در این آزمایش، با توجه به شرایط و محدودیت های دستگاه، به شکل استوانه هایی به قطر ۵mm و طول ۳۰ mm تهیه گردید. دیسک مورد استفاده در این آزمایش، از جنس فولاد Spk با شعاع ۵cm انتخاب گردید که با عملیات حرارتی به سختی HRC ۶۲-۵۷ رسانده شد. در این آزمایش پین ها تحت نیروی خفیف (۶۰ N)، متوسط (۸۰ N) و شدید (۱۲۰ N) قرار گرفتند. شعاع حرکتی پینها بر روی دیسک متفاوت بود ولی سرعت خطی دیسک با احتساب شعاع های متفاوت، $0/3\ m.s^{-1}$ محاسبه گردید.

مسافت نهایی طی شده ۱۰۰۰m در نظر گرفته شد و هر ۲۰۰m کاهش وزن، توسط ترازوی دیجیتال S (Sartorious ED۲۲۴) با قدرت تعیین 10^{-4} g انجام اندازه گیری شد. در این تست بعلت وجود نویز های و

همچنین گرم شدن بیش از حد دستگاه، وقفه ای در آزمایش ایجاد می شد که سبب تکرار تستها در نیروی شدید می گردید. با آزمایش مجدد، در نهایت انحراف از معیار داده ها به حد اقل رسید.
علاوه بر این،برای بررسی ریخت شناسی سطوح ساییده شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM Philips XL۳۰) استفاده شد.

۳-نتایج وبحث

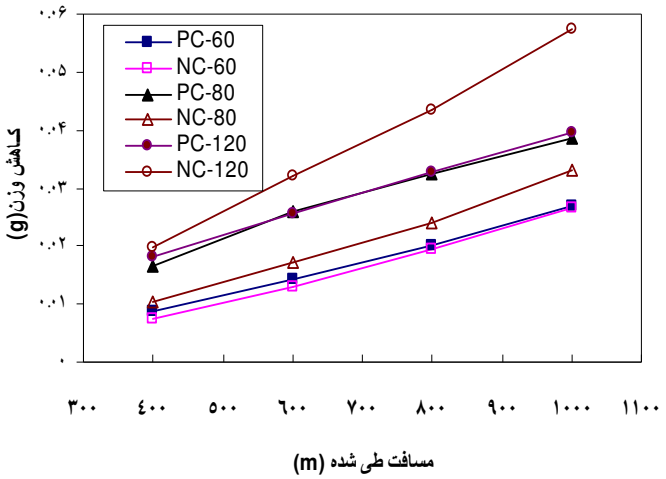
شکل (۲) تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) نمونهی نانو کامپوزیت را نشان می دهد. متوسط اندازهی ذرات آلومینا nm ۱۵ برآورد شده است. با توجه به شکل، پراکندگی مناسب نانو ذرات آلومینا در زمینه مشهود است.



شکل۲. تصویر TEM از نانو کامپوزیت Cu/Al_2O_3

در شکل (۳) کاهش وزن تجمعی نمونه های مس خاص و نانو کامپوزیت Cu-۱/۱%Al۲O۳ بر حسب فاصله ترسیم شده است. بطور کلی می توان گفت که با افزایش نیروی اعمالی، از ۶۰ به N ۱۲۰، کاهش وزن بطور خطی افزایش مییابد. طبق انتظار در نیروی متوسط (N ۸۰) مس استحکام نیافته، در مقایسه با کامپوزیت، رفتار سایشی شدیدتری را نشان می دهد. به عبارت دیگر در انتها ۱۰۰۰m کاهش وزن نانو کامپوزیت (NC) بطور چشم گیری (g۰/۰۵۶) کمتر از میزان کاهش وزن مس خالص (PC) است. با این وجود، با افزایش نیروی اعمالی به N ۱۲۰، رفتار سایشی نانو کامپوزیت در مقایسه با مس نسبت به نیروی متوسط، تغیرمی کند. طبق نمودار،

کاهش وزن این کامپوزیت ۰/۰۵۷۳g بوده است که نسبت به مس خالص (۰/۰۳۹۷g)، ۰/۰۱۷۶ g بیشتر است. هر چند که در نیروی اعمالی کم، کاهش وزن دو نمونه تقریبایکسان می باشد.

