

# بررسی تأثیر دمای بارریزی و زمان همزدن بر سختی، استحکام کششی و ریزساختار کامپوزیت A356-ZrSiO<sub>4</sub> تولید شده به روش ریخته‌گری گردابی

علیرضا عبدالمهی<sup>۱\*</sup>، زینب نصیری<sup>۱</sup>، حمیدرضا بهاروندی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۲- دانشیار مجتمع مواد و فناوریهای ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

\* alirezaabdollahi1366@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۵/۰۴، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۴)

## چکیده

در این تحقیق کامپوزیت زمینه فلزی A356-ZrSiO<sub>4</sub> با استفاده از روش ریخته‌گری گردابی یا اختلاط مستقیم تولید گردید. با استفاده از این روش پودر زیرکون (ZrSiO<sub>4</sub>) با متوسط اندازه ذرات ۱ میکرون به آلیاژ مذاب A356 اضافه و سپس مخلوط حاصل در قالب فولادی ریخته‌گری شد. تأثیر پارامترهای دما و زمان همزدن بر سختی، استحکام کششی و ریزساختار کامپوزیت در شش حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفت. جهت ارزیابی ریزساختار از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و برای بررسی خواص مکانیکی از آزمون کشش و سختی در هر شش حالت استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که در دمای ۷۵۰ درجه سانتیگراد با افزایش زمان هم‌زدن، استحکام و سختی افزایش و در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد با افزایش زمان مخلوط کردن، استحکام و سختی کاهش می‌یابد.

## واژه‌های کلیدی:

کامپوزیت زمینه فلزی، آلیاژ A356، زیرکون، ریخته‌گری گردابی.

## ۱- مقدمه

انبساط حرارتی پایین، خواص الکتریکی مناسب و خواص دما بالای عالی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲-۳]. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی با بکارگیری آلومینیوم به عنوان زمینه و نیز ذرات سرامیکی نظیر MoSi<sub>2</sub>، TiN، Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و ... به عنوان عامل تقویت‌کننده به منظور بهبود خواص مکانیکی و مقاومت سایشی آن‌ها انجام شده است [۳-۵]. از جمله ذرات سرامیکی که در ساخت کامپوزیت‌های پایه آلومینیوم از آن‌ها استفاده می‌شود، زیرکون (ZrSiO<sub>4</sub>)

هدف از ساخت مواد کامپوزیتی زمینه فلزی با استفاده از ذرات سرامیکی، ترکیب خواص مطلوب فلزات و سرامیک‌ها بوده است [۱]. از میان کامپوزیت‌های زمینه فلزی که جزء مواد مهندسی پیشرفته محسوب می‌شوند، کامپوزیت‌های پایه آلومینیوم (AMCs) به دلیل داشتن خواصی نظیر: وزن کم، استحکام و سفتی زیاد، مدول ویژه (E/p) بالا، مقاومت سایشی بسیار عالی، ضریب

دلیل مزیت اقتصادی، سهولت و انعطاف پذیری در انتخاب مواد و شرایط، مناسب ترین روش به نظر می‌رسد [۴].

فرآیند ریخته‌گری گردابی دارای مزایایی مانند اتصال خوب ذره/زمینه، امکان کنترل ریزساختار، سادگی و کم هزینه بودن، انعطاف پذیری و قابلیت استفاده برای رنج وسیعی از مواد می‌باشد. با این وجود این روش مشکلاتی نیز دارد؛ مانند ترشوندگی کم و توزیع غیریکنواخت ذرات تقویت کننده در زمینه. روش‌های مختلفی برای افزایش قابلیت ترشوندگی ذرات سرامیکی وجود دارد که یکی از آن‌ها پوشش دهی ذرات با یک فلز (معمولاً فلز زمینه) و یا عملیات حرارتی ذرات به منظور حذف گازها و رطوبت از سطح آن‌ها می‌باشد [۱۳-۱۵].

علیرغم ظاهر ساده روش گردابی، پارامترهای زیادی در این روش دخالت دارند. از جمله این پارامترها می‌توان به درجه حرارت همزدن، شکل همزن، سرعت همزدن، موقعیت همزن، نحوه وارد کردن ذرات، گاززدایی، ابعاد و دمای قالب ریخته‌گری و زمان همزدن اشاره نمود [۵ و ۱]. به عنوان مثال کلانتر و همکارانش [۱۶] در تحقیقات خود به بررسی تأثیرات دمای بارریزی، سرعت و زمان همزدن، موقعیت و شکل همزن بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های  $Al-TiC$ ،  $Al-B_4C$  و  $Al-Al_2O_3$  پرداخته‌اند. سجادی و همکارانش [۱۷ و ۱۸] نیز از فشار گاز آرگون برای وارد کردن ذرات  $Al_2O_3$  به داخل مذاب آلومینیوم استفاده کرده‌اند.

اگرچه تاکنون تحقیقاتی در زمینه پارامترهای مؤثر در فرآیند ریخته‌گری گردابی صورت گرفته است [۱۸-۱۶] اما بررسی‌های انجام شده در مورد تأثیر پارامترهای دما و زمان همزدن بسیار اندک است؛ بنابراین در این تحقیق، از میان تمام پارامترهای فوق، تأثیر دو عامل دما و زمان همزدن بر خواص مکانیکی و ریزساختار کامپوزیت  $Al-ZrSiO_4$  مورد بررسی قرار گرفته است.

