نشریه علوم و فناو*ر*ی





http://jstc.iust.ac.ir

بررسی خواص فیزیکی و سطحی نانوکامپوزیت Al/SiC_p تولید شده به روش متالورژی پودر در دماي بالا

حسن شریفی^۱*، دانیال داودی^۲، حمید غیور^۳

۱ - استادیار، مهندسی مواد، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد ۲- کارشناس ارشد، مهندسی مواد، دانشگاه شهر کرد، شهر کرد ٣- استادیار، مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، نجف آباد، اصفهان *شهرکرد، صندوق پستی ۸۸۱۸۶/۳۴۱۴۱، Sharifi@eng.sku.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
در این پژوهش اثر دما و کسر حجمی تقویتکننده بر رفتار سایشی نانو کامپوزیت Al/x vol% SiCp (x=0, 1, 3, 5) بررسی شده است. نتایج	دریافت: اردیبهشت ۹۴
نشان داد افزودن ذرات تقویت کننده موجب بالا رفتن دمای انتقال به سایش شدید نمونهها میشود، بهگونهای که برای آلومینیم تقویت	پذیرش: خرداد ۹۴
نشده، دمای انتقال به سایش شدید ۱۲۵ درجه سانتیگراد، برای کامپوزیت Al-1%SiC درجه سانتیگراد و برای نمونههای -Al	
SiC و Al-5%SiC، Al-5%SiC درجه سانتیگراد بود. بررسیها نشان داد که نمونههای کامپوزیتی در مقایسه با آلومینیم تقویت نشده دارای	کلیدواژگان:
نرخ سایش و ضریب اصطکاک کمتری بوده و با افزایش کسرحجمی نانوذرات SiC، مقاومت به سایش بهبود یافته است. بررسی تصاویر	نانو كاميوزيت
FESEM از سطح نمونههای ساییده شده در دماهای مختلف نشان داد نوع سایش در منطقه سایش ملایم برای تمامی نمونهها از نوع	Al-SiCp
خراشان بوده که با افزایش دما و ورود سایش به منطقه سایش شدید، نوع سایش تمامی نمونهها بهجز نمونه Al-5%SiC چسبان است، ولی	سایش دمای بالا
نمونه Al-5%SiC هنوز دارای سایش خراشان است که نشان از اثر مثبت فاز تقویت کننده دارد.	FESEM

Investigating the physical and surface properties at high temperature of the Al/SiC nanocomposite produced by powder metallurgy

Hassan Sharifi^{1*}, Danial Davoodi¹, Hamid Ghayour²

1- Department of Engineering University of Shahrekord, Shahrekord, Iran

2- Department of Materials Engineering, Najafabad Islamic Azad University, Najafabad, Isfahan, Iran.

* P.O.B. 88186-34141, Shahrekord, Iran, sharifi@eng.sku.ac.ir

Keywords	Abstract
Nanocomposite Al-SiCp high temperature wear, FE SEM	In this research the effect of temperature and volume fraction of reinforcement on wear behavior of the Al/x vol% SiCp (x=0, 1, 3, 5) nanocomposite was investigated. Results revealed that addition of reinforcement particles increases transition to severe wear temperature of the samples, so that the temperature of transition to severe wear for the un-reinforced aluminum, Al-1%SiC, and Al-3%SiC and Al-5%SiC samples is 125°C, 150°C, and 175°C, respectively. Also, the composite samples showed lower wear rate and friction coefficient compared to the un-enforced aluminum, and with increase of volume fraction of SiC particles, wear resistance of the samples was improved. FESEM images from the surface of the samples worn at different temperatures revealed that wear mechanism in the mild wear area of all samples is the abrasive mode, but with increase of temperature and transition to severe wear area, wear mechanism of all samples except Al-5%SiC is the adhesive mode. The Al-5%SiC sample still shows the abrasive mode, which indicates the positive effect of the reinforcement phase.

۱– مقدمه

بالا مطرح شدهاند كه علت آن، حفاظت سطح تماس كامپوزيت توسط تقویت کننده های سخت گزارش شده است [۱-۴]. انواع متنوعی از سرامیک ها به سبب خواص ویژهای چون سختی بالا، مقاومت فشاری بالا و مقاومت به سایش خوب بهعنوان تقویت کننده برای زمینه آلومینیم به کار میروند، که

فلز آلومینیم باوجود چگالی کم، دمای ذوب نسبتا پایین و شکل پذیری بالا از مقاومت به سایش پایینی برخوردار است. کامپوزیتهای زمینه آلومینیمی بهعنوان مواد با ویژگیهایی از جمله مقاوم به سایش و نسبت استحکام به وزن

Please cite this article using:

د کامپوزیت

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

Sharifi, H. Davoodi, D. and Ghayour, H., "Investigating the physical and surface properties at high temperature of the Al/SiC nanocomposite produced by powder metallurgy" Journal of Science and Technology of Composite, Vol. 2, No. 1, pp. 33-40, 2015. metallurgy" Journal of Science and Technology of Composite, Vol. 2, No. 1, pp. 33-40, 2015.

