



بررسی اثر بار اعمالی بر رفتار سایشی نانو کامپوزیت Al/SiC_p تولید شده به روش متالورژی پودر در آسیاب پرانرژی

حسن شریفی^۱، دانیال داودی^۲، مهدی علیزاده^۳

۱. استادیار - دانشگاه شهرکرد - دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی مواد و متالورژی

۲. کارشناسی ارشد - دانشگاه شهرکرد - دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی مواد و متالورژی

۳. استادیار - پژوهشگاه مواد و انرژی کرج

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، بررسی رفتار سایشی نانو کامپوزیت (Al/ X vol %SiC (x=0, 1, 3 and 5) در بارهای اعمالی متفاوت می باشد. بدین منظور نمونه هادر یک آسیاب پر انرژی به مدت ۱ ساعت تحت آتمسفر آرگون و با نسبت وزنی پودر به گلوله ۱۰:۱ آسیا شدند. جهت بررسی اثر بار اعمالی بر رفتار سایشی نمونه ها، آزمون سایش تحت بارهای ۳، ۸ و ۲۰ نیوتن در شرایط سرعت لغزش ۰/۱۱ m/s در دمای محیط و مسافت لغزش ۱۰۰۰ m قرار گرفتند. نتایج نشان داد در تمامی بارهای اعمالی یکسان، نمونه های کامپوزیتی نرخ سایش کمتری نسبت به آلومینیوم تقویت نشده دارند. همچنین افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده، باعث کاهش میزان نرخ سایش و ضریب اصطکاک نمونه های کامپوزیتی گردید که این شرایط برای نمونه Al-5 vol %SiC از نمود بیشتری برخوردار می باشد. با توجه به تصاویر SEM در بار اعمالی ۳ نیوتن مکانیزم غالب سایش نمونه ها، خراشان و با افزایش نیرو این مکانیزم برای تمامی نمونه ها به جز نمونه Al-5 vol % SiC به حالت چسبان تغییر می کند.

واژه های کلیدی: نانو کامپوزیت Al/ SiC_p، سایش، متالورژی پودر.

مقدمه

آلومینیوم به سبب دانسیته پایین، رسانایی حرارتی بالا، دمای ذوب نسبتاً پایین و شکل پذیری خوب از جمله مواد مطلوب برای بسیاری از کاربردهای مهندسی است، اما آلومینیوم به تنهایی خواص تریبولوژیکی ضعیفی دارد. افزودن تقویت کننده‌های سرامیکی به آلومینیوم باعث بهبود استحکام، افزایش مقاومت به سایش و حتی بالابردن دمای کاربردیشان می‌شود. انواع متنوعی از سرامیک‌ها به سبب خواص ویژه‌ای چون سختی بالا، مقاومت فشاری بالا و مقاومت به سایش خوب به عنوان تقویت کننده برای زمینه آلومینیوم به کار می‌روند که از مهمترین و پرکاربردترین آنها می‌توان به نانوذرات SiC و Al_2O_3 اشاره کرد [۱-۳]. روشهای بسیار زیادی جهت تهیه کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی وجود دارد، اما اولین نیاز یک کامپوزیت برای داشتن کارایی لازم، توزیع یکنواخت فاز تقویت کننده در فاز زمینه است. متالورژی پودر روشی است که توزیع ذرات بسیار یکنواخت و همگنی را ایجاد می‌کند و به همین دلیل توجه ویژه‌ای به آن می‌شود [۴]. کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی به عنوان مواد با ویژگی‌هایی از جمله مقاوم به سایش، نسبتاً استحکام به وزن بالا و مقاومت به خوردگی مطلوب مطرح شده‌اند که کاربردهای بسیار وسیعی در صنایع پیشرفته چون هوا-فضا، خودروسازی، دفاعی و حتی ورزشی پیدا کرده‌اند [۵]. مقاومت سایشی کامپوزیت‌های زمینه آلومینیوم توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است، اما قیاس بین نتایج آنها ممکن نیست. علت این مسئله آن است که مقاومت در برابر اصطکاک و سایش جز خواص ذاتی ماده نبوده و بسته به شرایط از جمله بار اعمالی، دمای محیط، سرعت لغزش، نوع و درصد حجمی تقویت کننده تغییر می‌کند. در تقویت نمودن آلیاژهای آلومینیوم با ذرات سرامیکی، دیده شده که عمدتاً رفتار سایشی ماده بهبود می‌یابد. اگر تقویت کننده به خوبی با زمینه پیوند داشته باشد، نرخ سایش توسط نرخ سایش تقویت کننده کنترل می‌شود و عمدتاً افزایش کسر حجمی تقویت کننده باعث کاهش نرخ سایش کامپوزیت می‌گردد [۶]. بار اعمالی در هنگام فرآیند سایش، کنترل کننده میزان تغییر شکل پلاستیک در نقاط تماس زبری‌های سطوح سایشی است. بنابراین، در صورتی که میزان بار اعمالی ناچیز باشد، این تغییر شکل در حد الاستیک باقی مانده و سایش ایجاد شده احتمالاً بر اثر خستگی است. با این حال با افزایش میزان بار اعمالی، میزان سایش نیز بیشتر می‌شود [۷]. Bauri و همکارانش در بررسی اثر بار اعمالی بر نرخ سایش کامپوزیت Al-Li/SiC دریافتند که نرخ سایش پس از رسیدن بار به یک حد معین به شدت افزایش می‌یابد. آنها 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 [۸]. Qutub و همکارانش بر پایه مطالعات خود اعلام کرده‌اند که در کامپوزیت $Al_{60}Si_{40}/Al_2O_3$ در فرسایش ملایم اثرات سایش خراشان به چشم می‌خورد در حالی که برای نمونه‌های در حال گذر، مکانیزم حاکم لایه لایه شدن و در مورد نمونه‌های ساییده شده با نیروی بالا، مکانیزم غالب چسبندگی است [۹]. N.El-Tayeb روند افزایش سایشی با افزایش بار اعمالی را با مکانیزم تشکیل مناطق تغییر شکل پلاستیک یافته در لایه‌های زیر سطح سایش توضیح داده است. در بارهای کم این مناطق محدود و کوچک بوده و سایش ملایم است اما با افزایش بار، این مناطق افزایش می‌یابند و در تعامل با یک دیگر

