



پژوهش نامه ریخته‌گری

مقاله پژوهشی:

بررسی روش‌های اصلاح ترشوندگی بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت آلومینیم/کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ریخته‌گری گردابی

نگار جعفری^۱، منصور سلطانیه^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد شناسایی و انتخاب مواد فلزی، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران،
۲- استاد، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران،

* نویسنده مکاتبه کننده: تلفن: ۰۲۱-۷۳۲۲۸۸۰۷، تهران، نارمک، صندوق پستی: ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶، ایمیل: Mansour_soltanieh@iust.ac.ir

چکیده:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۲

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۳۰

اثر روش‌های عملیات حرارتی و مکانیکی برای اصلاح ترشوندگی ذرات کاربید سیلیسیم بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت Al-A356/SiC مورد بررسی قرار گرفته است. از روش ریخته‌گری گردابی برای تولید کامپوزیت استفاده شده است. کاربید سیلیسیم با میانگین اندازه ذرات ۲، ۱۰ و ۵۰ میکرومتر به میزان ۱۰ درصد حجمی در دمای ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد به طور تدریجی در حین هم‌زدن به مذاب افزوده شدند. برای عملیات حرارتی ذرات، اکسیداسیون در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت و نگهداری در ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت انجام شد. برای عملیات مکانیکی هم از آسیاکاری به مدت یک ساعت همراه با پودر آلومینیم استفاده شد. پس از پایان هم‌زدن و آماده شدن کامپوزیت، دمای مذاب تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شده و سپس در قالب فلزی ریخته‌گری شد تا نمونه‌های مختلف تهیه شوند. از میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی روبشی مجهز به EDS برای بررسی ریزساختار و آنالیز عناصر و همچنین از روش ویکرز برای ارزیابی سختی استفاده شده است. نتایج نشان داد که عملیات حرارتی اکسیداسیون ذرات SiC سبب می‌شود که توزیع و اتصال بهتری از ذرات در زمینه کامپوزیت ایجاد شود. ولی در نمونه‌ای که از کار مکانیکی استفاده شده، اتصال خوبی بین ذرات SiC با زمینه مشاهده نشده است و ذرات به صورت مطلوب پخش نشده‌اند. همچنین از میان سه نمونه عملیات حرارتی شده، نمونه‌ی اکسید شده در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد، ترشوندگی و توزیع بهتری از ذرات در زمینه و بیشترین سختی به میزان ۱۳۹ ویکرز را دارد.

واژه‌های کلیدی:

کامپوزیت،
کامپوزیت آلومینیم-کاربید
سیلیسیم،
ریخته‌گری گردابی،
ترشوندگی ذرات SiC.

ارجاع به این مقاله:

نگار جعفری، منصور سلطانیه، بررسی روش‌های اصلاح ترشوندگی بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت آلومینیم/کاربید سیلیسیم تولید شده به روش ریخته‌گری گردابی، پژوهش‌نامه ریخته‌گری، بهار ۱۳۹۸، جلد ۳، شماره ۱، صفحات ۲۱-۲۸.
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/FRJ.2019.156096.1062

۱- مقدمه

تقویت‌کننده‌ها است. در فرآیند انجماد، ترشوندگی تقویت‌کننده با مذاب فلزی که زمینه کامپوزیت را می‌سازد، برای تشکیل یک فصل مشترک قوی، برای انتقال و توزیع مناسب بار از زمینه به تقویت‌کننده، بسیار مهم است [۲]. خواص مکانیکی کامپوزیت‌های زمینه فلزی به طور گسترده توسط ساختار و خواص فصل مشترک تقویت‌کننده- فلز کنترل می‌شود [۳]. گفته شده است که فصل مشترک قوی، جابه‌جایی و توزیع بار از زمینه به تقویت‌کننده را ممکن می‌سازد و سبب افزایش مدول الاستیک

کامپوزیت ماده‌ای است که از مخلوط‌های منظم یا از ادغام دو یا چند جزء اصلی در اندازه‌ی نانو یا میکرومتر تشکیل شده است که یک فصل مشترک آن‌ها را از هم جدا می‌کند. این اجزاء در شکل و ترکیب شیمیایی متفاوت هستند و در یکدیگر غیرقابل حل هستند. جزء جدا، تقویت‌کننده و فاز پیوسته، زمینه نام دارد [۱]. در اغلب کامپوزیت‌های زمینه فلزی، نقش اولیه تقویت‌کننده تحمل بار اعمال شده و نقش زمینه چسباندن تقویت‌کننده‌ها به هم و پخش کردن بار خارجی به هر یک از

(۱) برای انتقال ذرات به مذاب فلزی و

(۲) برای نگه داشتن ذرات به صورت معلق [۱۲].

هدف از این پژوهش انجام فرآیند ریخته‌گری گردابی برای تولید کامپوزیت زمینه فلزی با ذرات سرامیکی و بررسی تأثیر عملیات آماده‌سازی ذرات بر تولید کامپوزیتی با کیفیت مناسب است. در تحقیقات متعدد روش‌های گوناگونی برای بهبود سطح ذرات استفاده شده است، با نگاهی بر کارهای گذشته در این پژوهش تمرکز روی بهبود سطح ذرات برای بهبود ترشدن آن‌ها با مذاب و ایجاد یک توزیع مناسب است.

۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق آلیاژ ریخته‌گری آلومینیم A356 به‌عنوان زمینه‌ی کامپوزیت و پودر سرامیکی کاربید سیلیسیم (SiC) ساخت کشور ژاپن با خلوص بیش از ۹۹ درصد به‌عنوان ذرات تقویت‌کننده، مورد استفاده قرار گرفتند. سیلیسیم موجود در این آلیاژ از واکنش شیمیایی بین SiC و Al جلوگیری می‌کند [۱۳]. ترکیب شیمیایی این آلیاژ در جدول (۱) و آنالیز اشعه ایکس (XRD) مربوط به پودر کاربید سیلیسیم و الگوی استاندارد آن در شکل (۱) نشان داده شده است.

ابتدا شمش تهیه شده در قطعات کوچک‌تری برش داده شد. سپس به مقدار ۳۰۰ الی ۴۰۰ گرم از آلیاژ در هر آزمایش در یک بوته شاموتی درون کوره مقاومتی، در دمای ۷۰۰ تا ۷۱۰ درجه قرار گرفت تا کاملاً ذوب شود. پس از ذوب کامل آلیاژ به‌منظور بهبود ترشوندگی مقداری منیزیم (۱ درصد وزنی) به مذاب آلومینیم اضافه شد؛ سپس یک دقیقه هم‌زدن صورت گرفت. پس از گذشت چند دقیقه، پودر عملیات‌شده به‌صورت مرحله‌ای به درون مذاب افزود شد. پس از اضافه کردن پودر در هر مرحله، هم‌زن وارد بوته شده و هم‌زدن با سرعت ۶۰۰ rpm در دمای ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. هر مرحله هم‌زدن به مدت ۳ الی ۵ دقیقه صورت گرفت و در انتها پس از هم‌زنی و افزایش دما به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، کامپوزیت در یک قالب فلزی که در شکل (۲) آمده، ریخته شد. شماتیک روش ساخت کامپوزیت نیز در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیم A356 مورد استفاده

در این تحقیق

عنصر	Mn	Mg	Fe	Cu	Si	Al
مقدار (درصد وزنی)	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۹۷	۸/۰۹	پایه

و استحکام می‌شود [۴]. از نظر متالوگرافی، مناطق سطحی مورد نظر در کامپوزیت به چند عامل وابسته است:

(۱) تماس بسیار نزدیک بین تقویت‌کننده و زمینه برای به ترشوندگی مناسب بین تقویت‌کننده‌ها با زمینه.

(۲) واکنش‌پذیری کم شیمیایی در فصل مشترک و نفوذ داخلی بسیار ناچیز بین فازهای تشکیل دهنده، برای جلوگیری از تخریب تقویت‌کننده‌ها [۵].

هدف از تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی، ترکیب کردن ویژگی‌های دلخواه فلزات و سرامیک‌ها است. اضافه کردن ذرات دیرگداز با استحکام و مدول بالا به یک زمینه فلزی شکل‌پذیر، ماده‌ای را تولید می‌کند که خواص مکانیکی میان زمینه‌ی فلزی و تقویت‌کننده‌های سرامیکی دارد [۶]؛ اما برای تولید این کامپوزیت‌های تقویت شده مشکلاتی وجود دارد؛ مهم‌ترین آن‌ها دستیابی به توزیعی یکنواخت از ذرات تقویت‌کننده در زمینه است که برای به دست آوردن خواص مکانیکی بهینه امری ضروری به شمار می‌رود [۷]. این مشکل در تولید کامپوزیت Al/SiC به روش ریخته‌گری گردابی [۸] و اکثر روش‌های دیگر هم وجود دارد؛ که در این روش از ذرات تقویت‌کننده استفاده می‌شود و امکان تولید شکل‌های پیچیده را فراهم می‌سازد. برای رسیدن به یک کامپوزیت با کیفیت، باید ذرات شناسایی و متغیرهای فرآیند ریخته‌گری مرتبط با توزیع ذرات کنترل شوند. به‌طور معمول، ریخته‌گری گردابی شامل تولید کامپوزیت از یک زمینه فلزی با اضافه کردن مواد تقویت‌کننده به مذاب از طریق ایجاد توزیع مناسب با هم‌زدن است [۹]. روش ریخته‌گری گردابی از جمله روش‌های ارزان قیمت است که هزینه‌های آن حتی از متالورژی پودر کمتر خواهد بود؛ اما مشکلات مربوط به عدم ترشوندگی، توزیع مناسب ذرات و وجود حفره در زمینه، هم‌چنان وجود دارد [۱۰].

عموماً تقویت‌کننده‌های سرامیکی که در کامپوزیت‌های زمینه فلزی استفاده می‌شوند، با مذاب تر نمی‌شوند و به یک نیروی محرکه خارجی برای غلبه بر موانع انرژی سطحی نیاز دارند. این نیرو توسط هم‌زدن مذاب با هم‌زن مکانیکی یا هم‌زن الکترومغناطیسی تولید می‌شود. مشاهده شده است که خواص شیمیایی آلیاژ، دمای اضافه کردن ذرات و سرعت هم‌زدن برخی متغیرهای کنترل‌کننده ترشوندگی مذاب با تقویت‌کننده هستند [۱۱]. هم‌چنین در تحقیقات نشان داده‌اند که هم‌زدن مؤثر برای کنترل توزیع، بلافاصله بعد از اضافه کردن ذرات به مذاب، تا زمان ریختن در قالب ضروری است. هم‌زدن مکانیکی معمولاً در حین آماده‌سازی مذاب و نگه‌داری آن انجام می‌شود که به دو دلیل انجام می‌شود:

Archive of SID

بهبود این ترشوندگی تحت عنوان آزمایش‌های مختلفی استفاده شده است. مشخصات و عملیات آماده‌سازی مورد استفاده برای ذرات سرامیکی در هر آزمایش به تفکیک در جدول (۲) آمده است. برای تعیین اندازه میانگین ذرات پودر مورد استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، پودرها دارای ابعاد متفاوتی هستند. با استفاده از نرم‌افزار متالوگرافی MIP، قطر ذرات اندازه‌گیری شده و میانگین اندازه ذرات به دست آمده است.