در این میان از نانو ذرات SiC و SiC به وفور استفاده شده است [۵]. متالورژی پودر یکی از روشهایی است که در ساخت نانوکامپوزیتهای زمینه آلومینیمی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله مزایای این روش میتوان به استفاده از دماهای کمتر در مرحله ساخت نانوکامپوزیت اشاره کرد که این موضوع، احتمال واکنش بین زمینه و فاز تقویتکننده را کاهش میدهد. همچنین توزیع یکنواخت و همگن ذرات تقویتکننده، از مزایای ویژه این روش میباشد [۶].

مقاومت سایشی کامپوزیتهای زمینه آلومینیم توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است، اما قیاس بین نتایج آنها ممکن نیست. چون مقاومت در برابر اصطکاک و سایش تنها جزء خواص ذاتی ماده نبوده و بسته به شرایطی از جمله: بار اعمالی، دمای محیط، سرعت لغزش، نوع و درصد حجمی تقویت کننده تغییر می کند. در تقویت نمودن آلیاژهای آلومینیم با ذرات سرامیکی، مشاهده شده که معمولا رفتار سایشی ماده بهبود مى يابد. اگر تقويت كننده به خوبى با زمينه پيوند داشته باشد، نرخ سايش توسط میزان سایش تقویت کننده کنترل شده و در بیشتر مواقع افزایش کسر حجمی تقویت کننده باعث کاهش نرخ سایش کامپوزیت می شود [۷]. باوری و همکاران [۸] در بررسی نرخ سایش به صورت متغیری از بار اعمالی، نشان شدند که نرخ سایش پس از رسیدن نیروی اعمالی به یک حد معین به شدت افزایش می یابد. آن ها افزایش ناگهانی ضریب اصطکاک و نرخ سایش با افزایش بار، از یک بار بحرانی را به گذار از سایش ملایم به سایش شدید مرتبط دانستهاند. رامش و همکاران [۹] نیز خواص سایشی کامپوزیت آلیاژ Al6061 را با فاز تقویت کننده SiC و SiC تهیه شده به روش اکستروژن داغ را بررسی کردند. آنها بهبود خواص سایشی را در تمامی کامپوزیتهای تولید شده گزارش کردند. موراتگلو و همکاران [۱۰] اثر دما (در محدوده [°] ۲۰۰-۲۰) را بر رفتار سایش لغزنده یک کامپوزیت با زمینه Al2124 تقویت شده با ذرات SiC که به روش متالورژی پودر تولید شده بود را مورد بررسی قرار دادند. به منظور بررسی اثر عملیات پیرسازی، تعدادی از نمونهها تحت عملیات پیرسازی مصنوعی قرار گرفتند. سرعت سایش نمونههای کامپوزیتی پیرشده در تمامی دماها کمتر از سرعت سایش نمونههای پیرنشده است. کمترین میزان سایش مربوط به دمای اتاق و بیشترین میزان سایش در دمای C۰ ۵۰ مشاهده شد.

بررسیها نشان داد که اکثر مطالعات انجام شده در مورد رفتار سایشی کامپوزیت آلومینیم تقویت شده با نانو ذرات SiC مربوط به دمای محیط بوده و مطالعات بسیار محدودی در دماهای بالا انجام شده است. با عنایت به اینکه در برخی از موارد این گروه از کامپوزیتها در دماهای بالا و تحت سایش قرار میگیرند، لذا در این پژوهش به بررسی رفتار سایشی دمای بالا نانو کامپوزیت مار SiC در کسرهای حجمی مختلف از فاز تقویتکننده SiC پرداخته شده است.

۲- مواد و روشها

www.SID.ir

در این پژوهش از پودر آلومینیم با خلوص ۹۹/۷ درصد با متوسط اندازه ذرات μα ۴۵ ساخت شرکت متالورژی پودر خراسان بهعنوان زمینه و از نانو پودر β-SiC با ساختار مکعبی و با خلوص ۹۹/۹۹ درصد با متوسط اندازه ذرات ۳۵ ۴۵ ساخت شرکت USnano بهعنوان فاز تقویت کننده استفاده شد. شکل ۱ و ۲ بهترتیب تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه آنالیز EDX را برای آلومینیم و SiC نشان میدهد.





