

تولید کامپوزیت زمینه Al با فاز تقویت کننده ZrO_2 توسط روش اختلاط مستقیم و بررسی ریز

ساختار آن

محمدامین باغچه سرا^{(۱)*} حمیدرضا بهاروندی^(۲) حسین عبدی زاده^(۳) سید محمد محسن ثابت^(۴)

(۱) کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

(۲) استادیار، گروه مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(۳) دانشیار، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه تهران

(۴) کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

تاریخ ثبت اولیه: ۸۶/۱۱/۲، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۸۷/۷/۱۴، تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۲۴

چکیده در این پژوهش، کامپوزیت Al/ZrO_2 با استفاده از روش گردابی (اختلاط مستقیم) تهیه گردید. ذرات ZrO_2 به قطر متوسط ۱ میکرون به آلیاژ Al-356 مذاب افزوده شد و پس از ۱۳ دقیقه به هم زدن، در قالب فلزی ریخته‌گری شد. تأثیر پارامترهای درصد حجمی ذرات ZrO_2 و دماهای مختلف ذوب‌ریزی، بر ریزساختار کامپوزیت در ۹ حالت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده، نشان‌دهنده توزیع یکنواخت و مناسب ذرات ZrO_2 در همه نمونه‌هاست. همچنین با وجود حضور آگلومره‌های ZrO_2 در ساختار، توزیع آن‌ها به صورت همگن می‌باشد.

واژه‌های کلیدی کامپوزیت Al/ZrO_2 ، روش گردابی، آلیاژ Al-356، ریزساختار، تر شوندگی.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: تهران - خیابان شریعتی - نرسیده به ظفر - کوچه بهروز - پلاک ۵ - شماره ۷.

تلفن: ۲۲۲۷۸۳۹۳ و ۰۲۱-۲۲۲۷۷۴۹۰، پست الکترونیکی: amsara2000@gmail.com

۱- مقدمه

کامپوزیت‌های زمینه فلزی (Metal Matrix Composites (MMCs)) با زمینه آلیاژهای سبک از قبیل آلومینیوم و منیزیم و تقویت شده با ذرات سرامیکی از قبیل کاربید سیلیسیوم، آلومینا و زیرکونیا را می‌توان به عنوان دسته‌ای از مواد پیشرفته در نظر گرفت که دارای وزن کم، استحکام بالا، مدول الاستیسیته زیاد، ضریب انبساط حرارتی کم و مقاومت سایشی خوب می‌باشند. معمولاً ترکیبی از این خواص به تنهایی در یک ماده ساده یافت نمی‌شود [۱-۳].

هدف از ساخت مواد کامپوزیتی زمینه فلزی با استفاده از ذرات سرامیکی، ترکیب خواص مطلوب فلزات و سرامیک‌ها بوده است. افزودن ذرات دیرگداز سخت با مدول کشسانی بالا به زمینه فلزی منعطف، ماده‌ای را نتیجه می‌دهد که خواصی بینابین ذرات سرامیکی و آلیاژ زمینه داشته باشد. فلزات، ترکیب خوبی از خواصی چون استحکام و انعطاف‌پذیری دارند ولی در برخی مواقع صلابت کمی داشته در حالی که سرامیک‌ها سخت و ترد می‌باشند [۴و۵].

ریخته‌گری گردابی مذاب روش بسیار مناسبی است زیرا هم ارزان قیمت بوده و هم برای تنوع گوناگونی از مواد و شرایط، قابلیت تولید را دارا می‌باشد، ولی استفاده از این روش برای تولید کامپوزیت‌ها همواره با مشکلاتی همراه بوده است؛ از جمله می‌توان به عدم امکان کنترل کامل پارامترهای فرایند و امکان انجام فرایندهای مخرب در فصل مشترک زمینه و فاز دوم و نیز مشکلات ترشوندگی فاز دوم توسط زمینه اشاره نمود [۶].

در میان ذرات سرامیکی، زیرکونیا هم مستثنا نبوده و عدم ترشوندگی آن با آلومینیوم باعث بروز مشکلاتی می‌گردد. زیرکونیا ماده دیرگدازی است که دمای ذوب آن در حدود 2680°C می‌باشد [۴]. زیرکونیا دارای خواص مناسبی از قبیل پایداری در برابر شوک‌های حرارتی، نقطه ذوب بالا و پایداری

ترمودینامیکی بالا می‌باشد [۷ و ۸]. تنها مشکل زیرکونیا، تغییرات آلتروپیکی آن در درجه حرارت‌های گوناگون می‌باشد. زیرکونیا تا دمای زیر 1170°C پایدار بوده و دارای ساختار منوکلینیک می‌باشد [۹].

کامپوزیت‌های Al-ZrO₂ به خاطر دارا بودن خواص مطلوبی نظیر استحکام، مقاومت به سایش، چقرمگی و سختی مناسب و حفظ این خواص در دماهای بالا، در صنایع خاصی همچون صنایع نظامی، هوا- فضا و هسته‌ای مورد توجه ویژه قرار گرفته‌اند. با وجود این یکی از مشکلات ساخت این کامپوزیت‌ها، ترشوندگی (Wettability) نامناسب زیرکونیا در مذاب آلومینیم می‌باشد که محدودیت‌هایی در ساخت این گونه کامپوزیت‌ها ایجاد می‌نماید [۱۰-۱۳].