سبب سایش شدید می‌شوند [۱۰]. در این پژوهش به بررسی اثر کسر حجمی فاز تقویت کننده بر سایش خشک نانو کامپوزیت Al/ X vol% SiC در بارهای اعمالی مختلف پرداخته می‌شود.

مواد و روش تحقیق

در این پژوهش از پودر آلومینیوم با خلوص ۹۹/۷ درصد با متوسط اندازه ذرات ۴۵μm ساخت شرکت متالورژی پودر خراسان به عنوان زمینه و از نانو پودر β -SiC با ساختار مکعبی و با خلوص ۹۹/۹۹ درصد با متوسط اندازه ذرات ۴۵nm ساخت شرکت USnano به عنوان فاز تقویت کننده استفاده شد. شکل (۱) و (۲) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه آنالیز EDX آلومینیوم و SiC را نشان می‌دهد. نمونه‌های کامپوزیتی در کسر حجمی های ۰، ۱، ۳ و ۵ درصد نانو کاربرد سیلیسیم به روش متالورژی پودر در آسیاب پراثری تهیه گردیدند. آسیاب کاری نمونه ها در یک آسیاب سیاره ای پراثری مدل ۳۵۰*۴-MPM با ۲۵۰ دور در دقیقه و نسبت وزنی پودر به گلوله ۱:۱۰ با گلوله‌های فولادی زنگ نزن ضد سایش و تحت آتمسفر گاز خنثی آرگون با خلوص ۹۹/۹۹ به مدت ۱ ساعت انجام شد. همچنین به دلیل چسبندگی ذرات آلومینیوم به گلوله ها از اسید استئاریک به میزان ۱ درصد استفاده گردید. بررسی ساختار محصولات نیز به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل (Philips- XLS) انجام گرفت. نمونه ها در یک قالب یکطرفه و تحت فشار ۵۰۰ مگاپاسکال فشرده شده و در یک کوره‌ی لوله ای تحت آتمسفر آرگون مدل ۱۵۰۰-۴۰/TF۵ ساخت شرکت آذر کوره ایران به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۱۰°C تف جوشی شدند. جهت بررسی و اندازه گیری سختی نمونه‌های کامپوزیتی، از دستگاه سختی سنج Universal شرکت البرز کوشا استفاده گردید. سختی نمونه‌ها در مقیاس راکول B و بر اساس استاندارد ASTM (E ۱۸-۰۳) اندازه گیری 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 ۵۰ میلیمتر و قطر ۵ میلیمتر با سطح تماس ۳ میلیمتر از جنس فولاد ۵۲۱۰۰ با سختی Rc ۶۴ انجام شد. جهت بررسی اثر بار اعمالی بر رفتار سایشی نمونه‌ها، این آزمون در نیروهای ۳، ۸ و ۲۰ نیوتن انجام گردید. این نیروها با انجام آزمایشات اولیه و تست بارپذیری انتخاب شدند. جدول (۱) بیان گر شرایط تست سایش نمونه‌ها می‌باشد. برای انجام این آزمون مسافت سایش ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شد که نمونه‌ها در پایان هر ۲۰۰ متر توزین شده و کاهش وزن نمونه‌ها حاصل و نرخ سایش آن‌ها طبق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$(1) \quad \text{نرخ سایش} = \frac{\text{مسافت شده طی}}{\text{کاهش وزن}}$$