جدول ۲- مشخصات ذرات، عملیات حرارتی و مکانیکی مورد استفاده در هر آزمایش.

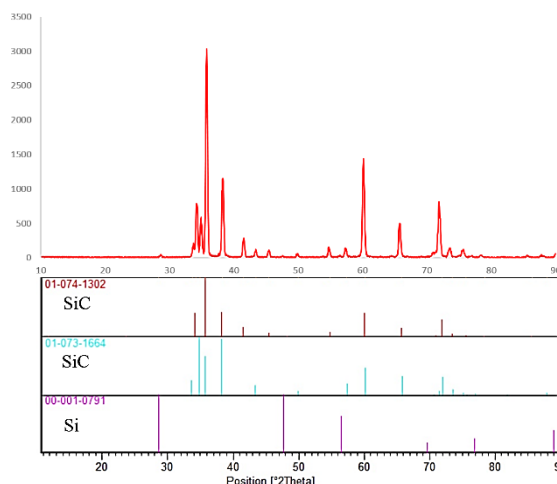
نمونه	میانگین اندازه ذرات (μm)	عملیات حرارتی	عملیات مکانیکی
۱	۴۰	یک ساعت در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد	-
۲	۲	یک ساعت در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد	-
۳	۱۰	یک ساعت در ۹۵۰ و دو ساعت در ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد	-
۴	۱۰	-	مخلوط کردن مکانیکی با پودر آلومینیم به مدت ۱ ساعت

در عملیات مکانیکی از دستگاه فست‌میل به همراه گلوله‌های آلومینایی به نسبت ۱ به ۳ از پودر و گلوله برای مخلوط کردن پودر کاربرد سیلیسیم با پودر فلزی آلومینیم به مش ۳۲۵ استفاده شد. شرایط مربوط به دما، سرعت و زمان هم‌زنی، درصد وزنی ذرات کاربرد سیلیسیم (۱۰ درصد) و سرعت سرد شدن برای تمام آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شده است.

بعد از ریخته‌گری، از هر سری آزمایش نمونه‌هایی تهیه شد. این نمونه‌ها پس از آماده‌سازی و سنباده‌زنی با استفاده از کاغذ سنباده مش ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ و پولیش با آلومینای ۰/۳ میکرومتر با استفاده از میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی ساختاری شدند. سپس سختی نمونه‌ها با نیروی ۰/۸ کیلوگرم توسط دستگاه سختی‌سنجی ویکرز از پنج نقطه برای هر نمونه اندازه‌گیری شد و میانگین نقاط به عنوان عدد سختی گزارش شد.

۳- نتایج و بحث

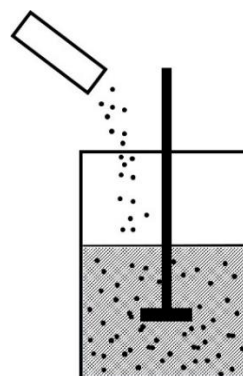
در تصاویر متالوگرافی که در شکل (۵) نشان داده شده است، در تمام نمونه‌ها، فاز مربوط به ذرات کاربرد سیلیسیم اضافه شده به رنگ تیره‌تر و زمینه به رنگ روشن‌تر دیده می‌شود. با توجه به



شکل ۱- الگوی پراش اشعه ایکس پودر SiC مورد استفاده در این تحقیق



شکل ۲- قالب ریخته‌گری برای تولید کامپوزیت.



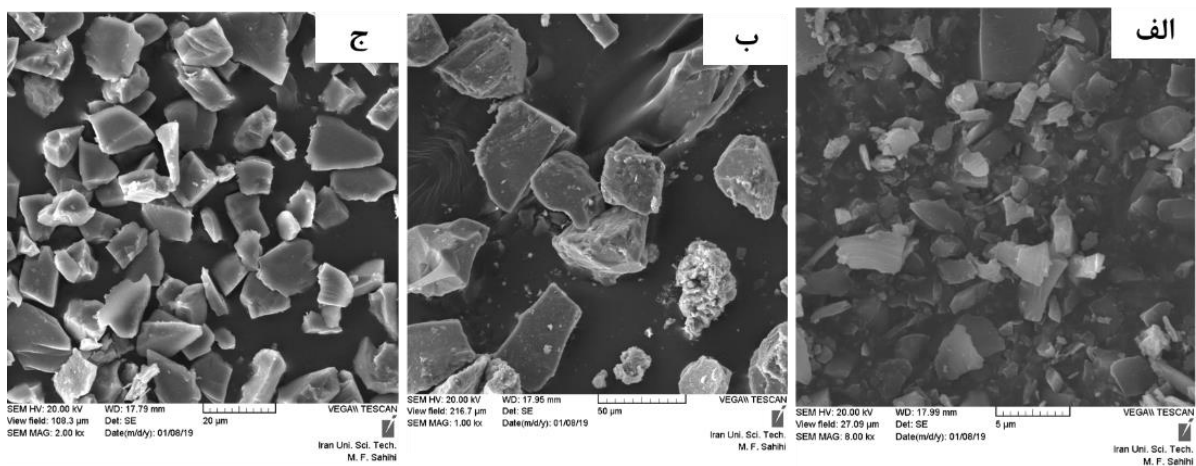
شکل ۳- شماتیک سامانه مورد استفاده برای ریخته‌گری و هم‌زدن مذاب.