علیرغم ظاهر ساده روش گردابی، پارامترهای زیادی در این روش دخالت دارند که می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم نمود: یک دسته از این پارامترها متأثر از رفتار موادی است که در فرآیند تولید کامپوزیت مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این پارامترها می‌توان به خواص سیالیت مخلوط کامپوزیتی (که خود متأثر از جنس زمینه، کسر حجمی و اندازه ذرات است)، اندرکنش ذرات با مذاب و مهاجرت آنها اشاره نمود. دسته دیگر، پارامترهایی هستند که متأثر از روش تولید کامپوزیت (روش گردابی) می‌باشند. از جمله این پارامترها می‌توان به درجه حرارت هم زدن، شکل همزن، سرعت هم زدن، موقعیت همزن، نحوه وارد کردن ذرات، گاززدایی، ابعاد و دمای قالب ریخته‌گری و زمان هم زدن اشاره نمود [۶].

به طور کلی، کوشش‌های انجام شده در این پژوهش در جهت بررسی تأثیر نوع افزودن ذرات پودری شکل ZrO₂ از طریق پروسه پیچیدن پودرها در فویل آلومینیومی (Aluminum Foil) در دماهای متفاوت، برای بهبود الحاق (Incorporation) ذرات و تقویت ترشوندگی در حین ساخت این کامپوزیت‌ها به روش ریخته‌گری گردابی بوده است. به علت مشکلات

۲- روش تحقیق

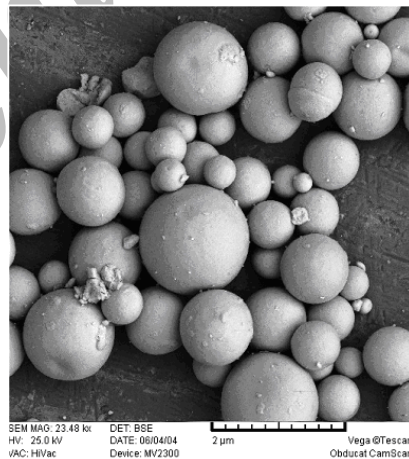
مواد اولیه اصلی مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر می باشد:

از آلیاژ Al-356 به عنوان زمینه فلزی کامپوزیت استفاده شد. شمش های این آلیاژ از شرکت تولیدی صنعتی کیان آلیاژ کاشان تهیه شد. جدول (۱) ترکیب شیمیایی آلیاژ را که توسط شرکت یاد شده در اختیار قرار گرفت، نشان می دهد. پودر زیرکونیای پایدار شده با ایتریا $ZrO_2-3mol\%Y_2O_3$ ، از کمپانی Tosoh ژاپن تهیه شد. اندازه قطر میانگین ذرات (D_{50}) پودر یاد شده برابر با $0.79 \mu m$ می باشد، (شکل ۱).

ناشی از اختلاف دانسیته زیرکونیا و آلومینیوم (به ترتیب 5.76 و 2.6 گرم بر سانتیمتر مکعب) و عدم ترشوندگی مناسب فاز تقویت کننده توسط فاز زمینه، ساخت کامپوزیت Al-ZrO₂ به روش گردابی تا قبل از این تحقیق گزارش نشده است. همچنین استفاده از ذرات زیرکونیا، بدون اعمال پوشش و با به کارگیری روش نوین فویل آلومینیوم و از سوی دیگر، استفاده از ذرات زیرکونیا با قطر متوسط کوچکتر از 1 میکرون که می تواند خواص به مراتب بهتری را در مقابل ذرات با قطر حداقل 30 میکرون در کامپوزیت ایجاد کنند، نشان دهنده نوآوری های مقاله و تحقیق حاضر می باشند.

جدول ۱ ترکیب شیمیایی آلیاژ Al-356

عنصر	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	Ni
درصد وزنی	۹۱/۷۳	۷/۲۳	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۳۸	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵

شکل ۱ تصویر SEM از پودر زیرکونیای مصرفی با قطر میانگین 0.79 میکرون

دهد، (شکل ۲). پروانه این همزن از جنس گرافیت بوده و به صورت پره‌های توربینی با زاویه ۴۵ درجه ساخته شد. قالب ریخته‌گری از جنس فولاد و به صورت مکعب مستطیل بوده که از پنج قطعه قابل اتصال به همراه یک قطعه نگهدارنده در کف تشکیل می‌شود. این قالب فولادی برای تهیه ۸ نمونه استوانه‌ای به ارتفاع ۱۵۰ mm و قطر ۱۵ mm در هر ذوب‌ریزی طراحی گردیده است (شکل ۳). به منظور بررسی خواص نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده در این تحقیق، آزمایش‌هایی انجام شد که در زیر به تجهیزات مربوط به هر یک اشاره می‌شود. برای بررسی فازی کامپوزیت‌ها، از دستگاه پراش پرتو X مدل Xpertpro ساخت شرکت Philips استفاده شد.

برای تهیه تصاویر و بررسی ریزساختاری پودرها و نیز کامپوزیت‌های ساخته شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل CamScan MV2300 ساخت شرکت Oxford انگلستان استفاده شد.