=نرخ سایش

نتایج و بحث

شکل های (۳) تا (۵) به ترتیب ریزساختار نانو کامپوزیت های $Al-1\%/SiC$ ، $Al-3\%/SiC$ و $Al-5\%/SiC$ را به همراه آنالیز EDS آنها نشان می دهد. یکی از مزایای کامپوزیت های زمینه آلومینیومی تهیه شده به روش متالورژی پودر، توزیع پیوسته و یکنواخت فاز تقویت کننده در زمینه است، به ویژه در بحث نانو کامپوزیت ها که توزیع فاز تقویت کننده به صورت همگن مشکل است. با استفاده از روش متالورژی پودر می توان به توزیع یکنواختی از فاز تقویت کننده دست یافت. این توزیع یکنواخت و پیوسته از فاز تقویت کننده می تواند بر بهبود خواص مکانیکی حاصل شده، موثر واقع شود [۴]. تصاویر مربوط به ریزساختار کامپوزیت های ساخته شده، گویای آن است که نانوذرات SiC توزیع یکنواخت و تقریباً همگنی را در بین ذرات آلومینیوم داشته و پدیده توده ای شدن نانوذرات SiC که در بحث فناوری نانو یک امر طبیعی و ناخواسته است در اینجا کمتر مشاهده می شود. البته باید به این موضوع نیز اشاره داشت که با افزایش کسر حجمی نانو ذرات SiC، میل به توده ای شدن نانوذرات SiC بیشتر می شود و همان طور که در تصاویر ریزساختاری کامپوزیت ها مشخص است، کامپوزیت با ۵ درصد نانو SiC، دارای نواحی توده ای شده بیشتری است. با توجه به آنالیز EDS که برای نانو کامپوزیت های با کسر حجمی های مختلف نشان داده شده است، مشخص است که نمونه ها آنالیز تقریباً ثابتی داشته و دارای پیک های یکسانی هستند. پیک Al گویای وجود فاز آلومینیوم و پیک های Si و C نشان دهنده وجود نانوذرات SiC است. نکته قابل توجه این آنالیزها، عدم وجود عناصر ناخواسته به ویژه اکسیژن است که نشان می دهد اثری از فاز اکسید آلومینیوم وجود ندارد و کامپوزیت از شرایط ترکیبی بسیار مناسبی برخوردار است، چرا که جلوگیری از اکسید شدن کامپوزیت های زمینه آلومینیومی در حین فرآیند ساخت، یک امر بسیار دشوار است. قابل ذکر است که فاز مضر Al_4C_3 در نمونه ها وجود ندارد، چرا که حداقل دما برای تشکیل این فاز $727/8\text{C}^\circ$ است [۱۱] و با توجه به دمای تف جوشی نمونه ها (610C°)، تشکیل این فاز از نظر ترمودینامیکی غیر ممکن است.

یکی از موارد مهم در ساخت کامپوزیت های زمینه آلومینیومی به روش متالورژی پودر، اتصال و پیوند ذرات آلومینیوم و ایجاد زمینه یکنواخت و یکپارچه است. شکل (۶) تصویر میکروسکوپی از اتصال ذرات آلومینیوم به یکدیگر را برای نمونه $Al-5\%/SiC$ را نشان می دهد. همان گونه که در شکل مشخص است، ذرات پودر آلومینیوم اتصال نسبتاً خوبی با یکدیگر داشته و به نظر می رسد که فشار پرس، دما و زمان تف جوشی در حین فرآیند ساخت مناسب و مطلوب بوده است. وجود حفره و تخلخل که در روش متالورژی پودر یک امر طبیعی است نیز در این شکل قابل مشاهده است. باید به این نکته اشاره داشت که حذف کامل تخلخل ها و حفرات در نمونه های ساخته شده به روش متالورژی پودر بسیار مشکل است و بیشتر سعی بر کم کردن تخلخل ها و افزایش درصد تراکم نمونه ها است. شکل (۷) سختی نمونه های کامپوزیتی و آلومینیوم تقویت نشده را قبل و بعد از فرآیند تف جوشی نشان می دهد. نکته بارز در این شکل، افزایش سختی نمونه های کامپوزیتی در مقایسه با آلومینیوم تقویت نشده، قبل و بعد از فرآیند تف جوشی است. همان طور که ملاحظه می شود، با افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده، سختی نمونه ها (چه قبل و بعد از فرآیند تف جوشی) افزایش می یابد. در مورد این پدیده باید توضیح داد که آلومینیوم و کاربید سیلیسیم، در مقیاس موسبه ترتیب دارای سختی $2/74$ و $9/4$ هستند. بدیهی است

