

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

محمد امین باغچه سرا^{(1)*} حمیدرضا بهاروندي⁽²⁾ حسین عبادي
زاده⁽³⁾ سيد محمد محسن ثابت⁽⁴⁾

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

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

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

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

تاریخ ثبت اولیه: 86/11/2، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: 87/7/14، تاریخ پذیرش: 87/7/24

چکیده در این پژوهش، کامپوزیت Al/ZrO_2 با استفاده از روش گردابی (اختلاط مستقیم) تهیه گردید. ذرات ZrO_2 به قطر متوسط 1 میکرون به آلیاژ Al-356 مذاب افزوده شد و پس از 13 دقیقه به هم زدن، در قالب فلزی ریخته‌گری شد. تأثیر پارامترهای درصد حجمی ذرات ZrO_2 و دماهای مختلف ذوب‌ریزی، بر ریزساختار کامپوزیت در 9 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، ترشوندگی.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: تهران - خیابان شریعی - نرسیده به ظفر - کوچه بهروز - پلاک 5 - شماره 7 .
تلفن: 22278393 و 021-22277490 پست الکترونیکی: amsara2000@gmail.com

1- 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 [1-3].

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 [4 و 5].

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 اختلال فرایندهای مخرب در فصل مشترک زمینه و فاز دوم و نیز مشکلات ترشوندگی فاز دوم توسط زمینه اشاره نمود [6].

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 [4]. زیرکونیا دارای خواص مناسبی از قبیل پایداری در برابر شوک‌های حرارتی، نقطه ذوب بالا و پایداری ترمودینامیکی بالا می‌باشد [7 و 8]. تنها مشکل زیرکونیا، تغییرات آلتروپیک آن در درجه حرارت‌های گوناگون می‌باشد. زیرکونیا تا دمای زیر 1170°C پایدار بوده و دارای ساختار منوکلینیک می‌باشد [9].

کامپوزیت‌های Al-ZrO_2 به خاطر دارا بودن خواص مطلوبی نظیر استحکام، مقاومت به

نخسوه وارد کردن ذرات، گاززدایی، ابعاد و دمای قالب ریخته‌گری و زمان هم زدن اشاره نمود [6].

به طور کلی، کوشش‌های انجام شده در این پژوهش در جهت بررسی تأثیر نوع افزودن ذرات پودری شکل ZrO_2 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 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 $Al-ZrO_2$ 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 می‌توانند خواص به مراتب بهتری را در مقابل ذرات با قطر حداقل 30 میکرون در کامپوزیت ایجاد کنند،

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 [13-10].

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،

کاشان تهیه شد. جدول (1) ترکیب شیمیایی آلیاژ را که توسط شرکت یاد شده در اختیار قرار گرفت، نشان می دهد. پودر زیرکونیایی پایدار شده با ایتریاکسید $ZrO_2-3mol\%Y_2O_3$ ، از کمپانی Tosoh ژاپن تهیه شد. اندازه قطر میانگین ذرات (D_{50}) پودر یاد شده برابر با $0.79 \mu m$ می باشد، (شکل 1).

نشان دهنده نوآوری های مقاله و تحقیق حاضر می باشند.

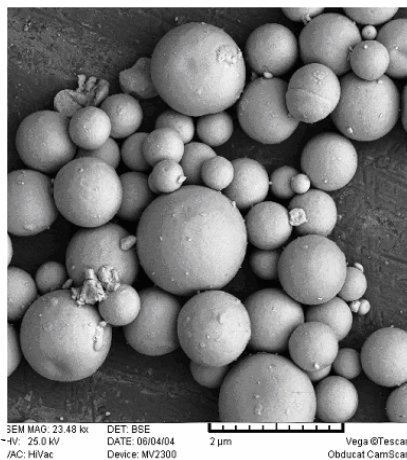
2- روش تحقیق

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

جدول 1 ترکیب شیمیایی آلیاژ Al-356

عنصر	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	Ni
درصد وزنی	91/73	7/23	0/32	0/18	0/38	0/02	0/05	0/01	0/05



شکل 1 تصویر SEM میانگین 0/79 میکرون

شکل 1 تصویر SEM

ناخالصی های مذاب، کاهش کشش سطحی مذاب (که باعث غوطه وری ذرات زیرکونیایی با وجود دانسیته بالای آنها می شود) و نهایتاً جلوگیری از اکسیداسیون

به منظور تهیه مخلوط مذاب، از کریولیت (Na_3AlF_6) به عنوان کمک ذوب استفاده شد. هدف های اصلی از افزودن کریولیت به مذاب، بیرون کشیدن سرباره و

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 8 نمونه استوانه‌ای به ارتفاع 150 mm و قطر 15 mm در هر ذوب‌ریزی طراحی گردیده است (شکل 3). 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.