شکل ۱ الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از پودر آلومینیم ب) آنالیز EDS از پودر آلومینیم.

نمونههای کامپوزیتی در کسر های حجمی ۱، ۳ و ۵ درصد نانو کاربید سیلیسیم به روش متالورژی پودر در آسیا پر انرژی تهیه شدند. آسیا کاری نمونهها در یک آسیا سیارهای پر انرژی مدل MPM-4*350 با ۲۵۰ دور در سایش و تحت آتمسفر گاز خنثی آرگون با خلوص ۹۹/۹۹ به مدت ۱ ساعت انجام شد. همچنین به دلیل چسبندگی ذرات آلومینیم به گلولهها از اسید استاریک به میزان ۱ درصد وزنی استفاده شد. جهت بررسی ساختار محصولات و نیز بررسی نوع سایش سطوح نمونههای ساییده شده، از Philips-XLS) مدل (FESEM) مدل (Philips-XLS) مدل (Philips-XLS) نشده و در یک کوره یلولهای تحت آتمسفر آرگون مدل MPA شده و در یک کوره یلولهای تحت آتمسفر آرگون مدل ۳۵۰ TF5/40-1500 شده اندازه گیری چگالی و تخلخل ظاهری نمونههای خام و تفجوشی شده به شد. اندازه گیری چگالی و تخلخل ظاهری نمونههای خام و تفجوشی شده به روش ارشمیدس و بر اساس استادارد BSI1902A انجام شد.

رفتار سایشی نمونهها، با استفاده از آزمون سایش و با دستگاه پین روی دیسک متحرک با قابلیت اعمال دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون با نمونههای دیسکی شکل به ضخامت ۵ میلیمتر و قطر ۴۰ میلیمتر با پین ساینده به ارتفاع ۳m ۵ و قطر ۳m ۵ با سطح تماس ۳m ۳ و از جنس فولاد ۵۲۱۰۰ با سختی ۶۴ Rc انجام شد. به منظور بررسی اثر دما بر رفتار سایشی نمونهها، این آزمون در محدوده دمایی ۲۰۰۰ –۲۵ و به ترتیب در دماهای ۲۵، ۵۰، ۵۰، ۱۰۵، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۲۰۰۰ انجام شد.



شکل ۲ الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ب) آنالیز EDS از پودر SiC.

برای انجام این آزمون مسافت سایش m ۱۰۰۰ و نیروی N ۸ با سرعت خطی ۰/۱۱ m/s در نظر گرفته شد که نمونهها در پایان هر ۲۰۰ توزین شده و کاهش وزن نمونهها حاصل و نرخ سایش آنها طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

ں

۳-بحث و نتايج

۳-۱- بررسی ریز ساختار

شکلهای ۳ تا ۵ به ترتیب ریزساختار نانوکامپوزیتهای Al-1%SiC، -Al-SiC و Al-5%SiC را به همراه آنالیز EDS آنها را نشان میدهد.

یکی از مزایای کامپوزیتهای زمینه آلومینیمی ویژه در بحث نانوکامپوزیتهای تهیه شده به روش متالورژی پودر، توزیع پیوسته و یکنواخت فاز تقویت کننده در زمینه است. این توزیع یکنواخت و پیوسته از فاز تقویت کننده میتواند بر بهبود خواص مکانیکی حاصل شده، موثر واقع شود [۴]. تصاویر مربوط به ریزساختار کامپوزیتهای ساخته شده، گویای آن آلومینیم داشته و پدیده تودهای شدن نانوذرات SiC که در بحث فناوری نانو یک امر طبیعی و ناخواسته بوده در اینجا کمتر مشاهده میشود. البته باید به این موضوع نیز اشاره داشت که با افزایش کسر حجمی نانو ذرات SiC، میل به تودهای شدن نانوذرات SiC بیشتر میشود و همان طور که در تصاویر نورساختاری کامپوزیتها مشخص است، کامپوزیت با ۵ درصد نانو SiC، دارای ریزساختاری کامپوزیتها مشخص است.



شکل ۳ تصویر ریزساختار کامپوزیت Al-1%SiC به همراه آنالیز EDS.



شکل ۴ تصویر ریزساختار کامپوزیت Al-3%SiC به همراه آنالیز EDS.

با توجه به آنالیز EDS که برای نانوکامپوزیتهای در کسرحجمیهای مختلف نشان داده شده است، مشاهده می شود که نمونهها آنالیز تقریبا ثابتی داشته و دارای پیکهای یکسانی هستند.