که با افزودن نانوذرات SiC به آلومینیوم، سختی کامپوزیت تهیه شده در مقایسه با آلومینیوم تقویت نشده افزایش می‌یابد که این افزایش سختی با افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده نیز بیشتر می‌شود. نکته قابل مشاهده دیگر، افزایش سختی تمامی نمونه‌ها، اعم از آلومینیوم تقویت نشده و نمونه‌های کامپوزیتی، بعد از فرایند تف-جوشی است. همان‌طور که در شکل (۷) قابل ملاحظه است، سختی نمونه آلومینیوم تقویت نشده بعد از فرآیند تف جوشی ۳۶ درصد افزایش داشته است. همچنین سختی نمونه‌های $Al-1\%SiC$ ، $Al-3\%SiC$ و $Al-5\%SiC$ بعد از فرآیند تف جوشی به ترتیب ۳۰ و ۲۲ و ۳۱ درصد افزایش یافته است که نقش فرآیند تف جوشی را در بهبود خواص مکانیکی نمونه‌ها در حین فرآیند تولید نمایان می‌کند. شکل (۸) نمودار تغییرات کاهش وزن کل بر حسب نیرو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است آلومینیوم تقویت نشده در تمامی بارهای اعمالی از کاهش وزن کل بالایی در مقایسه با نمونه‌های کامپوزیتی برخوردار است. در اینجا نقش نانو ذرات SiC به عنوان فاز تقویت کننده در بهبود مقاومت به سایش و کم کردن میزان کاهش وزن نمونه‌ها قابل مشاهده است. با افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده از ۱ به ۵ درصد، مشاهده می‌شود که میزان کاهش وزن کل در تمامی بارهای اعمالی کمتر شده و نمایان گر این موضوع است که ذرات تقویت کننده باعث بهبود رفتار سایشی شده‌اند به گونه‌ای که افزایش کسر حجمی تقویت کننده تاثیر بهتری بر افزایش مقاومت به سایش می‌گذارد. همچنین به وضوح مشخص است با افزایش بار عمودی وارد شده در هنگام آزمون سایش، شدت سایش و میزان کاهش وزن تمامی نمونه‌ها افزایش می‌یابد. علت چنین رفتاری را این گونه می‌توان توجیه کرد که با افزایش بار اعمالی، میزان نفوذ پین سایشگر به درون نمونه افزایش می‌یابد. حال هر چه سختی نمونه بیشتر باشد، میزان نفوذ پین سایشگر به درون نمونه کمتر می‌شود و نمونه دچار سایش کمتری می‌شود. با توجه به شکل (۷) و نمودار شکل (۸) می‌توان به این موضوع پی برد، چرا که با افزایش کسر حجمی ذرات تقویت کننده و افزایش سختی نمونه‌ها، میزان سایش در بارهای اعمالی یکسان کمتر شده است و مقاومت به سایش آن بهبود یافته است. همچنین با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که در بار اعمالی ۳ نیوتن، میزان کاهش وزن کل نمونه‌های کامپوزیتی، تفاوت چندانی با هم ندارند اما با افزایش نیرو در بار اعمالی ۲۰ نیوتن، فاز تقویت کننده نقش خود را در بهبود رفتار سایشی نمونه‌ها به خوبی نمایان می‌کند به گونه‌ای که نمونه $Al-5\%SiC$ میزان کاهش وزن کل بسیار کمتری در مقایسه با نمونه‌های $Al-3\%SiC$ و $Al-1\%SiC$ دارد.

شکل (۹) رفتار سایشی نمونه‌ها را در نمودارهای نرخ سایش بر حسب مسافت در بارهای ۳، ۸ و ۲۰ نیوتن نشان می‌دهد. در بارهای اعمالی یکسان نقش افزایش کسر حجمی تقویت کننده‌ها در بهبود رفتار سایشی نمونه‌ها به خوبی نمایان است. نمونه‌های کامپوزیتی نرخ سایش کمتری نسبت به آلومینیوم تقویت نشده دارند که با افزایش کسر حجمی تقویت کننده نرخ سایش کمتر شده است. هنگام سایش تحت بار ۳ نیوتن (شکل ۹-الف) تفاوت قابل ملاحظه‌ای در عملکرد تقویت کننده‌های ۱، ۳ و ۵ درصد دیده نمی‌شود، اما در سایش تحت بار ۸ و ۲۰ نیوتن (شکل ۹-ب و ج) تاثیر تقویت کننده‌ها به وضوح قابل رویت است. در بار ۸ نیوتن نیز تقویت کننده‌ها تقریباً