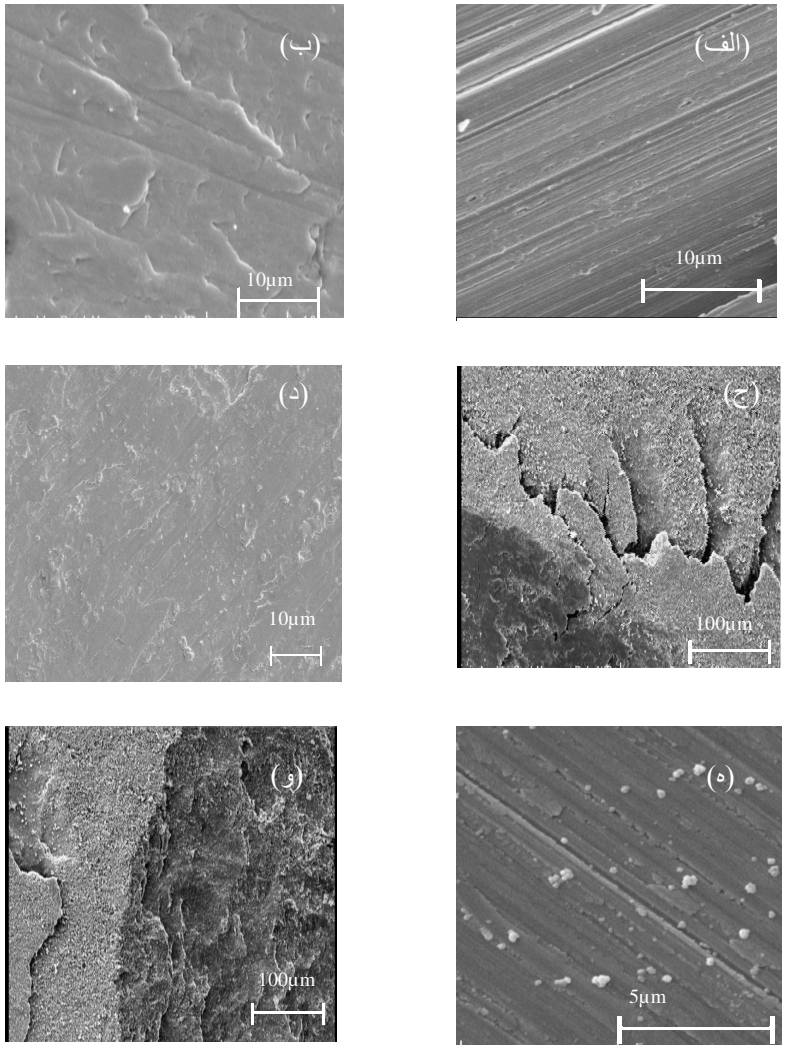


شکل۳. منحنی کاهش وزن بر حسب فاصله برای نمونه نانو کامپوزیت (NC) و مس خالص (PC) در نیروهای ۶۰، ۸۰ و ۱۲۰ N درسرعت $0/3\ m.s^{-1}$.

در شکل (۴) سطح ساییده شده ۲ نمونهی نانو کامپوزیت و مس خالص توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل دیده می شود، شیار ها و تغییر فرم پلاستیک بر اثر نیروی اعمالی ضعیف، موازی با جهت سایش است و در واقع می توان گفت که این تغییر فرم، مکانیزم اصلی سایش می باشد. همچنین تغییر فرم پلاستیک با افزایش نیروی اعمالی افزایشیافته است. در شکل۴ (الف) در نیروی ۶۰ N، مشاهده می شود که خطوط سایش موازیند در حالی که با افزایش نیرو، این پدیده کمتر می شود. در شکل۴ (ب) غیر ازخراشیدگی در سطح نمومه کامپوزیتی، کشیدگی (ploughing) نیز دیده می شود. این بدان معناست که مواد علاوه بر اینکه توسط سطح ساینده، خراشیده می شوند، نسبت به هم نیز ساییده و در واقع بر روی هم کشیده می شوند [۱۱].

تصاویر SEM در نیرو های شدید (۱۲۰ N) خراشیدگی های عمیق تری را در مس خالص نشان می دهند. در حالی که در شکل ۴ و در نیروی (۱۲۰ N) برای کامپوزیت $Cu\text{-}1/1\%Al_2O_3$، تغیر فرم بعلت افزایش سختی و استحکام که در نتیجهی حضور ذزات نانو متری آلومیناست، محدود شده است. در واقع این محدودیت سبب تشکیل ترک، کندگی و جدایش و گوه ای شدن گردیده است [۱۱].

در نیرو های ضعیف و متوسط، رفتار سایشی کامپوزیت در مقایسه با مس خالص، به خوبی از رابطه آرکـاد[1] پیروی می کند. بر طبق این رابطه، میزان سایش و کاهش وزن نمونه ای که در تماس با سطح ساینده است، بطور معکوس، متناسب با سختی آن نمونه است. نانو کاپوزیت استفاده شده در این پژوهش، با توجه بـه جـدول (۱)، ۳ برابر سخت تر از مس خالص بوده و در نتیجه کاهش وزن کمتر نمونه کاپوزیتی قابل پیش بینی بود.