سطحی مذاب آلومینیوم، می‌باشد. خلوص این پودر 99% و اندازه ذرات آن حدود 1 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 آلومینیم 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 دهد، (شکل 2). پروانه این همزن از جنس گرافیت بوده و به صورت پره‌های توربینی با زاویه 45 درجه ساخته شد. قالب ریخته‌گری



شکل 2 سیستم ریخته‌گری ساخته شده در این پژوهش

شکل 3 تصویر قالب ساخته شده در این پژوهش

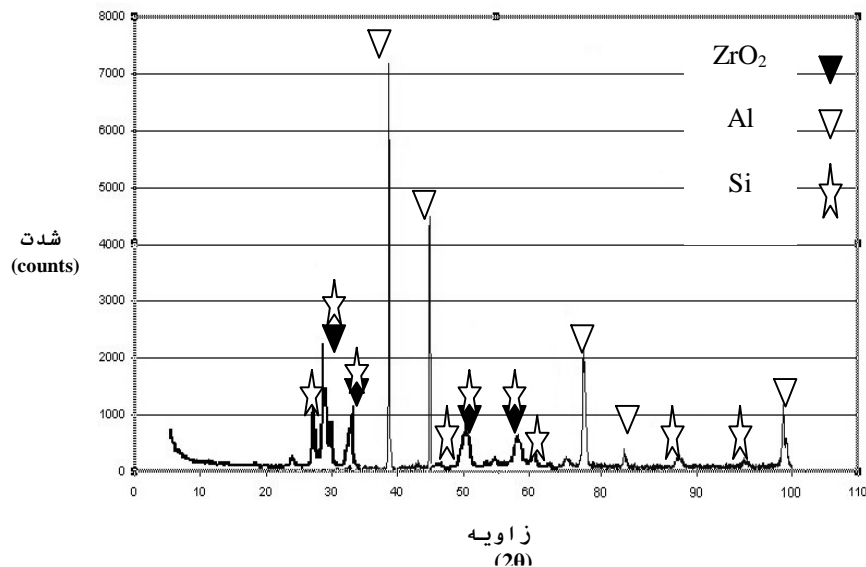
به منظور ساخت کامپوزیت‌ها، در ابتدا مقدار لازم پودر زیرکونیا با انجام محاسبات مربوطه نسبت به وزن شمش آلومینیم مصرفی در هر مرحله و در مقادیر حجمی 5، 10 و 15% تعیین و توزین شد. در هر ذوب مقدار 10 تا 15 گرم کریولیت به عنوان کمک ذوب برای محافظت از سطح مذاب در مقابل اکسیداسیون اضافه شد. پس از ذوب کامل Al، کریولیت اضافه شده توسط یک همزن گرافیتی دستی هم زده می‌شد. پودر ZrO_2 درون فویل‌های بسیار نازک و کوچک آلومینیمی قرار داده شده و به آرامی به مذاب اضافه گردید. همزن گرافیتی نیز به گونه‌ای درون کوره و بوتله قرار گرفت که فاصله آن تا کف بوتله یک سوم ارتفاع کل بوتله 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 12 دقیقه و سرعت همزن 300 rpm در نظر گرفته شد. علت انتخاب دمای $750^{\circ}C$ ، به دلیل دمایی

هرکدام در سه دمایی متفاوت 750 و 850 و 950°C و از هر حالت 8 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 180) از بین برده شد و الگوی پراش پرتو X آن تهیه گردید.

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 قالب می‌باشد. همچنین برای بررسی اثر دما بر افزایش ترشوندگی زیرکونیا توسط آلومینیم مذاب، بار ریزی در دو دمایی 850 و 950°C نیز انجام شد. پس از هم‌زدن، مذاب داخل بوتله به درون قالب ریخته شده و کامپوزیت تولید گردید. از سه درصد حجمی متفاوت زیرکونیا (5، 10 و 15%) و



شکل 4 نمودار پراش اشعه X نمونه حاوی 10% حجمی زیرکونیا ریخته‌گری شده در 850°C

به منظور بررسی عناصر موجود، مورفولوژی فازها، ذرات و حفرات ایجاد شده در نمونه‌ها و نیز مشاهده فاز ZrO₂ 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 10 mm تهیه و پس از

میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده شد. برای این منظور از هر شمش ریخته‌گری شده یک نمونه به صورت قرص با ارتفاع تقریبی 10 mm تهیه و پس از