مشابه عمل می کنند ولی تاثیر تقویت کننده های ۳ و ۵ درصد کمی بیشتر از ۱ درصد است. در سایش تحت بار ۲۰ نیوتن نرخ سایش تمامی نمونه ها در حالت پایدار نسبت به بارهای ۳ و ۸ نیوتن افزایش داشته است، اما مجدداً تقویت کننده ها سبب کاهش میزان سایش نسبت به آلومینیوم تقویت نشده شده اند به گونه ای که اثر فاز تقویت کننده ۵ درصد نمود بیشتری دارد و باعث افزایش مقاومت به سایش نمونه در بارهای اعمالی زیاد شده است. در توضیح این امر باید توجه داشت که سایش یک پدیده سطحی بوده و تقویت کننده ها در سطح تحت تاثیر موضعی نیرو قرار می گیرند، لذا درصد و چگونگی توزیع فاز تقویت کننده در سطح از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با افزایش مقدار فاز تقویت کننده، فاصله متوسط بین ذرات کم شده و تعداد ذرات سخت تحت تماس و سایش، در واحد طول به شدت افزایش می یابد. در مورد کامپوزیت با تقویت کننده ۱ درصد، فاصله متوسط تقویت کننده ها از یکدیگر بیشتر از کامپوزیت با ۳ درصد تقویت کننده و این دو بیشتر از کامپوزیت با ۵ درصد تقویت کننده است که نشان می دهد هر چقدر فاصله میانگین تقویت کننده ها کمتر باشد، توانایی کامپوزیت در افزایش مقاومت به سایش بهبود می یابد. همچنین بررسی های انجام شده بر رفتار سایشی کامپوزیت های زمینه آلومینیومی نشان می دهد که حضور ذرات تقویت کننده موجب افزایش سختی نمونه ها می شود و نرخ سایش با معکوس سختی ماده متناسب است، لذا با توجه به افزایش سختی کامپوزیت با افزایش درصد تقویت کننده، نرخ سایش کاهش می یابد [۱۲-۱۳]. شکل (۷) تایید کننده این موضوع است که افزایش کسر حجمی نانوذرات SiC باعث افزایش سختی نمونه ها شده است و به دنبال آن نرخ سایش نمونه ها کاهش پیدا کرده است. رفتار سایشی کامپوزیت ها به استحکام فصل مشترک زمینه و تقویت کننده بستگی دارد. در صورتی که اتصال فصل مشترک زمینه-تقویت کننده ضعیف باشد، ذرات تقویت کننده در حین تست سایش کنده شده و نه تنها باعث کاهش نرخ سایش نمی شود بلکه باعث سایش شدید می شود [۶]. پس می توان گفت یکی از عوامل موثری که باعث بهبود رفتار سایشی نمونه ها با افزایش کسر حجمی نانوذرات SiC شده است توزیع مناسب ذرات تقویت کننده و استحکام قوی فصل مشترک زمینه-تقویت کننده است. همان طور که در نمودارهای شکل (۹) مشاهده می شود مقاومت سایشی تمامی نمونه های با کسر حجمی تقویت کننده یکسان، با افزایش بار اعمالی، کاهش و نرخ سایش آنها زیاد می شود. علت چنین رفتاری بدین صورت قابل شرح است که در اثر بار عمودی، ناهمواری های سطوحی که در تماس با یکدیگر قرار دارند در یکدیگر فرو رفته و ایجاد قفل مکانیکی می کنند. در اثر تشکیل قفل های مکانیکی در سطح، حرکت سطوح بر روی یکدیگر مستلزم سایش ناهمواری های موجود در سطح و در نتیجه سایش سطوح است. لازم به ذکر است در چنین شرایطی، سایش بیشتر نصیب سطحی می شود که دارای سختی کمتری است. با افزایش بار عمودی، درهم تنیدگی سطوحی که در تماس با یکدیگر هستند افزایش یافته و در نتیجه حرکت نسبی بین دو سطح سبب سایش بیشتر سطوح و اتلاف بیش از پیش ماده می شود.

شکل (۱۰) تصاویر میکروسکوپی از سطح سایش نمونه ها را در بار اعمالی ۳ نیوتن نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود سطح سایش نمونه ها دچار تغییر شکل های پلاستیک کمی شده است و به نظر می رسد در این بار اعمالی (۳ نیوتن) دچار سایش کمی شده اند. همان طور که ملاحظه می شود مکانیزم اصلی سایش نمونه ها، سایش