شکل ۳ تصویر قالب ساخته شده در این پژوهش

به منظور تهیه مخلوط مذاب، از کریولیت (Na_3AlF_6) به عنوان کمک ذوب استفاده شد. هدف‌های اصلی از افزودن کریولیت به مذاب، بیرون کشیدن سرباره و ناخالصی‌های مذاب، کاهش کشش سطحی مذاب (که باعث غوطه‌وری ذرات زیرکونیا با وجود دانسیته بالای آنها می‌شود) و نهایتاً جلوگیری از اکسیداسیون سطحی مذاب آلومینیوم، می‌باشد. خلوص این پودر ۹۹٪ و اندازه ذرات آن حدود ۱ mm بود که پس از آسیاب کردن به مذاب اضافه گردید. کریولیت مورد استفاده در این تحقیق از شرکت ایرالکو تهیه گردید.

سیستم ریخته‌گری از سه بخش اصلی کوره، همزن و قالب تشکیل شده است. برای ذوب کردن شمش‌های آلومینیوم از کوره با این سیستم استفاده شد. درب کوره در قسمت فوقانی به گونه‌ای طراحی شد که با باز کردن آن امکان ورود همزن به داخل مذاب فراهم شود. یک سیستم همزن طراحی و در کنار کوره نصب گردید تا عمل هم‌زدن مخلوط مذاب را انجام

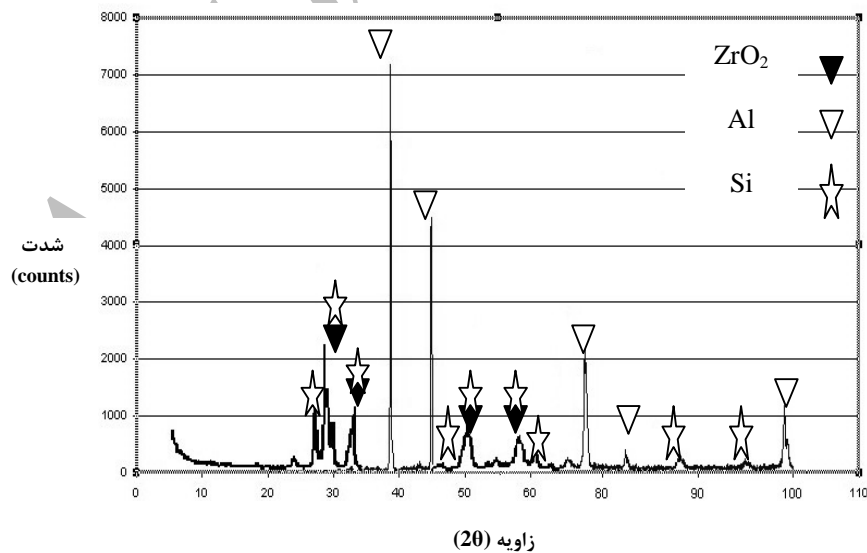


شکل ۲ سیستم ریخته‌گری ساخته شده در این پژوهش

اختلاط مناسب زیرکونیا در آلومینیوم مذاب (در حد 100°C بالای نقطه ذوب فلز) و برخوردار بودن مخلوط کامپوزیتی از سیلان کافی در حین ریخته‌گری و پرکردن کامل قالب می‌باشد. همچنین برای بررسی اثر دما بر افزایش ترشوندگی زیرکونیا توسط آلومینیوم مذاب، بار ریزی در دو دمای 850°C و 950°C نیز انجام شد. پس از هم‌زدن، مذاب داخل بوته به درون قالب ریخته شده و کامپوزیت تولید گردید. از سه درصد حجمی متفاوت زیرکونیا ($10, 15$ و 20%) و هرکدام در سه دمای متفاوت 750°C و 850°C و 950°C و از هر حالت ۸ نمونه تهیه گردید.

الگوی پراش پرتو X (XRD) به منظور تعیین فازهای موجود در کامپوزیت‌های ریخته‌گری شده تهیه گردید. برای هر حالت ریخته‌گری، یک نمونه استوانه‌ای با ارتفاع تقریبی 5 mm از قسمت وسط میله تهیه و ناهمواری‌های سطح آنها توسط سنباده‌های درشت (شماره حدود ۱۸۰) از بین برده شد و الگوی پراش پرتو X آن تهیه گردید.

به منظور ساخت کامپوزیت‌ها، در ابتدا مقدار لازم پودر زیرکونیا با انجام محاسبات مربوطه نسبت به وزن شمش آلومینیوم مصرفی در هر مرحله و در مقادیر حجمی ۵، ۱۰ و ۱۵٪ تعیین و توزین شد. در هر ذوب مقدار ۱۰ تا ۱۵ گرم کریولیت به عنوان کمک ذوب برای محافظت از سطح مذاب در مقابل اکسیداسیون اضافه شد. پس از ذوب کامل Al، کریولیت اضافه شده توسط یک همزن گرافیتی دستی هم زده می‌شد. پودر ZrO_2 درون فویل‌های بسیار نازک و کوچک آلومینیومی قرار داده شده و به آرامی به مذاب اضافه گردید. همزن گرافیتی نیز به گونه‌ای درون کوره و بوته قرار گرفت که فاصله آن تا کف بوته یک سوم ارتفاع کل بوته باشد. با مطالعه گزارش‌های ساخت دیگر کامپوزیت‌های ذره‌ای به روش گردابی و بررسی مدت زمان و سرعت هم‌زدن در آنها و همچنین، با در نظر گرفتن فاکتورهای مهم و مؤثر همچون ریز بودن ذرات زیرکونیا، زمان هم‌زدن ۱۲ دقیقه و سرعت همزن 300 rpm در نظر گرفته شد. علت انتخاب دمای 750°C ، به دلیل دمای