شکل۴. تصویر SEM از سطوح ساییده شده نانو کامپوزیت در نیروهای ۶۰ N (الف)، ۸۰N (ب) و ۱۲۰ N (ج، و) و مس خالص در نیروهای ۸۰N (د) و ۱۲۰N (ه).
توجه شود که تغییر فرم پلاستیک در اثر افزایش نیرو، تشدید شده است.

[1] Archad

۴-نتیجه گیری

- روند کاهش وزن دو نمونه بر حسب فاصله، با افزایش نیرو اعمالی، خطی است.
- با توجه به معادله آرکاد، افزایش استحکام و سختی نانو کامپوزیت به میزان سه برابر، سبب بهبود رفتار سایشی نسبت به مس خالص در نیرو های ضعیف (۶۰ N)، متوسط (۸۰ N) شده است.
- در نیروی شدید (۱۲۰ N)، مکانیزم کندگی و جدایش بعلت محدود بودن تغییر فرم پلاستیک، سبب افزایش میزان کاهش وزن نسبت به مس خالص گردیده است.
- با افزایش نیرو، شیار های عمیق تری در مس خالص دیده شد که افزایش میزان کاهش وزن را در پی داشت.

تشکر و قدر دانی

از شرکت آرتاش برای تهیه نمونه ها، مهندس رضایی برای تصاویر SEM و از مهندس محسن قنبری حقیقی و مهندس حوریه محمد زاده بخاطر همکاری در این پژوهش صمیمانه تشکر می شود.

مراجع

1-A. Afshar, A.Simchi, Scripta Mater. j. scripta mat, Vol. 58, No. 11, pp 966-969,(2008)
2- Y.S. Zhang, K. Wang, Z. Han, G. Liu, Dry sliding wear behavior of copper with nano-scaled twins, Wear pp.1463–1470. (2007).
3- Http://www.aws.org/w/s/wj/2003/11
4- Hussain Z, Kit LC, Properties and spot welding behavior of copper–alumina ..., J Mater Design, Vol. 29, No. 7, pp. 1311-1315. (2008)
5- Baohong Tian', Ping Liu, Kexing Song, Yan Li, Yong Liu, Fengzhang Ren and Juanhua Su, Microstructure and properties at elevated temperature of a nano-Al_2O_3 particles dispersion-strengthened copper base composite, j.msea,Vol.435-436,pp. 705-710.2006
6- J. Naser, H. Ferkel, W. Riehemann, Mater. Sci.Eng. A,Vol. 47, pp.234–236. (1997)
7- M. Kok, K. ozdin, Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al_2O_3 particles, j.jmatprotec. Vol, 183, pp. 301-309, 2006
8- P.K. Deshpande and R.Y. Lin, wear resistance of WC particle reinforced copper matrix composite and effect of porosity, j.msea,11.036, Vol.418,pp. 137-145,2005
9- M. Kok, Abrasive wear of Al_2O_3 particle reinforced 2024 aluminum alloy composite fabricated by vortex method, j.compositesa.Vol37, pp.457-464, 2005.
۱۰-امیر افشار- پایان نامه کارشناسي ارشد مهندسي مواد- دانشگاه صنعتي شريف- پاييز ۱۳۸٦
11-C.Y.H. Lim*, D.K. Leo, J.J.S. Ang, M. Gupta, Wear of magnesium composites reinforced with Nano-sized alumina particulates, Wear, Vol.295, pp. 620–625. (2005)

Wear behavior of Cu- 1.1%wt Al_2o_3 Nano composite

S. K. Sadrnezhad, Z. R. Hesabi, A. Eskandari, M. Mazaheri and M.R. SHaiegh
Corresponding Author Address: new materials Department, Materials and Energy Research Centre
Corresponding Author E-mail:mazaheri@merc.com

Abstract

Nowadays Copper matrix composites reinforced with alumina particles is one of the interesting materials for high electrical and thermal conductivity applications. In this study, Cu- 1.1%wt Al_2O_3, which fabricated by internal oxidation, was employed. Pin-on-disc method was selected and for comparison of tribological behavior of nano composite, pure copper was used. A result shows that at 0.3 $m.s^{-1}$ and 60, 80N loads, the nano composites, have better wear resistance in contrast to unreinforced copper. The investigation included the SEM micrograph and its relation whit mechanical properties.

Key words: nano composite, wear, pin on disc