نشریه علوم و فناوری **کامیو** *ز***یت**



M NAC 15 00 W WD 8.001 Nm Latentiation (M NAC 15 00 Nm M NAC 100.00 kx Detection(N) 06/25/13 Pto (M NAC 100.00 kx Detection(N) 06/25/13 Pto (M NAC 100.00 kx Detection(N) 06/25/13



شکل ۵ تصویر ریزساختار کامپوزیت Al-5%SiC به همراه آنالیز EDS.

پیک AI گویای وجود فاز آلومینیم و پیکهای Si و C نشان دهنده وجود نانوذرات SiC است. نکته قابل توجه این آنالیزها، نشان دهنده عدم وجود عناصر ناخواسته به ویژه اکسیژن و عدم حضور فاز اکسید آلومینیم است. بنابراین کامپوزیت از شرایط ترکیبی بسیار مناسبی برخوردار بوده، چرا که جلوگیری از اکسید شدن کامپوزیتهای زمینه آلومینیمی در حین فرآیند ساخت، یک امر بسیار دشوار میباشد. شایان ذکر است که فاز مضر دیAl4C در نمونهها وجود ندارد، چون حداقل دما برای تشکیل این فاز 2° ۷۲۷/ است [11] و با توجه با دمای تفجوشی نمونهها (2[°] ۶۱۰)، تشکیل این فاز از نظر ترمودینامیکی غیر ممکن میباشد.

یکی از موارد مهم در ساخت کامپوزیتهای زمینه آلومینیمی به روش متالورژی پودر، اتصال و پیوند ذرات آلومینیم و ایجاد زمینه یکنواخت و یکپارچه است. شکل ۶ تصویر میکروسکوپی از اتصال ذرات آلومینیم به یکدیگر را برای نمونه Al-5%SiC را نشان میدهد.



شکل ۶ تصویر میکروسکوپی از ذرات آلومینیم در کامپوزیت Al-5%SiC.

همان گونه که در شکل مشخص است، ذرات پودر آلومینیم اتصال نسبتا خوبی با یکدیگر داشته و به نظر میرسد که فشار پرس، دما و زمان تفجوشی در حین فرآیند ساخت مناسب بوده است. وجود حفره و تخلخل که در روش متالورژی پودر یک امر طبیعی است نیز در این شکل قابل مشاهده میباشد. باید به این نکته اشاره داشت که حذف کامل تخلخلها و حفرات در نمونههای ساخته شده به روش متالورژی پودر بسیار مشکل است و بیشتر سعی بر کم کردن تخلخلها و افزایش درصد تراکم نمونههاست.

۲-۳- دانسیته و درصد تخلخل

شکلهای ۷ تا ۹ به ترتیب چگالی اندازه گیری شده، درصد تراکم و درصد تخلخل نمونهها را قبل و بعد از فرآیند تفجوشی را نشان میدهد.



همانگونه که در این شکلها مشاهده میشود، چگالی تمامی نمونهها بعد از فرآیند تفجوشی افزایش و درصد تخلخلها کاهش قابل ملاحظهای داشته است.



شکل ۸ تغییرات میزان تراکم قبل و بعد از فرآیند تف جوشی.

این موضوع نشان میدهد که در مراحل ساخت و آمادهسازی نمونهها، تفجوشی یک فرآیند مهم بوده و سهم زیادی در افزایش چگالی و کاهش درصد تخلخل داشته است و طبیعتا باعث بهبود خواص مکانیکی نمونهها

می شود. با نگاهی دقیق تر به نتایج بدست آمده، مشاهده می شود که نمونه های کامپوزیتی نسبت به نمونه های آلومینیم تقویت نشده، دارای تخلخل بیشتری می باشد. علت این امر را می توان به مرحله مخلوط کردن و فشر ده سازی اولیه پودرها در فرآیند تولید نسبت داد. در پودرهای حاوی نانو ذرات SiC، با توجه به دانسیته بالک پایین پودر نانو SiC (۲۰۶۹ g/cm³) از تراکم مناسبی بر خوردار نیست و ممکن است در مناطقی نانو ذرات SiC توده ای و باعث افزایش میزان تخلخل در نمونه های کامپوزیتی شده باشد.



۳–۳– بررسی اثر دما بر رفتار سایش

شکل ۱۰ تغییرات نرخ سایش نمونهها را بر حسب دما نشان میدهد.