به منظور بررسی عناصر موجود، مورفولوژی فازها، ذرات و حفرات ایجاد شده در نمونه‌ها و نیز مشاهده فاز ZrO_2 در نمونه‌های کامپوزیتی، از میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده شد. برای این منظور از هر شمش ریخته‌گری شده یک نمونه به صورت قرص با ارتفاع تقریبی ۱۰ mm تهیه و پس از سنباده زنی با آلومینای ۱ میکرون پولیش شدند. سپس از محلول Keller به مدت ۴۵ ثانیه برای اچ کردن نمونه‌ها استفاده گردید [۱۴].

۳- نتایج و بحث

۳-۱ بررسی نتایج آزمایش پراش اشعه X. با بررسی نمودار پراش اشعه X نمونه‌های کامپوزیتی حاوی ۱۰٪ زیرکونیا در $850^\circ C$ در شکل (۴)، ملاحظه می‌شود که پیک‌های مورد انتظار آشکار شده و می‌توان از وجود فاز زیرکونیا در ساختار اطمینان کامل حاصل نمود.

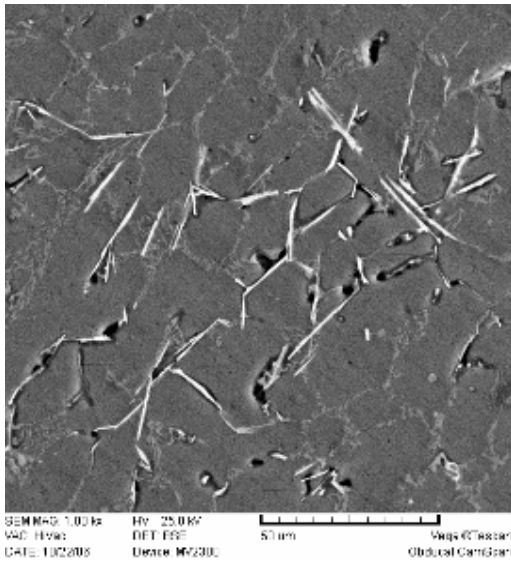
همان طور که دیده می‌شود پیک‌های هر دو فاز Al و ZrO_2 در ساختار موجود می‌باشند. به علت همسان بودن تمام نمودارهای پراش پرتو X مربوط به ۹ نمونه آزمایش، از آوردن بقیه آنها خودداری شده است. تنها تفاوت آن است که با تغییر درصد حجمی زیرکونیا، شدت پیک‌ها نیز اندکی کم یا زیاد می‌شود ولی مکان پیک‌ها دقیقاً یکسان است. لازم به ذکر است که برخی پیک‌ها دارای ۲ علامت متفاوت مربوط به فاز ZrO_2 و Si می‌باشند و این به دلیل همپوشانی و روی هم افتادن برخی پیک‌های این دو فاز می‌باشد.

۳-۲ بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی

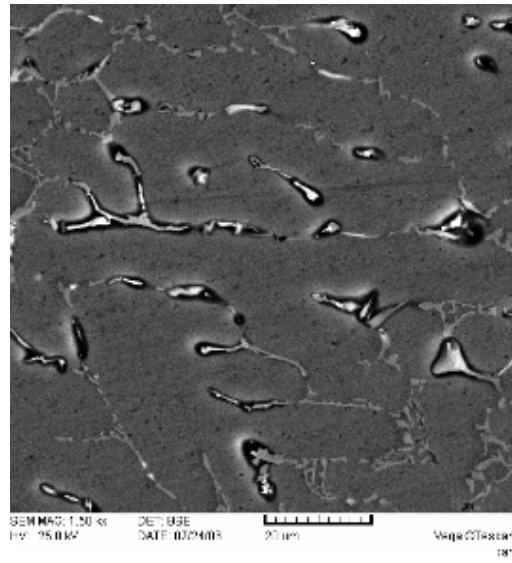
۳-۲-۱ نمونه‌های ریخته‌گری شده در $750^\circ C$. پودر زیرکونیا به خاطر شکل کروی خود، باعث ایجاد تفاوت‌هایی با دیگر ذرات متداول در ساخت کامپوزیت‌ها، از قبیل SiC و B_4C می‌شود که نتیجه این