خرایشان است. وجود خطوط موازی و تغییر شکل‌های پلاستیک کم مشاهده شده در تصاویر از مشخصه‌های اصلی سایش خراشان هستند. همچنین با توجه به نمودار شکل ۴-۸ مشخص می‌شود که نمونه‌ها از میزان نرخ سایش کمی برخوردار هستند که این موضوع وجود سایش خراشان را تایید می‌کند. با نگاهی دقیق‌تر به تصاویر شکل (۱۰) مشاهده می‌گردد که نمونه آلومینیوم تقویت‌نشده از میزان تغییر شکل‌های پلاستیک بیشتری نسبت به نمونه‌های کامپوزیتی برخوردار است. با افزودن نانوذرات SiC به آن و ساخت کامپوزیت مشاهده می‌شود که از میزان این تغییر شکل‌ها کاسته شده است که این موضوع برای نمونه‌های Al-۳٪SiC و Al-۵٪SiC بیشتر نمایان است که نشان از اثر مثبت نانوذرات SiC در بهبود رفتار سایشی نمونه‌ها دارد. باید به این نکته توجه داشت که اگر چه نمونه‌های آلومینیوم تقویت‌نشده و Al-۱٪SiC تغییر شکل‌های پلاستیک و آشفته‌گی‌های سطحی بیشتری نسبت به نمونه Al-۵٪SiC دارند، اما مکانیزم غالب آن‌ها سایش خراشان است. شکل (۱۱) تصاویر میکروسکوپی از سطوح سایش نمونه‌ها را در بار اعمالی ۲۰ نیوتن نشان می‌دهد. با مقایسه این تصاویر با تصاویر شکل (۱۰) مشخص می‌شود که افزایش نیرو از ۳ به ۲۰ نیوتن سبب شده است که تمامی نمونه‌ها از میزان سایش بالاتری برخوردار شوند و تغییر شکل‌های پلاستیک و آسیب‌های سطحی نمونه‌ها افزایش پیدا کند. همچنین نمونه‌های تحت سایش ۲۰ نیوتن ترک‌های عرضی بسیار زیادی را در مقایسه با سایش ۳ نیوتن دارند که این موضوع سبب حفره‌دار شدن و کنده شدن سطح نمونه‌ها به ویژه برای آلومینیوم تقویت‌نشده، شده است که این پدیده‌ها از مشخصه‌های اصلی سایش چسبان است. باید توجه داشت که افزایش نیرو در حین سایش باعث افزایش نفوذ پین سایش‌گر در نمونه می‌شود و اگر نمونه از استحکام کافی برخوردار نباشد، قسمت‌هایی از سطح نمونه به پین چسبیده و از سطح جدا می‌شود و باعث افزایش میزان سایش می‌گردد. حفراتی که در سطح نمونه‌های آلومینیوم تقویت‌نشده مشاهده می‌شود، در نتیجه جدا شدن بخشی از سطح نمونه در اثر چسبیدن به سطح پین سایش‌گر و مکانیزم سایشی آن چسبان است. اضافه کردن SiC به آلومینیوم به میزان ۱ و ۳ درصد اگر چه از آشفته‌گی‌های سطحی و تغییر شکل‌های پلاستیکی شدید کاسته است اما همان‌طور که مشاهده می‌شود این موضوع نتوانسته است جلوی سایش شدید نمونه‌ها را بگیرد و مکانیزم اصلی سایش برای نمونه‌های Al-۱٪SiC و Al-۳٪SiC همچنان سایش چسبان است. افزایش کسر حجمی نانو SiC به میزان ۵ درصد (نمونه Al-۵٪SiC) سبب کاهش چشم‌گیر تغییر شکل‌های پلاستیک و آسیب‌های سطحی در مقایسه با سایر نمونه‌ها شده است. همچنین از مقایسه تصاویر سطح نمونه Al-۵٪SiC در بار اعمالی ۳ و ۲۰ نیوتن مشاهده می‌گردد که اگر چه در بار اعمالی ۳ نیوتن، نمونه از میزان سایش پایین‌تری برخوردار است و تغییر شکل‌های پلاستیک و آشفته‌گی‌های سطحی آن نیز کمتر است اما هنوز مشخصه‌های اصلی سایش خراشان برای نمونه Al-۵٪SiC در بار اعمالی ۲۰ نیوتن مشاهده می‌شود و می‌توان گفت مکانیزم غالب، سایش خراشان است.

نتیجه‌گیری

- ۱) بررسی‌های میکروسکوپی و همچنین آنالیزهای EDS نشان می‌دهد که نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده به روش متالورژی پودر از توزیع مناسب ذرات تقویت کننده و عدم وجود فازهای ناخواسته برخوردارند.
- ۲) افزایش کسر حجمی نانوذرات SiC تا ۵ درصد، باعث افزایش سختی نمونه‌های کامپوزیتی می‌گردد.
- ۳) در بارهای اعمالی یکسان، آلومینیم تقویت نشده در مقایسه با نمونه‌های کامپوزیتی از نرخ سایش بیشتری برخوردار بود و افزایش کسر حجمی فاز تقویت کننده باعث کاهش نرخ سایش نمونه‌های کامپوزیتی می‌گردد.
- ۴) افزایش بار اعمالی باعث افزایش نرخ سایش تمامی نمونه‌ها می‌شود که آلومینیم تقویت نشده و نمونه Al-SiC ۵٪ به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش را داشتند.
- ۵) افزایش بار اعمالی سبب تغییر مکانیزم سایش تمامی نمونه‌ها به جز Al-SiC ۵٪ از خراشان به چسبان می‌شود.