همان گونه که مشاهده می شود، نمودار سایش نمونه ها از دو منطقه شامل سایش ملایم و سایش شدید تشکیل شده است و یک دمای انتقال بحرانی از ناحیه سایش ملایم به ناحیه سایش شدید وجود دارد که در دماهای بالاتر از این دما، افزایش قابل توجهی در نرخ سایش رخ می دهد. برای نمونه آلومینیم تقویت نشده، افزایش دما از Co ۲۵ - ۲۵ تقریباً موجب کاهش نرخ سایش شده که نشان از وجود سایش ملایم است. اما افزایش دما از Co ۲۵ به بالا، سبب تغییر شیب نرخ سایش بر حسب دما شده است به گونه ای که نرخ سایش

نمونه آلومينيم تقويت نشده به شدت افزايش مييابد. اين تغيير شيب و افزایش نرخ سایش، نشان از تغییر نوع سایش از نوع ملایم به شدید است و بیان گر این است که دمای انتقال سایش ملایم به شدید آلومینیم تقویتنشده ℃ ۱۲۵ است. افزودن نانو ذرات SiC به آلومینیم و ساخت کامپوزیت، باعث شده است که نرخ سایش در منطقه سایش ملایم با کاهش شیب بسیار کم و مقدار سایش کمتری نسبت به آلومینیم تقویت نشده تغییر کند که این مورد در کامپوزیت با ۵ درصد کسر حجمی SiC بیشتر مشاهده می شود. با عنایت به شکل ۱۰ می توان انتظار داشت که با افزایش فاز تقویت کننده در نانوکامپوزیت Al-SiC مقاومت به سایش بهبود یابد، در حالی که شدت کاهش نرخ سایش در درصدهای کم SiC مشهودتر می باشد. به عنوان نمونه افزودن ۱ درصد SiC به آلومینیم در دمای ۲۵۰C موجب کاهش نرخ سایش به میزان ۳۱ درصد شده در حالی که این میزان کاهش برای افرایش فاز تقویت کننده از ۳ به ۵ درصد به میزان ۲۰/۳ درصد میباشد. که این موضوع با توجه به شکلهای ۷ و ۹می تواند در ارتباط با کاهش دانسیته و افزایش تخلخل کامپوزیت در اثر افزایش SiC باشد. بنابراین مراحل ساخت، آمادهسازی نمونهها و تفجوشی یک فرآیند مهم در تولید نانوکامپوزیت بوده و سهم زیادی در کیفیت محصول و خواص سایشی آن خواهد داشت. با توجه به نمودار شکل ۱۰ مشخص می شود که در منطقه سایش ملایم، افزایش دما تاثیر زیادی بر نرخ سایش نمونهها ندارد و حتی باعث کم شدن نرخ سایش به میزان کم شده است. این رفتار را می توان به تشکیل یک لایه اکسیدی محافظ بر روی سطوح تماس نمونهها در حین سایش نسبت داد [۱۲].

زمانی که سایش در دمای بالا صورت می گیرد، اکسید شدن مواد تاثیر قابل توجهی بر رفتار سایشی دارد. در کامپوزیتهای زمینه آلومینیمی، سطوح سایش میتوانند با اکسیژن محیط واکنش داده و ایجاد یک لایه اکسیدی نماید. این لایه اکسیدی میتواند به عنوان روانساز عمل نماید و منجر به کاهش نرخ سایش گردد. سایش لغزشی با ایجاد یک لایه اتمسفری در سطح خراشیده شده آغاز میشود و در ابتدای سایش این لایه اتمسفری نازک میان مواد در حال تماس (پین و نمونه مورد آزمایش) بهعنوان روانساز جامد عمل است. در مرحله دوم (سایش شدید) لایه اتمسفری دیگر قادر نیست در برابر است. در مرحله دوم (سایش شدید) لایه اتمسفری دیگر قادر نیست در برابر افزایش دما و سایش ناشی از آن مقاومت کند و لذا نرخ سایش افزایش افزایش دما و سایش ناشی از آن مقاومت کند و لذا نرخ سایش افزایش میود، عنصر اکسیژن تایید میگردد. وجود عنصر اکسیژن میتواند حضور لایه اکسیدی میتواند دهد[۱۲].