اختلاف‌ها، خود را در خواص مورفولوژیکی و ریزساختاری کامپوزیت ساخته شده نشان می‌دهد. پودر زیرکونیا دارای ساختار FCC می‌باشد. از این رو، به دلیل عدم تطابق شبکه‌های کریستالی این دو با هم، فصل مشترک $Al-ZrO_2$ غیرکوهرنت می‌باشد. بر طبق شکل‌های (۵ و ۶) و در حین بررسی نمونه‌ها، آنچه در ابتدا به وضوح جلب نظر می‌نماید، تیغه‌های سفید رنگ سیلیسیم در زمینه خاکستری آلومینیم می‌باشد. ذرات زیرکونیا هم به طور پراکنده و به رنگ سفید براق (به دلیل عدد اتمی بالاتر)، در زمینه دیده می‌شود. هدف از تهیه تصاویر میکروسکوپ الکترونی در این نمونه‌ها، بررسی نحوه توزیع زیرکونیا در آلومینیم بوده است. با نگاهی دقیق تر می‌توان به وجود آگلومره در برخی نقاط پی برد. که این موضوع در فرآیند ریخته‌گری با اندازه ذرات بسیار ریز (کوچکتر از ۱ میکرون)، اجتناب ناپذیر است. در نقشه‌های پرتو X که همراه تصاویر SEM تهیه شد (شکل ۷)، توزیع مناسب عناصر زیرکونیوم و اکسیژن که فاز زیرکونیا را ایجاد می‌کنند، کاملاً مشهود است (این در حالی است که پیشتر، وجود زیرکونیا با استفاده از XRD که وظیفه تشخیص فاز را به عهده دارد، به اثبات رسیده است) [۱۵].

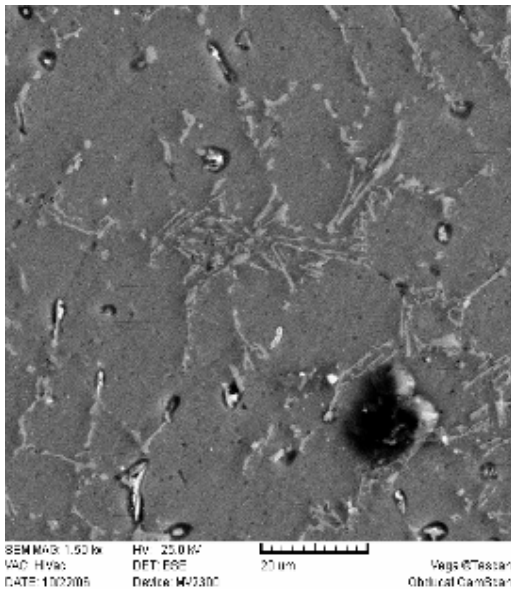
در آلیاژهای AlSi، جوانه‌زنی دندریت‌های $\alpha-Al$ در مجاورت ذرات تقویت کننده انجام می‌شود، ولی در شکل‌های (۷-۵) به نظر نمی‌رسد که جوانه‌زنی روی ذرات تقویت کننده انجام شده باشد و ذرات (صرف نظر از نوع و اندازه‌شان) اغلب در بین دندریت‌ها مشاهده می‌شوند [۱۶].



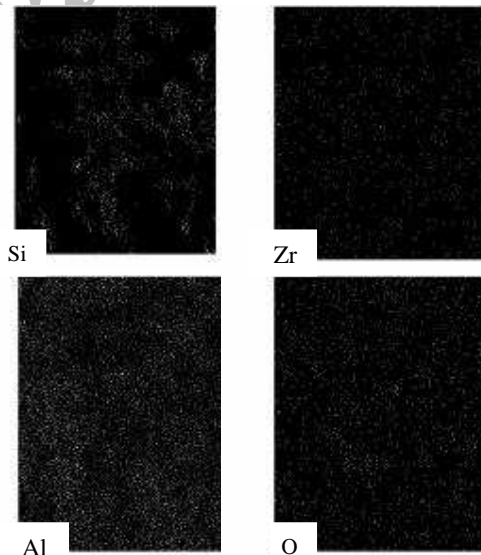
شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 75°C - ۱۰٪ حجمی زیرکونیا



شکل ۵ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 75°C - ۵٪ حجمی زیرکونیا



شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 75°C - ۱۵٪ حجمی زیرکونیا به همراه نقشه پرتو X مربوطه

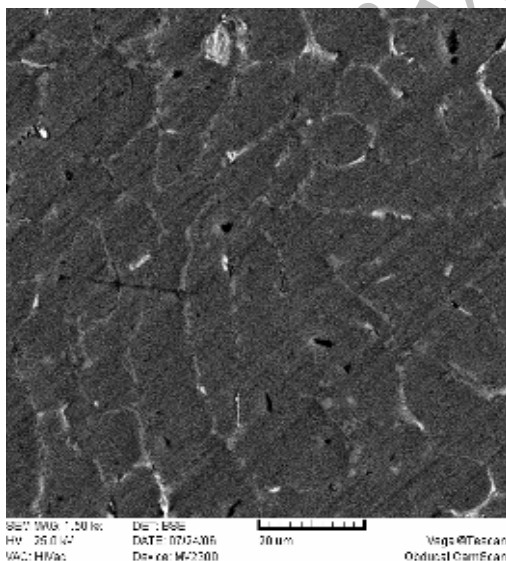


که در این تحقیقات مورد بررسی قرار گرفته‌اند وضعیت فرق می‌کند و به نظر می‌رسد که ذرات در آخرین منطقه انجمادی توسط زمینه، محبوس شده باشند. به علت