مراجع

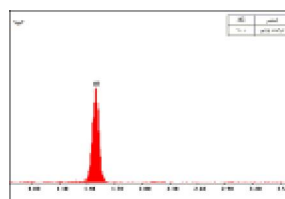
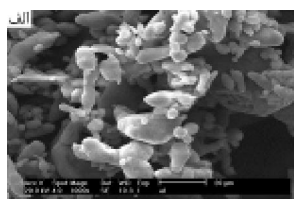
۱. S. Gopalakannan, T. Senthilvelan, "Application of response surface method on machining of Al-SiC Nano-composites", Measurement, Vol. ۴۶, ۲۰۱۳, ۲۷۰۵- ۲۷۱۵.
۲. Yusuf S-ahin, "Abrasive wear behavior of SiC/۲۰۱۴ aluminum composite", Tribology International, Vol. ۴۳, ۲۰۱۰, ۹۳۹- ۹۴۳.
۳. Y. Sahin, "Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminum alloy composites", Materials and Design, Vol. ۲۴, ۲۰۰۳, ۶۷۱- ۶۷۹.
۴. K.D. Woo, D.L. Zhang, "Fabrication of Al-۷wt%Si-۰.۴wt%Mg/SiC Nano composite powders and bulk Nano composites by high energy ball milling and powder metallurgy", Current Applied Physics, Vol. ۴, ۲۰۰۴, ۱۷۵-۱۷۸.
۵. R.N. Rao a, S. Das b "Effect of matrix alloy and influence of SiC particle on the sliding wear characteristics of aluminum alloy composites" Materials and Design, Vol. ۳۱, ۲۰۱۰, ۱۲۰۰- ۱۲۰۷.
۶. O. P. Modi, B. K.Prasad, A. H. Vegneswaran, M. L. Vaidya, "Dry sliding wear behavior of squeeze cast aluminum alloy-silicon carbide composites", Material Science and Engineering, Vol. ۱۵۱A, ۱۹۹۲, ۲۳۵-۲۴۵.
۷. G. W. Stachowiak, A. W. Bachelor, Engineering Tribology. ۲nd Ed. USA: Butterworth Heinemann, ۲۰۰۱.
۸. R. Bauri, M.K. Surappab, "Sliding wear behavior of Al-Li-SiC_p composites", Wear, Vol. ۲۶۵, ۲۰۰۸, ۱۷۵۶-۱۷۶۶.
۹. A. M. Al-Qutub, I.M. Allam, T.W. Qureshi, "Effect of sub-micron Al₂O₃ concentration on dry wear properties of ۶۰۶۱ aluminum based composite", Materials Processing Technology, Vol. ۱۷۲, ۲۰۰۶, ۳۲۷-۳۳۱.

پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح

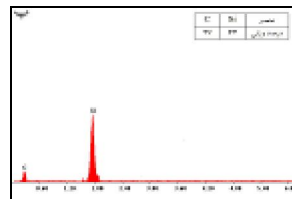
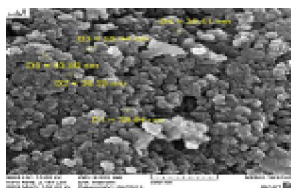
۱۰. N. El-Tayeb, "The variation of hardness and wear coefficient in sliding wear of copper and aluminum alloys", Wear, Vol. ۱۷۴, ۱۹۹۴, ۶۳-۶۹.
۱۱. B. Cantor, F. Dunne, I. Stone, "Metal and ceramic matrix composites", IOP, ۲۰۰۴.
۱۲. W. Zhongshanl, W. Shenqing, "Wear properties of potassium titan ate whiskers reinforced Al-۱۲Si alloy composites", Research& Development, Vol. ۳۰, ۲۰۰۹, ۳۳-۳۶.
۱۳. M. Hutching, "Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials", UK: Edward Arnold, ۱۹۹۲.

جدول ۱: شرایط تست سایش نمونه‌ها

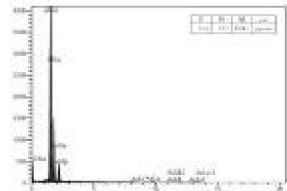
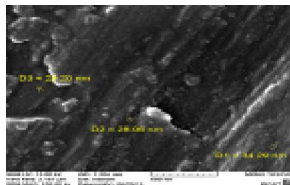
۰/۱۱	سرعت خطی (m/s)
۱۰۰۰	مسافت (m)
۲۳	دما (C°)
۶۰	رطوبت %
۱۵	شعاع سایش (mm)