مطابق شکل ۱۱-الف این لایه اکسیدی به صورت لایههای روشن روی سطوح سایش نمونههای کامپوزیتی قابل رؤیت است. با افزایش دما این لایه اکسیدی میتواند ضخیم شود و اثر روانسازی آنها افزایش مییابد و بنابراین همان گونه که در شکل ۱۰ دیده میشود، نرخ سایش نمونهها در ناحیه سایش ملایم، با افزایش دما تقریباً کاهش یافته است. اما با افزایش بیشتر دما (ناحیه سایش شدید)، نرخ سایش نمونهها شدیداً افزایش یافته است که این افزایش برای نمونه آلومینیم تقویت نشده بیشتر نمایان است. این رفتار به این علت است که در دماهای بالا (بالاتر از دمای انتقال به سایش شدید)، فاز زمینه بهتدریج نرمتر میشود و نمونه از استحکام کافی در برابر سایش برخوردار نیست و درنتیجه چسبندگی و انتقال آن به پین فولادی افزایش مییابد که این موضوع باعث افزایش ضریب اصطکاک و نرخ سایش خواهد شد.



بنابراین در مورد تمامی نمونهها یک دمای بحرانی وجود دارد بهطوری که در این دما کمترین مقدار نرخ سایش حاصل میشود. نکته مهم و قابل بحث در نمودار شکل ۱۰ این است که دمای انتقال به سایش شدید نمونههای کامپوزیتی بیشتر از آلومینیم تقویت نشده است. همان گونه که ملاحظه می شود نمونه Al-1%SiC در دمای ۱۵۰۰C ، نمونه Al-3%SiC و Al-SiC در دمای ۲۵۰C دچار تغییر شیب سایش و انتقال سایش ملایم به شدید شده است که نشان از اثر مثبت ذرات تقویت کننده در بالا بردن دمای انتقال به سایش شدید و بهبود رفتار سایشی دما بالای نمونهها دارد، به گونهای که افزودن یک و سه درصد نانو SiC به ترتیب باعث افزایش ۲۵۰C و ۵۰۰۵ دمای انتقال به سایش شدید شده است. افزایش کسرحجمی نانوذرات SiC به پنج درصد باعث افزایش دمای انتقال به سایش شدید نسبت به نمونه Al-3%SiC نگردیده است. باید به این نکته توجه داشت که اگر چه افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده از ۳ به ۵ درصد نتوانسته دمای انتقال به سایش شدید را افزایش دهد اما میزان نرخ سایش نمونه Al-5%SiC کمتر از نمونه Al-3%SiC است و رفتار سایشی بهتری دارد. نکته دیگری که در مورد اثر مثبت ذرات تقویت کننده می توان مشاهده کرد این است که پس از انتقال سایش ملایم به شدید، با افزایش دما نمودار نرخ سایش نمونههای کامپوزیتی در مقایسه با آلومینیم تقویت نشده با شیب کمتری افزایش می یابد و نمونهها از نرخ سایش کمتری برخوردار بوده که این موضوع در مورد نمونه Al-5%SiC نمود بیشتری دارد و باعث کنترل بیشتر نرخ سایش شده است.

شکل ۱۲ نمودار ضریب اصطکاک متوسط بر حسب دما را برای نمونههای کامپوزیتی و آلومینیم تقویت نشده نشان میدهد. با مقایسه نمودار شکلهای ۱۰و ۱۲ میتوان به این نتیجه رسید که نمودار ضریب اصطکاک نمونهها تقریبا شبیه نمودار نرخ سایش بر حسب دما است به گونهای که برای

www.SID.ir

شریه علوم و فناوری ک**امیو زیت**

تمامی نمونهها، در منطقه سایش ملایم، افزایش دما تاثیر چندانی بر ضریب اصطکاک نمونهها نداشته است.



اما با افزایش دما و عبور از دمای انتقال به سایش شدید، ضریب اصطکاک نمونهها با شیب قابل ملاحظهای افزایش پیدا کرده است. طبیعی است که با افزایش دما و با عبور از منطقه سایش ملایم، با تشدید میزان سایش نمونهها، ناهمواریهای سطحی افزایش پیدا کرده و باعث افزایش ضریب اصطکاک میشود. نکته قابل ملاحظه، کمتر بودن میزان ضریب اصطکاک متوسط نمونههای کامپوزیتی در مقایسه با آلومینیم تقویت نشده است. همچنین در اینجا نقش مثبت افزایش کسرحجمی نانوذرات SiC در کمتر کردن میزان ضریب اصطکاک قابل مشاهده است. همان طور که مشاهده میشود، ضریب اصطکاک نمونه AI-5%SiC کمتر از SiC-AI-3%SiC و AI-1%SiC و AI-1%SiC و است. افزایش کسرحجمی ذرات تقویت کننده سبب افزایش استحکام و همچنین بهبود مقاومت به سایش نمونهها در دماهای بالا شده است.