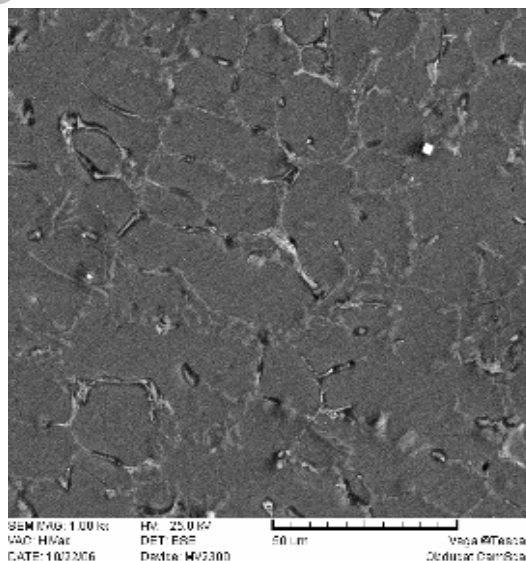
به طور کلی وقتی که فصل مشترک جامد/ مایع حرکت می‌کند، ذره متحرک خارجی یا محبوس می‌گردد و یا اینکه پس زده می‌شود. در کامپوزیت‌هایی

۲-۳-۳ نمونه‌های ریخته شده در 150°C به دلیل وجود مزایایی همچون افزایش سیالیت مخلوط مذاب کامپوزیتی که تا حدودی منجر به توزیع بهتر ذرات سرامیکی و تسهیل در انجام ذوب‌ریزی مخلوط مذاب می‌گردد و همچنین، تا حدی باعث بهبود ترشوندگی می‌شود، در این پژوهش از دماهای بالاتر هم برای تولید این کامپوزیت استفاده شد. در شکل‌های (۸، ۹ و ۱۰) نیز به مانند نمونه‌های سری قبلی، آگلومرهایی با توزیع مناسب و یکنواخت از ذرات زیرکونیا در زمینه دیده می‌شود. مشاهده می‌شود که با وجود این اجتماعات باز هم می‌توان توزیعی از ذرات زیرکونیا با ابعاد کوچکتر را تشخیص داد. با توجه به اینکه ابعاد پودرهای به کار رفته در حدود یک میکرون است، تشکیل آگلومرها طبیعی به نظر می‌رسد.

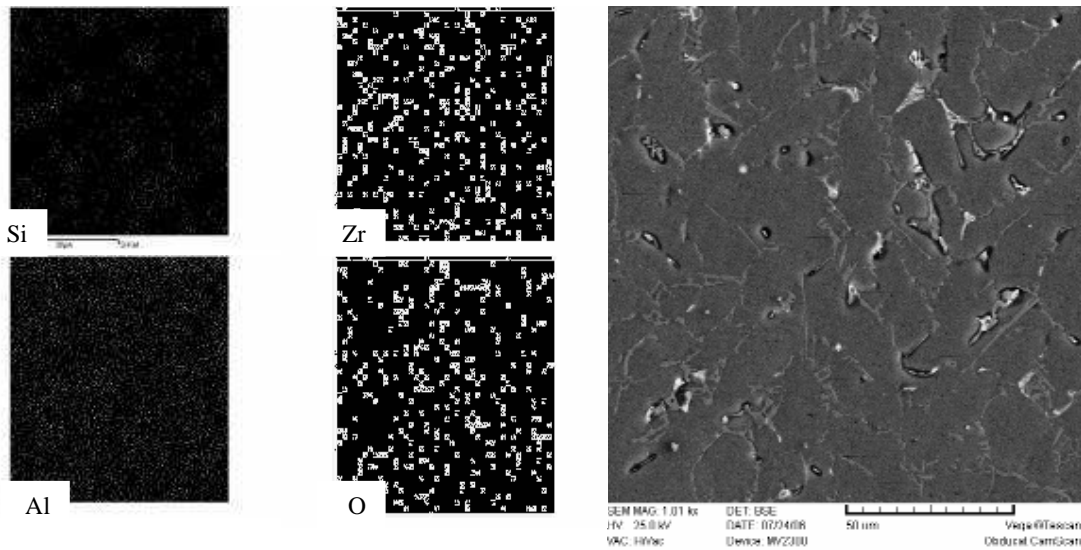
اینکه $\alpha\text{-Al}$ بر روی ذرات فاز ثانویه جوانه‌زنی نکرده است، ذرات در آخرین مراحل انجماد محبوس شده‌اند. یعنی چون دیواره‌های قالب سردتر از مذاب و ذرات تقویت کننده در وسط قالب است، انجماد از دیواره قالب آغاز می‌شود و به سمت مرکز قالب پیشرفت می‌کند [۱۷]. شکل‌های (۵-۷) و همچنین شکل‌های مربوط به دماهای بالاتر، شکل‌های (۸-۱۳)، هم این موضوع را نشان می‌دهند. در مورد عناصر آلیاژی همچون سیلیسیوم در این آلیاژ، فرآیند پس زده شدن عناصر آلیاژی در حین انجماد هم دقیقاً از حالت فوق تبعیت می‌کند. به طوری که نهایتاً در مرز دانه‌ها، مناطق بین دندریتی و یا پایانی انجماد، تجمعی از ذرات ZrO_2 و یوتکتیک سیلیسیم-آلمینیوم (فاز غنی از سیلیسیم که به صورت تیغه در تصویرها قابل مشاهده می‌باشند) وجود خواهد داشت.