از آن جایی که ذرات کاربرد سیلیسیم ترشوندگی ضعیفی در مذاب آلومینیم دارند، در این پژوهش از روش‌های متفاوتی برای

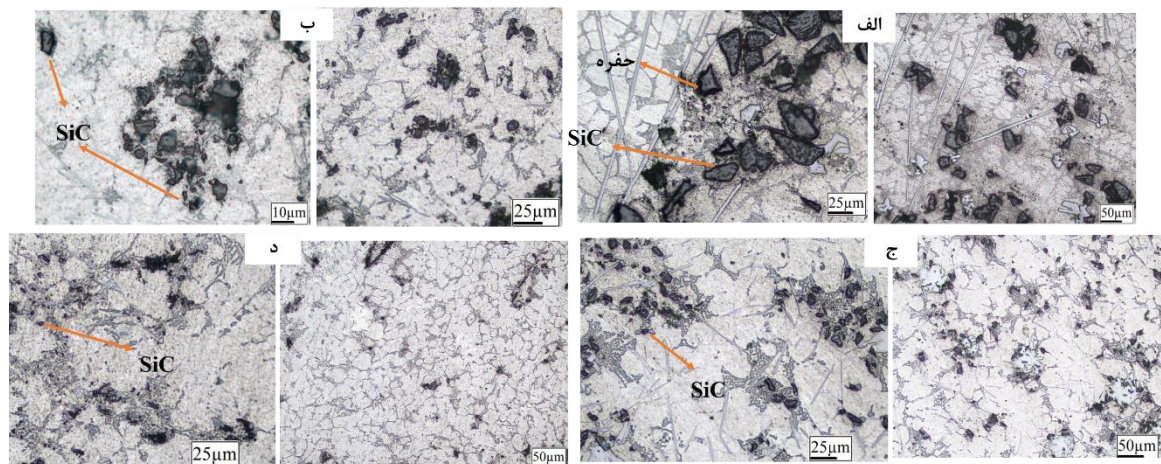
Archive of SID

سیلیسیم بوده و منیزیم اضافه شده قبل از اضافه کردن پودر کاربید سیلیسیم به صورت یکنواخت در زمینه پخش شده است؛ و هم در اطراف ذرات به خوبی حضور دارد، که نشان می‌دهد که حضور منیزیم در افزایش ترشوندگی ذرات با زمینه نقش داشته است. منیزیم با کاهش تنش سطحی مذاب و ایجاد فصل مشترک سطحی، ترشوندگی ذرات با مذاب را بهبود می‌بخشد [۱۴]. از آن جایی که میزان آلومینیم و منیزیم در این نقشه در محل ذره بسیار کم است و مقدار آن‌ها در اطراف ذره بر روی زمینه افزایش یافته، می‌توان گفت واکنش بین زمینه و ذرات سرامیکی بسیار ناچیز است [۱۵].

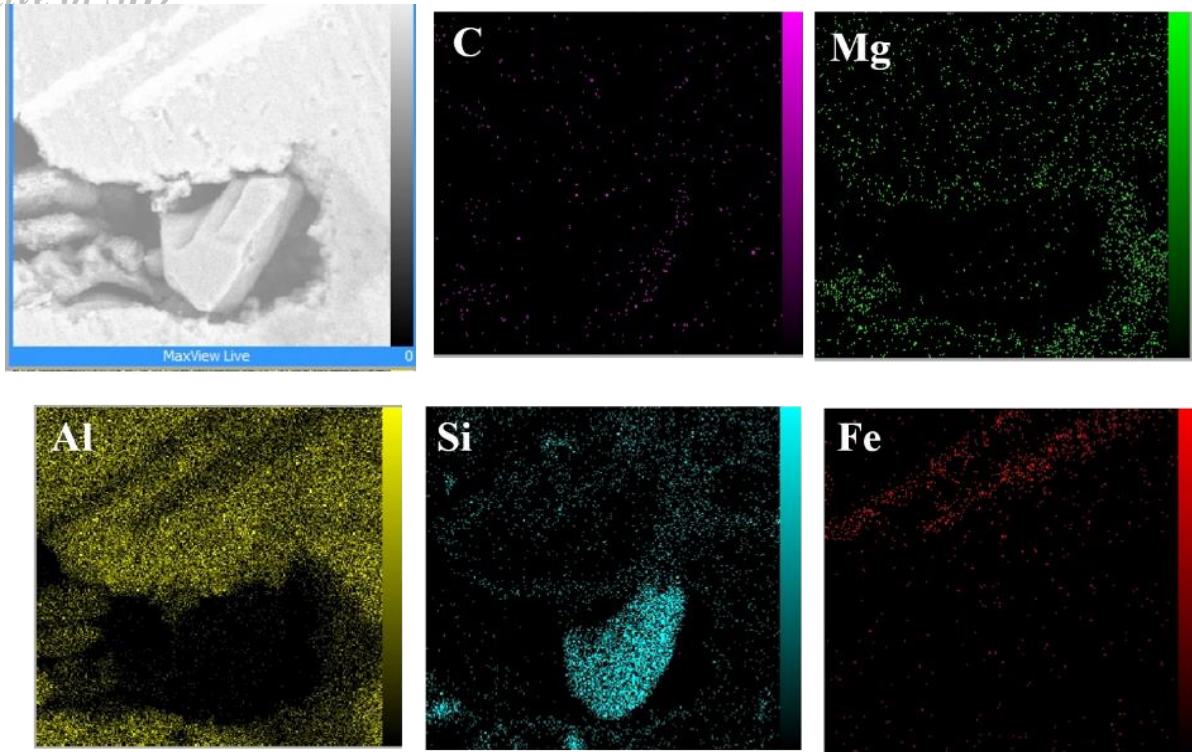
شکل (۵-الف)، در نمونه شماره ۱ مشاهده می‌شود، که ذرات کاربید سیلیسیم (SiC) در زمینه وجود دارند و در سطح پخش شده‌اند. ولی اطراف برخی از ذرات حفره‌هایی مشاهده می‌شود. در واقع این ذرات در حفره‌ها گیر افتاده‌اند و اتصال با زمینه ندارند. توزیعی از این ذرات در زمینه ایجاد شده است. در شکل (۶)، نقشه‌ی آنالیز عنصری (EDS) این نمونه، از یک ذره گیر افتاده در حفره مشخص می‌کند که شاخه‌هایی از آهن (یا ترکیبات بین فلزی آهن-آلومینیم) اطراف این حفره مشاهده می‌شود که در نمونه‌های دیگر وجود ندارد. این شاخه‌ها به علت استفاده از هم‌زن آهنی و حل شدن آن در زمینه‌ی آلومینیمی به وجود آمده‌اند. طبق این نقشه، ذره مورد استفاده از جنس کاربید