۳-۴- بررسی سطوح سایش

شکل ۱۳ تصاویر SEM از سطوح سایش نمونه ها را در دمای C۰ (منطقه سایش ملایم) نشان میدهد. از مقایسه این تصاویر با یکدیگر، مشخص می شود که تمامی نمونه ها از شرایط سطحی مناسبی برخوردار هستند و تغییر شکلهای پلاستیک بسیار کمی در آنها مشاهده می شود. وجود خطوط ممتد و موازی نشان از مشخصه سایش خراشان برای تمامی نمونهها دارد و نشان میدهد که نوع غالب در منطقه سایش ملایم برای تمامی نمونهها، نوع سایش خراشان است. این موضوع را نیز می توان از میزان نرخ سایش نمونهها نیز تایید کرد. با نگاهی به نمودار شکل ۱۰ مشخص می شود که تمامی نمونهها از نرخ سایش کمی برخوردار هستند و نمونهها از مقاومت خوبی در برابر سایش دارند. با نگاهی دقیقتر به تصاویر شکل ۱۳ نمایان میشود که میزان آشفتگی و تغییر شکل پلاستیک نمونههای کامپوزیتی در مقایسه با نمونه آلومينيم تقويت نشده كمتر است، يعنى افزودن نانوذرات SiC باعث افزایش مقاومت به سایش و کاهش تغییر شکلهای پلاستیک شده است که این موضوع با افزایش کسرحجمی نانوذرات SiC نمود بیشتری پیدا میکند و نوع سایش خراشان برای نمونه Al-5%SiC به خوبی نمایان است. نمودار شکل ۱۰ نیز تایید کننده این موضوع است که در منطقه سایش ملایم، افزودن نانوذرات SiC باعث کاهش میزان نرخ سایش میشود.



شکل ۱۳ تصاویر SEM از سطح سایش نمونهها در دمای C ۷۵ (سایش ملایم) الف) Al-5%SiC (د Al-3%SiC ج) Al-5%SiC د Al-5%SiC

شکل ۱۴ تصاویر SEM از سطوح سایش نمونهها را در دمای ۲۰۰۰C (منطقه سایش شدید) نشان میدهد. از مقایسه این تصاویر با تصاویر شکل ۱۴ مشخص می شود که نمونه ها دچار سایش شدید و تغییر شکل های پلاستیک آنها بسیار زیاد شده است. تغییر شکلهای پلاستیک زیاد و وجود ترکهای عرضی در سطح سایش نمونهها از مشخصههای اصلی نوع سایش چسبان است. همچنین سایش بالای نمونهها (نمودار شکل ۱۰)، وجود سایش چسبان را تایید میکند. در واقع افزایش دما باعث می شود که زمینه نرمتر شود و مقاومت خود را در برابر سایش از دست بدهد. این موضوع باعث چسبیدن پین سایش به سطح نمونه و جدا شدن تکههایی از سطح نمونه در حین سایش شود که این خود باعث افزایش تغییر شکلهای پلاستیک در سطح سایش و افزایش میزان وزن کاسته شده گردد.

نکته مهم این است که میزان آسیبهای سطحی و تغییر شکلهای نمونههای کامپوزیتی Al-3%SiC و Al-5%SiC نسبت به نمونه آلومینیم تقویت نشده کمتر است و اگر چه تمامی نمونهها (به جز Al-5%SiC) دارای سایش چسبان بوده اما این نوع سایش برای نمونه آلومینیم تقویتنشده بیشتر نمایان است. در توجیه این موضوع باید اشاره داشت که همان گونه که قبلاً اشاره شد، آلومینیم تقویتنشده در دمای ۱۲۵۰C و نمونههای Al-3%SiC و Al-5%SiC در دمای ۱۷۵۰C دارای دمای انتقال به سایش شدید هستند. طبیعتا در این دما (۲۰۰۰C)، نمونه آلومینیم تقویتنشده از میزان نرخ سایش بیشتری در مقایسه با نمونههای کامپوزیتی برخوردار است و به همین دلیل میزان تغییر شکل پلاستیک و آشفتگیهای سطحی آن نیز بیشتر است. در واقع، حضور نانوذرات SiC باعث افزایش استحکام و پایداری فاز زمینه شده و مقاومت در برابر تغییر شکل پلاستیکی فاز زمینه را افزایش میدهد. کلیه این عوامل باعث كاهش از بين رفتن ماده در اثر سايش مي گردد. بنابراين مي توان گفت که به دلیل نقش موثر نانو ذرات SiC در داخل زمینه کامپوزیت، نه تنها سایش شدید در کامپوزیت نسبت به آلومینیم تقویتنشده در دماهای بالاتری رخ میدهد بلکه باعث کاهش تغییر شکل پلاستیک و ترکهای عرضی شده

است. ذکر این نکته لازم است که اگر چه برای نمونه Al-5%SiC نشانههایی از سایش چسبان مشاهده می شود اما سایش غالب همچنان خراشان است.