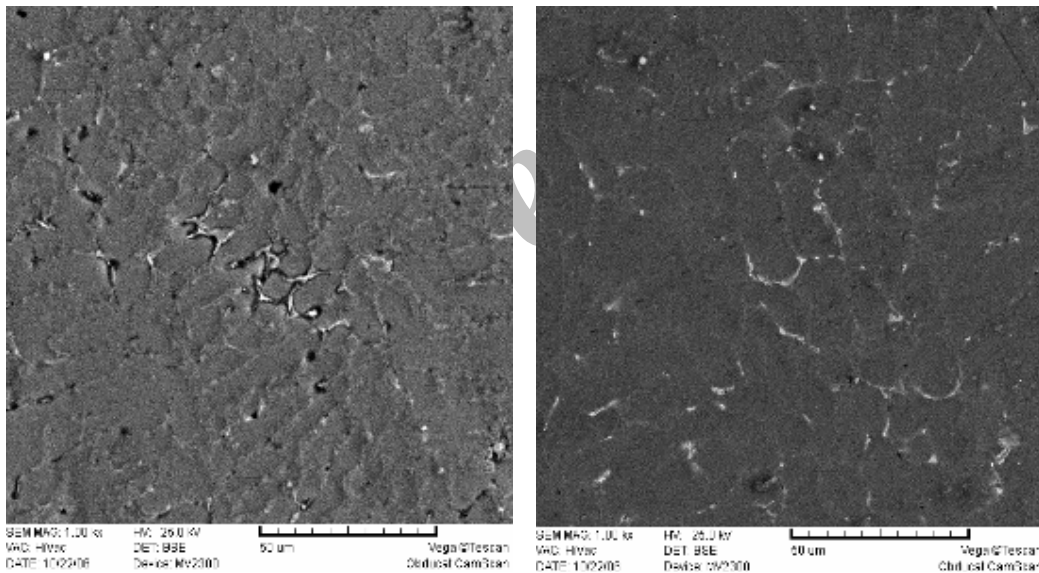
شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 150°C - ۱۰٪ حجمی زیرکونیا



شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 150°C - ۵٪ حجمی زیرکونیا



شکل ۱۰ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 85°C - ۱۵٪ حجمی زیرکونیا به همراه نقشه پرتو X مربوطه



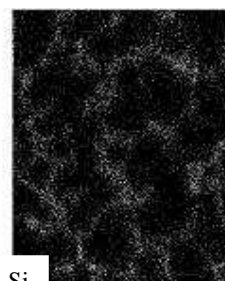
شکل ۱۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 95°C - ۱۰٪ حجمی زیرکونیا

شکل ۱۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در 95°C - ۵٪ حجمی زیرکونیا

که اوج این پدیده در نقشه‌های پرتو X مربوط به نمونه ۱۵٪ حجمی، به وضوح به چشم می‌خورد. هرچند در اینجا نیز مشکلات ترشوندگی موجب تشکیل توده‌هایی از ذرات زیرکونیا در کنار یکدیگر شده، ولی با وجود این، ذرات سفید رنگ پراکنده زیرکونیا را نیز به راحتی می‌توان در شکل‌ها تشخیص داد. نقشه‌های پرتو X

۳-۲-۳ نمونه‌های ریخته شده در 90°C . همان طور که در شکل‌های (۱۱، ۱۲ و ۱۳) دیده می‌شود، تفاوتی که در این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های سری‌های قبلی وجود دارد، افزایش چشمگیر تخلخل‌ها می‌باشد. البته افزایش ترشوندگی ناشی از افزایش دما هم باعث توزیع مناسب‌تر ذرات سفید رنگ زیرکونیا در زمینه شده است

افزایش دمای مذاب (فوق گداز) باعث افزایش تلاطم مذاب و جدایش خواهد شد که هر دوی این پدیده‌ها بر خواص کامپوزیت تأثیر منفی می‌گذارند. (۵) در یک درصد حجمی ثابت، با افزایش دما، به دلیل افزایش تلاطم مذاب که در نتیجه افزایش سیالیت مذاب صورت می‌پذیرد، تخلخل افزایش یافته است. همچنین در دمای ثابت، با افزایش درصد حجمی ذرات زیرکونیا، به دلیل افزایش ویسکوزیته مذاب ناشی از حضور ذرات جامد و همچنین محبوس شدن هوا، میزان تخلخل کامپوزیت افزایش می‌یابد. (۶) با استفاده از روش افزودن پودر سرامیکی به مذاب در داخل فویل آلومینیم که برای اولین بار در این تحقیق انجام شده، حتی بدون پوشش دهی ذرات زیرکونیا و نیز استفاده از ذرات در حد یک میکرون، می‌توان به توزیع مناسب و قابل قبول ذرات سرامیک در زمینه فلزی دست یافت. (۸) توزیع ذرات ZrO_2 در همه نمونه‌ها یکنواخت و مناسب می‌باشد. با وجود آگلومره های ZrO_2 در مناطقی از ساختار، توزیع این آگلومره ها یکنواخت می‌باشد.