شکل ۴- تصاویر SEM از ذرات کاربید سیلیسیم در کامپوزیت شماره: الف) ۱، ب) ۲ و ج) ۳.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ نوری از کامپوزیت شماره: الف) ۱، ب) ۲، ج) ۳، د) ۴،



شکل ۶- آنالیز EDS از کامپوزیت شماره ۱.

یک توزیع یکنواخت می‌شود. در کنار ذره‌ی روی سطح، چسبیدن ذرات به همدیگر و آگلومره‌شدن را می‌توان مشاهده کرد. برای رسیدن به یک کامپوزیت با خواص مناسب با استفاده از ذرات بسیار کوچک، بهتر است از اتمسفر کنترل شده و هم‌زدن در حالت نیمه‌جامد استفاده شود تا بتوان به‌خوبی ذرات را از هم جدا کرد. در دو نمونه‌ی اول، عملیات حرارتی اکسید کردن در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده است که هدف از انجام این عملیات حرارتی، تشکیل یک لایه‌ی نانومتری از SiO_2 روی سطح ذرات بوده است تا ترشوندگی آن‌ها با مذاب بهبود بیابد [۱۵].

اما در نمونه شماره ۳، سیکل عملیات حرارتی تغییر داده شده است (مطابق جدول ۳)، این سیکل نیز برای حذف آلودگی‌ها و گازهای جذب شده‌ی سطحی و در نتیجه افزایش ترشوندگی پیشنهاد شده است [۱۹]. با توجه به شکل (۵-ج)، در این نمونه با افزایش اندازه‌ی ذرات آگلومره شدن آن‌ها بسیار کم‌تر مشاهده می‌شود؛ در واقع ذرات به‌هم‌چسبیده و گیر افتاده تقریباً دیده نمی‌شوند و هم‌چنین ذرات در داخل حفره نیستند؛ بلکه اتصال با زمینه برقرار کرده‌اند که این امر در افزایش کیفیت کامپوزیت و رسیدن به یک توزیع مناسب تأثیر گذار است. می‌توان گفت عملیات حرارتی اکسیداسیون در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد، خواص سطح ذرات را برای ترشدن با زمینه با ایجاد یک لایه پیوسته و همگن که مانع تخریب و واکنش ذرات با مذاب آلومینیم می‌شود، بهبود داده است. این لایه از سیلیکای آمورف و کریستوبالیت تشکیل شده است که با

در شکل (۵-ب)، نمونه شماره ۲ نشان داده شده است که با کوچک‌تر شدن اندازه‌ی ذرات مورد استفاده، جمع‌شدن آن‌ها در کنار هم بیشتر مشاهده می‌شود. در واقع با کوچک‌تر شدن ذرات، امکان آگلومره شدن آن‌ها افزایش یافته و پراکنده کردن یکنواخت این ذرات به‌تنهایی با هم‌زدن مکانیکی کاری دشوار است [۱۶]. اما باز هم توزیعی از آن‌ها در تصویر مشاهده می‌شود که در بیشتر نقاط ذرات چسبیده به هم و گاه با اندازه‌ی بزرگ‌تر و یا گیر افتاده در حفره، دیده می‌شود. ذرات با اکسیدشدن تنها در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت، سطح مناسبی را برای ترشدن با زمینه آلومینیمی ایجاد نکرده‌اند و حفره‌هایی نیز ناشی از تجمع آن‌ها وجود دارد. انواعی از حفرات در این کامپوزیت‌ها در تصاویر میکروسکوپی قابل مشاهده است که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر دسته‌بندی کرد [۱۷]:

- ۱) حفرات مربوط به خود ذرات؛
- ۲) حفرات مربوط به تجمع ذرات؛
- ۳) حفرات ریز در زمینه آلیاژ؛
- ۴) حفرات گازی؛ در واقع ذرات تقویت کننده، محل‌های مناسبی برای جوانه‌زنی حفرات گازی هستند [۱۸].