شکل ۱۴ تصاویر SEM از سطح سایش نمونهها در دمای C۰۰ ۲۰۰ (سایش شدید) الف) Al-5%SiC (د) Al-3%SiC ج) Al-1%SiC د) Al-5%SiC

۴-نتیجهگیری

۰. بررسیهای میکروسکوپی و همچنین آنالیزهای EDS نشان داد که نمونههای کامپوزیتی ساخته شده به روش متالورژی پودر از توزیع مناسب ذرات تقویت کننده و عدم وجود فازهای ناخواسته برخوردارند.

۲. دمای انتقال از ناحیه سایش ملایم به ناحیه سایش شدید برای نمونه آلومینیم تقویتنشده ۵°۱۲۵ می باشد. افزودن ۱، ۳ و ۵ درصد نانوذرات SiC به آلومینیم به ترتیب باعث افزایش دمای انتقال به سایش شدید به میزان ۲۵ ،۵۰۰ و C°۵۰ می شود.

۳. در تمامی دماها، نرخ سایش و ضریب اصطکاک نمونههای کامپوزیتی کمتر از آلومینیم تقویتنشده میباشد و افزایش کسر حجمی فاز تقویت کننده باعث کاهش نرخ سایش و ضریب اصطکاک می شود.

۴. نوع سایش غالب در ناحیه سایش ملایم، از نوع خراشان می باشد، در حالی که با افزایش دما و در منطقه سایش شدید نوع سایش تمامی نمونهها به جز نمونه Al-5%SiC به چسبان تغییر مییابد.

۵- مراجع

- [1] Gopalakannan, S. and Senthilvelan, T., "Application of response surface method on machining of Al-SiC Nano-composites", Measurement, Vol. 46, pp. 2705- 2715, 2013.
- [2] Raoa, R.N. and Das b, S., "Effect of matrix alloy and influence of SiC particle on the sliding wear characteristics of aluminum alloy composites" Materials and Design, Vol. 31, pp. 1200-1207, 2010.
- [3] S-ahin, Y., "Abrasive wear behavior of SiC/ 2014 aluminum composite", Tribology International, Vol. 43, pp. 939–943, 2010.
- [4] Ahlatci, H. Kocer, T. Candan, E. and Cimenoglu, H., "Wear behavior of Al/ (Al₂O_{3p}+SiC_p) hybrid composites", Tribol. Vol. 39, pp. 213– 220- 2006.
- Sahin, Y., "Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminum alloy composites", Materials and Design, Vol. 24, pp. 671-679,
- [6] Woo, K. D. and Zhang, D. L., "Fabrication of Al- 7wt%Si- 0.4wt%Mg/ SiC Nano composite powders and bulk Nano composites by high energy ball

milling and powder metallurgy", Current Applied Physics, Vol. 4, pp. 175-178, 2004.

- [7] Modi, O. P. Prasad, B. K. Vegneswaran, A. H. and Vaidya, M. L., "Dry sliding wear behavior of squeeze cast aluminum alloy-silicon carbide composites", Material Science and Engineering, Vol. 151, pp. 235- 245, 1992.
- [8] Bauri, R. and Surappab, M.K., "Sliding wear behavior of Al-Li-SiCp composites", Wear, Vol. 265, pp. 1756-1766, 2008.
- [9] Ramesh, C. S. and Ahamed, A., "Friction and wear behavior of cast Al 6063 based in sit metal matrix composites", Wear, Vol. 271, pp. 1928- 1939, 2011.
- [10] Muratoglu, M. and Aksoy, M., "Abrasive wear of 2124Al– SiC composites in the temperature range 20–200 C°", J. Mater. Proc. Technol, Vol. 174, pp. 272–276, 2006.
- [11] Cantor, B. Dunne, F. and Stone, I., "Metal and ceramic matrix composites", IOP, 2004.
- [12] Singh, J. and Alpas, A.T., "High-Temperature Wear and Deformation Processes in Metal Matrix Composites", Metall. Mater.Trans. Vol. 27, pp. 3135-3148, 1996.
- [13] Saka, N. and Karalekas, D. P., "Friction and wear of particle reinforced metal-ceramic composites", Wear of Metals, Vol. 175, pp. 784-793, 1985.