Si



Zr



Al



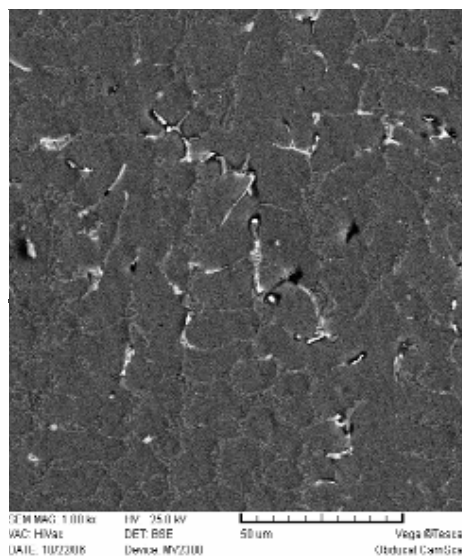
O

مربوطه نیز وجود فازهای مختلف تشکیل شده از همین عناصر را تأیید می‌کند [۱۳].

علت اینکه با افزایش دما، ترشوندگی اندکی افزایش می‌یابد این است که در حقیقت با افزایش دما، تأثیر لایه اکسید آلومینیم روی سطح مذاب که منجر به عدم ترشوندگی ذرات زیرکونیا توسط مذاب می‌شود، از بین رفته یا کاهش می‌یابد [۱۳].

۴- نتیجه گیری

- (۱) کامپوزیت $Al-ZrO_2$ به طور موفقیت آمیزی توسط روش ریخته‌گری گردابی تولید گردید.
- (۲) ذرات زیرکونیا بیشتر در مناطقی از کامپوزیت مشاهده شدند که آخرین محل های منجمد شده مذاب اند. همچنین ریز ساختار کامپوزیت های تولید شده نشان می‌دهد که $\alpha-Al$ بر روی ذرات زیرکونیا جوانه زنی نکرده است.
- (۳) با توجه به الگوی پراش XRD نمونه‌ها در محدوده دمایی انجام شده در این تحقیق ($750^\circ C$ تا $950^\circ C$)، حضور فاز تقویت کننده در ساختار اثبات می‌شود.
- (۴) افزایش دمای مذاب حین ریخته‌گری تا حدودی به عمل ترشوندگی کمک می‌کند ولی از طرف دیگر،



شکل ۱۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه ریخته شده در $950^\circ C - 15\%$ حجمی زیرکونیا به همراه نقشه پرتو X مربوطه

مراجع

1. G.E. Hatch, "ASM International". Metals Park.OH, (1980).
2. D.L. McDanel, Metall.Trans.A, Vol.16, pp.1105-1112, (1985).
3. D. Hull, "An Introduction to Composite Material, 2nd ed.", Mc Graw-Hill Book Co., pp.196-252, (1981).
4. W.F. Smith, "Principles of Materials & Engineering", Mc Graw-Hill New York, (1996).
5. Y.H. Seo, C.G. Kang. "Composites Science technology", Vol.59, pp.643-654, (1999).
6. M.K Surappa, P.K. Rohatgi, Journal of Materials Science, vol.16A, pp.983-993, (1990).
7. H.H. Zender, H. Leistner, H.R.Searle, " ZrO₂ – Werkstoffe Fur die Anwendung in der Keramischen Industrie. Interceram", Aachen Proceedings, Vol.39, No.6, pp.39-42, (1989).
8. K. Wolfram, "New Refractory-Materials Base of Zirconia-Mullite Composite", UNITCER (1999).
9. O.C. Standard, C.C. Sorell, "Densification of Zirconia Conventional Method", Key Engineering Material, Vol.12, pp.47-52 (1985).
10. X. Cao, J. Campbell, Int.j.Cast Metals Res., Vol.13, pp.175-184 (2000).
11. Delannay, F. Froyen, "Wetting of solids by molten metals and its relationship to the preparation of metal matrix composites", Journal of Materials Science, Vol.22, No.1, pp.1-16 (1987).
12. F. Aiguo, J. Benjamin, "Wettability of transition metal oxide surfaces", Materials Science and Engineering, Vol.A242, pp.50-56 (1998).
13. J. Hashim, L. Looney, "The wettability of SiC particles by molten aluminum alloy", Journal of Materials Processing Technology, Vol.119, pp.324-328 (2001).
14. ASM, "Handbook Formerly Ninth Edition, Metallographic techniques and microstructures Al alloys", Vol. 9, page 354.
15. J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, " Metal matrix composites: production by the stir casting method", Journal of Materials Processing Technology, Vol.92, pp.1-7, (1999).
16. A. Daoud, M. Abo-Elkhar, "Influence of Al₂O₃ or ZrO₂ particulate addition on the microstructure aspects of AlNi and AlSi alloys", Journal of Materials Processing Technology, Vol.120, pp.296- 302 (2002).
17. Y.S. Toulouklian, R.W. Powell, C.Y. Ho, M.C. Nicolaou, "Thermal Diffusivity: Thermophysical Properties of Materials", Vol. 10, IFI/ Plenum Press, New York, (1973).
18. S. Naher, D. Brabazon, L. Looney, "Development and assessment of a new quick quench stir caster design for the production of metal matrix composites", Journal of Materials Processing Technology, Vol.89, pp.430-438, (2004).