در شکل (۷)، دو ذره از این کامپوزیت نشان داده شده است؛ که یکی از آن‌ها در حفره گیر افتاده و دیگری روی زمینه قرار گرفته است. همان‌طور که مشخص است، چند ذره در کنار هم، درون حفره قرار دارند و این حفره مربوط به تجمع ذرات است. جمع‌شدن این ذرات در کنار هم و ایجاد حفره، مانع رسیدن به

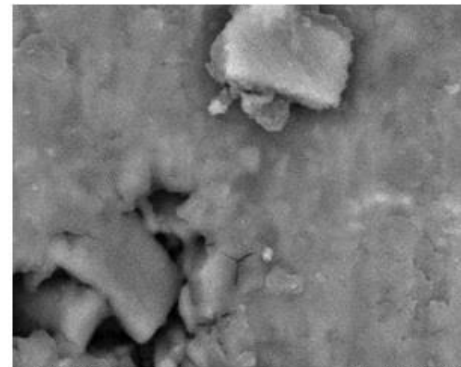
Archive of SID

در نمونه شماره ۴، به منظور بهبود ترشوندگی ذرات با زمینه، عملیات مکانیکی انجام شده است. با توجه به شکل (۵-د)، در این نمونه هم، ذرات به صورت پخش وجود دارند؛ اما ذرات با اندازه‌های متفاوتی در تصویر دیده می‌شوند که می‌توان علت آن را استفاده از آسیا دانست که سبب ریز شدن برخی ذرات شده است. این کوچک شدن اندازه ذرات از یکنواختی و کیفیت کامپوزیت تولید شده می‌کاهد. هم‌چنین در برخی مناطق این ذرات به هم چسبیده‌اند. این آگلومره شدن ذرات را هم می‌توان ناشی از آسیا کردن ذرات کاربید سیلیسیم با پودر آلومینیم در نظر گرفت؛ که این ذرات به هم چسبیده در حین هم خوردن نیز، از هم جدا نشده‌اند. با توجه به شکل (۹)، ترشوندگی به صورت نسبی ایجاد شده، اما هدف رسیدن به توزیع مناسب در این نمونه محقق نشده است. چرا که ذرات به صورت خوشه‌ایی در کنار هم مشاهده می‌شوند و در کل سطح به صورت جدا از هم پخش نشده‌اند، بلکه در نقاطی تجمع کرده‌اند. از سوی دیگر یکسان نبودن اندازه‌ی ذرات در این تصویر مشخص است، که مانع حصول یکنواختی مناسب در این نمونه شده است.

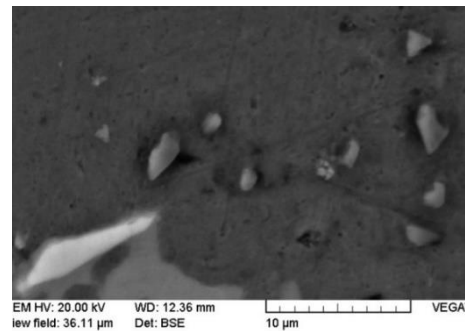
در شکل (۱۰)، نتایج سختی‌سنجی کامپوزیت‌های تولید شده آورده شده است. همان‌طور که مشخص است با ایجاد کامپوزیت به روش ریخته‌گری گردابی سختی نمونه‌ها از ۹۷ ویکرز برای آلیاژ اولیه تا بیش‌ترین مقدار ۱۳۹ ویکرز برای نمونه سوم افزایش پیدا کرده است. علت این افزایش، سختی بالای ذرات کاربید سیلیسیم که به عنوان مانعی در برابر نابه‌جایی‌ها عمل می‌کند [۱۸]. این افزایش در نمونه اول با توجه به درشت بودن ذرات نسبت به بقیه کامپوزیت‌ها کمتر است و از طرفی ترشوندگی در این نمونه به خوبی حاصل نشده است؛ لذا سختی به میزان کمتری، افزایش داشته است. سختی کامپوزیت با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد. در نمونه دوم نیز با توجه به کوچک‌تر شدن اندازه ذرات، سختی افزایش پیدا کرده است [۲۳]. ولی این سختی از نمونه سوم کمتر است، که علت آن هم وجود حفراتی در کامپوزیت و عدم اتصال مناسب این ذرات با زمینه است. متغیرهای متفاوتی چون سرعت سرد شدن و عدم یکنواختی روی میزان سختی تاثیر دارد [۱۰].

در نمونه چهارم نیز با وجود افزایش سختی نسبت به آلیاژ اولیه ولی نسبت به نمونه با اندازه ذره مشابه سختی کمتری به دست آمده، چرا که در این نمونه ذرات ترشوندگی مناسبی با زمینه ندارند. بالاترین سختی به دست آمده بیان‌گر ایجاد یک کامپوزیت با چسبندگی خوب [۲۴] ذرات به زمینه و توزیع مناسبی از آنها است، که خواص سختی نسبت به نمونه خام بهبود یافته است.