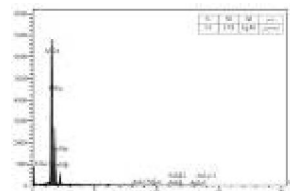
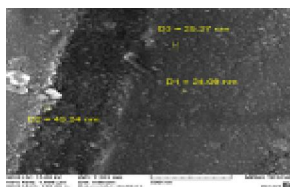
شکل ۱: تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی پودر آلومینیوم به همراه آنالیز EDS



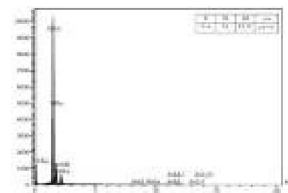
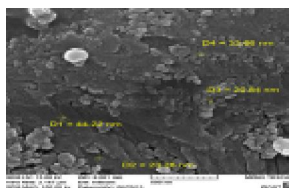
شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی از پودر SiC به همراه آنالیز EDS



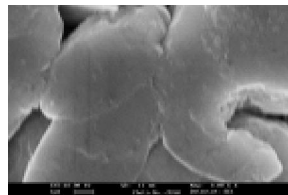
شکل ۳: تصویر ریزساختار کامپوزیت Al-۱٪SiC به همراه آنالیز EDS



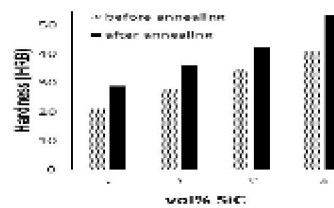
شکل ۴: تصویر ریزساختار کامپوزیت Al-۳٪SiC به همراه آنالیز EDS



شکل ۵: تصویر ریزساختار کامپوزیت Al-۵٪SiC به همراه آنالیز EDS

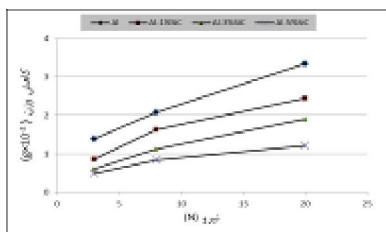


شکل ۶: تصویر میکروسکوپی از ذرات آلومینیوم در کامپوزیت Al-۵٪SiC

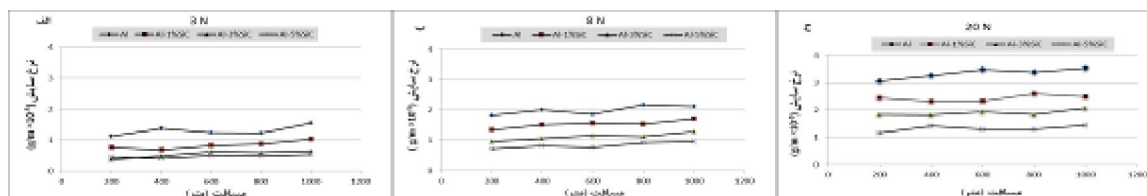


شکل ۷: تغییرات میزان سختی قبل و بعد از فرآیند تف جوشی

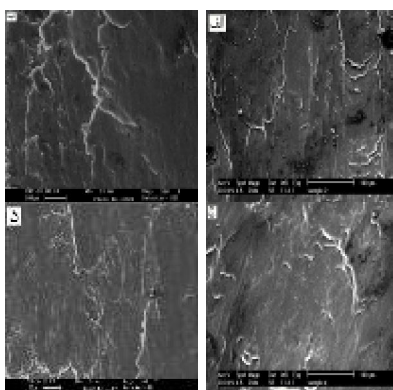
پانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



شکل ۸: نمودار کاهش وزن کل نمونه‌های ساییده شده بر حسب نیرو

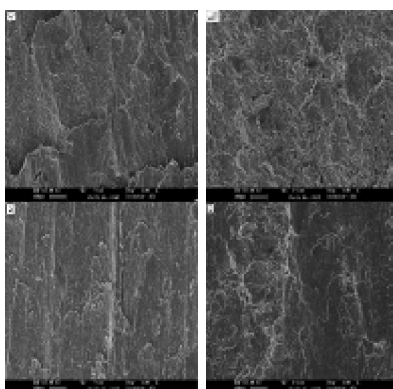


شکل ۹: تغییرات نرخ ساییدگی بر حسب مسافت در نیروهای الف) ۳ نیوتن ب) ۸ نیوتن و ج) ۲۰ نیوتن



شکل ۱۰: تصاویر میکروسکوپی از سطح سایش نمونه‌های الف) Al، ب) Al-۱٪SiC

ج) Al-۵٪SiC و د) Al-۳٪SiC در بار ۳ نیوتن



شکل ۱۱: تصاویر میکروسکوپی از سطح سایش نمونه‌های الف) Al، ب) Al-۱٪SiC

ج) Al-۳٪SiC و د) Al-۵٪SiC در بار ۲۰ نیوتن

بررسی اثر بار اعمالی