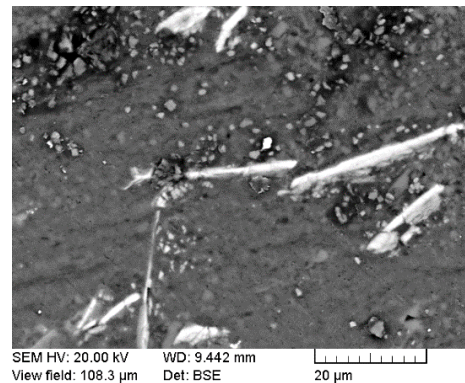
کاهش سطح انرژی و ایجاد لایه واکنشی سطحی بین مذاب آلومینیم و SiO_2 که در اطراف ذرات ایجاد می‌شود، ترشوندگی را افزایش می‌دهد [۲۰]. با ننگه‌داری در ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد عملکرد این لایه در ایجاد ترشوندگی بهتر شده است.



شکل ۷- تصویر SEM از ذرات SiC در کامپوزیت شماره ۲.



شکل ۸- تصویر SEM از کامپوزیت شماره ۳.



شکل ۹- تصویر SEM از کامپوزیت شماره ۴.

همان‌طور که در شکل (۸) قابل مشاهده است، ذرات اتصال خوبی با زمینه دارند و ترشوندگی و فصل مشترک مناسبی حاصل شده است. علاوه بر این، ذرات در سطح کامپوزیت به صورت مجزا پخش شده‌اند و پراکنده شدن آن‌ها به خوبی صورت گرفته است. هم‌چنین، ترکی در نمونه مشاهده نمی‌شود که به یکنواختی نمونه کمک می‌کند [۲۱]. در واقع یک توزیع مطلوب از ذرات تقویت‌کننده‌ی کاربید سیلیسیم با چسبندگی مناسب بدون ایجاد واکنش مخرب بین با زمینه آلومینیمی [۲۲] ایجاد شده است.

- [9] Hashim J., Looney L., Hashmi M.S.J., Particle distribution in cast metal matrix composites—Part I, *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 123, 251–257.
- [10] Hashim J., The production of cast metal matrix composite by a modified stir casting method, *Jurnal Teknologi*, 2001, 35(A) 9–20.
- [11] Asthana R., Tewari S. N., Interfacial and capillary phenomena in solidification processing of metal-matrix composites, *Composites Manufacturing*, 1993, 4(1) 3–25.
- [12] Hashim J., Looney L., Hashmi M.S.J., Particle distribution in cast metal matrix composites—Part II, *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 123, 258–263.
- [13] Heidary S.B., Akhlaghi F., Rheological behavior of molten Al-SiC slurries and comparison of their behavior with metallic slurries, *Metals and Materials International*, 2013, 19, 767–775.
- [14] Zhang H., Geng L., Gusn L., Huang L., Effects of SiC particle pretreatment and stirring parameters on the microstructure and mechanical properties of SiCp/Al-6.8Mg composites fabricated by semi-solid stirring technique, *Materials Science and Engineering: A*, 2010, 528, 513–518.
- [15] Bindumadhavan P.N., et. al., Effect of particle-porosity clusters on tribological behavior of cast aluminum alloy A356-SiCp metal matrix composites, *Materials Science and Engineering: A*, 2001, 315(1), 217–226.
- [16] Ezatpour H.R., Sajjadi S.A., Sabzevar M.H., Huang Y., Investigation of microstructure and mechanical properties of Al6061-nanocomposite fabricated by stir casting, *Materials and Design*, 2014, 55, 921–928.
- [17] Prabu S.B., Karunamoorthy L., Kathiresan S., B. Mohan, Influence of stirring speed and stirring time on distribution of particles in cast metal matrix composite, *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 171(2) 268–273.

[18] عموری ک.، عموری ج.، احمدی فرد س.، کزازی م.، کاظمی ش.، تولید و مشخصه‌یابی کامپوزیت A356 تقویت‌شده با ذرات نانو و میکرومتری SiC به روش ریخته‌گری گردابی، مهندسی مکانیک مدرس، ۱۳۹۵، ۱۰، ۳۳۵-۳۴۲.

[19] جعفریان م.م.، ابروی م.ص.، ضیایی ح.، بررسی اثر ذرات سرامیکی کاربید سیلیسیم به پایدارسازی فوم آلومینیمی تولید شده به روش تزریق گاز در مذاب، اولین همایش ملی فلزات و آلیاژهای غیرآهنی، مشهد، ۱۳۹۲.

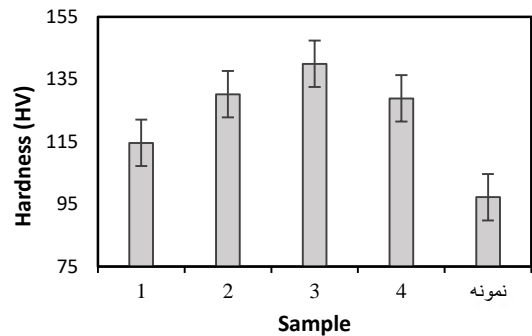
[20] Urena A., Martinez E. E., Rodrigo P., Gil L., Oxidation treatments for SiC particles used as reinforcement, *Composites Science and Technology*, 2004, 64(12) 1843–1854.

[21] Dwivedi S.P., Sharma S., Mishra R.K., Microstructure and mechanical behavior of A356/SiC/Fly-ash hybrid composites produced by electromagnetic stir casting, *Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, 2015, 37, 57–67.

[22] رنجبران م.، سلطانی م.ر.، تولید و بررسی ریز ساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت A356-SiC به روش ریخته‌گری گردابی، اولین همایش ملی نانو مواد و نانو تکنولوژی، شاهرود، ۱۳۹۰.

[23] Sajjadi S.A., Torabi Parizi M., Ezatpour H.R., Sedghi A., Fabrication of A356 composite reinforced with micro and nano Al₂O₃ particles by a developed compocasting method and study of its properties, *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, 511, 226–231.

[24] Saenpong P., Talangkun S., Laonapakul T., Boonma A., Microstructures and hardness of A356-SiC composites produced by the mechanical stir casting, *Materials Today: Proceedings*, 2018, 5(3) 9489–9496.



شکل ۱۰- نتایج سختی سنجی کامپوزیت‌ها

۴- نتیجه‌گیری

- برای بهبود ترشوندگی ذرات کاربید سیلیسیم در تولید کامپوزیت زمینه فلزی مورد تحقیق، عملیات حرارتی (اکسیداسیون سطحی) نسبت به عملیات مکانیکی (آسیاکاری)، توزیع و اتصال بهتری از ذرات را فراهم می‌نماید.
- با اکسیداسیون کاربید سیلیسیم در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت و سپس نگهداری در ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت دو ساعت، شرایط مطلوبی برای توزیع و ترشوندگی ذرات در کامپوزیت به دست آمده است.
- با ایجاد کامپوزیت به روش ریخته‌گری گردابی میزان سختی نسبت به آلیاژ اولیه افزایش می‌یابد و به بیشترین میزان خود ۱۳۹ ویکرز با استفاده از ذرات ۱۰ میکرومتری می‌رسد. این افزایش سختی به علت پخش شدن همگن و چسبندگی مناسب ذرات گزارش شده است.

مراجع

- Kala H., Mer K.K., Kumar S., A review on mechanical and tribological behaviors of stir cast aluminum matrix composites, in 3rd International Conference on Materials Processing and Characterization, 2014, 1951-1960.
- Hashim J., Looney L., Hashmi M.S.J., The enhancement of wettability of SiC particles in cast aluminium matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, 119, 329–335.
- Taya M., Arsenault R., in *Metal Matrix Composites*, Pergamon Press, Oxford, (1989).
- Hashim J., Looney L., Hashmi M.S.J., The wettability of SiC particles by molten aluminium alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, 119, 324–328.
- Wang N., Wang Z., Weatherly G.C., Formation of magnesium aluminate (spinel) in cast SiC particulate-reinforced Al (A356) metal matrix composites, *Metallurgical Transactions A*, 1992, 23.5, 1423–1430.
- Hashim J., Looney L., Hashmi M. S. J., Metal matrix composites: production by the stir casting method, *Journal of Materials Processing Technology*, 1999, 92–93, 1–7.
- Brechet Y., Embury J., Tao S., Luo L., Damage initiation in metal matrix composites, *Acta Metallurgica et Materialia*, 1991, 39(8) 1781–1786.
- Du Y., Zhang P., Wang Y., Zhang J., Yao S., Li C., The uniform distribution of sic particles in an A356-SiCp composite produced by the tilt-blade mechanical stirring, *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 2013, 26(1) 69–



IRANIAN FOUNDRYMEN'S
SOCIETY

Founding Research Journal

Research Paper:

Investigating of Wettability Modification Methods on Microstructure and Mechanical Properties of Silicon Carbide/ Aluminum Composite Produced by Stir Casting

Negar Jafari¹, Mansour Soltanieh^{2*}

1. M.Sc. Student, School of Metallurgy and Materials Engineering, Iran University of Science and Technology.

2. Professor, School of Metallurgy and Materials Engineering, Iran University of Science and Technology.

* **Corresponding Author:** P.O. Box 16846-13114, Narmak, Tehran, Iran. Tel/Fax: +98 21 73228807. E-mail: mansour_soltanieh@iust.ac.ir

Paper history:

Received: 13 November 2018

Accepted: 19 April 2019

Abstract:

The low cost stir casting is one of the most applicable methods to fabricate Aluminum metal matrix composites. In this study, stir casting technique is utilized to produce Silicon carbide/Aluminum alloy composite. To achieve a homogeneous and suitable distribution, reinforcing particle surface properties is investigated by applying various thermal and mechanical treatments. SiC Oxidation performed at 950°C for 1 hour and keeping at 650°C for 2 hours as heat treatment. Mechanical treatment comprised milling aluminum and SiC powder. 10% vol. fraction Silicon carbide particles with average size of 2, 10 and 40 microns were gradually added to the aluminum matrix stirring at 640°C. After stirring, the composite was cast at 700°C in a steel mold. Observing the composite microstructure using OM and SEM reveals that reinforcing particles are dispersed in the matrix. However, heat treated reinforcing particles at 950°C and keeping at 650°C leads to fabricate a more homogenous composite of a specified percentage of reinforcing particles in which particles could be easily wetted by the matrix. In samples with SiC particles milled with Al powder, particles were not desirably bounded and disturbed in the matrix. Oxidation at 950°C and keeping at 650°C Shows better wettability and distribution of particles. This specimen also has the highest hardness of 139 HV, indicating the proper bonding of particles and their uniform distribution in the matrix.

Keywords:

Composite,
Silicon carbide -aluminum
composite,
Stir casting,
SiC wettability.

Please cite this article using:

Negar Jafari, Mansour Soltanieh, Investigating wettability modification methods on microstructure and mechanical properties of silicon carbide/ Aluminum composite produced by stir casting, in Persian, Founding Research Journal, 2019, 3(1) 21-28.

DOI: 10.22034/FRJ.2019.156096.1062

Journal homepage: www.foundingjournal.ir