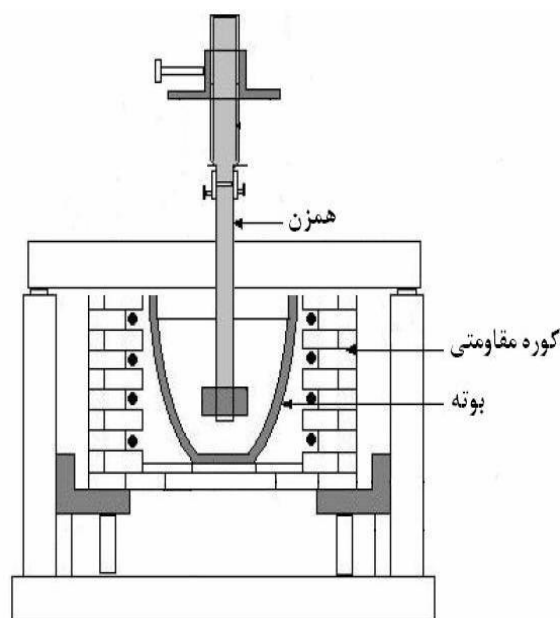
است. زیرکون دارای مدول الاستیک بالا، ضریب انبساط حرارتی پایین ( $^{-6} \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) در دمای ۲۵ تا  $1400^\circ\text{C}$ )، هدایت حرارتی کم ( $5/1 \text{ Wm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) در  $25^\circ\text{C}$  و  $10^{-1} \text{ Wm}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  در  $3/5$  در دمای  $1000^\circ\text{C}$ )، پایداری شیمیایی، مقاومت به خوردگی، مقاومت در برابر شوک‌های حرارتی (به دلیل عدم تغییرات فازی تا دمای  $1687^\circ\text{C}$ )، پایداری حرارتی بسیار عالی و سختی زیاد است. پایداری حرارتی زیرکون بسیار حائز اهمیت است، زیرا از یک طرف فرآیند ساخت کامپوزیت تحت تغییرات دمایی زیادی قرار دارد و از طرف دیگر، دگرگونی فازها باعث ایجاد تغییرات حجمی شدیدی می‌شود که این امر می‌تواند موجب جدایش در فصل مشترک فاز دوم با زمینه شود. بعلاوه، از آنجاییکه ضریب انبساط حرارتی زیرکون نسبت به بسیاری از سرامیک‌های اکسیدی دیگر پایین است، بنابراین تغییرات دمایی باعث ایجاد تنش‌های حرارتی نخواهد شد. از طرف دیگر تأثیرات ذرات زیرکون بر رفتار پیرسختی آلیاژهای آلومینیوم بسیار قابل توجه است [۴-۱۰].

با این وجود یکی از مشکلات ساخت این کامپوزیت‌ها، عدم ترشوندگی ذرات زیرکون توسط مذاب آلومینیوم می‌باشد که محدودیت‌هایی را در ساخت اینگونه کامپوزیت‌ها ایجاد می‌کند. علاوه بر این، بیشتر بودن دانسیته زیرکون نسبت به آلومینیوم باعث ایجاد جدایش در محدوده انتهایی قطعه ریخته‌گری می‌شود. کامپوزیت‌های  $Al-ZrSiO_4$  به دلیل داشتن سختی و مقاوت به سایش زیاد در ساخت ابزارهای برش کاربرد دارند، همچنین در صنایع خودروسازی، هوافضا و نظامی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۹ و ۴].

فرآیند ساخت کامپوزیت‌های زمینه فلزی، بسته به نوع تقویت‌کننده متفاوت است. به عنوان نمونه می‌توان به روش‌های ریخته‌گری کوبشی، ریخته‌گری تحت فشار، ریخته‌گری گردابی، روش پیوند نفوذی، روش رخنه‌دهی حالت بخار، روش متالورژی پودر، روش آلیاژسازی مکانیکی و ... اشاره کرد [۵ و ۱۱ و ۱۲]. از میان این روش‌ها، روش ریخته‌گری گردابی به

## ۲- روش تحقیق

در این تحقیق سیستم ریخته‌گری شامل کوره مقاومتی، همزن گرافیتی و قالب فولادی برای تولید نمونه‌های کامپوزیتی مورد استفاده قرار گرفت (شکل (۱)).



شکل (۱): تصویر شماتیک سیستم ریخته‌گری گردابی

پودر  $ZrSiO_4$  پیچیده شده در فویل آلومینیومی به مذاب در دمای  $750^\circ C$  درجه سانتیگراد و با زمان‌های هم‌زدن ۸، ۱۲ و ۱۶ دقیقه تولید و در مرحله دوم همین مراحل برای تولید نمونه‌های کامپوزیتی اما در دمای  $850^\circ C$  درجه سانتیگراد تکرار شد.

در پایان، در هر ۶ حالت، آزمون کشش و سختی روی نمونه‌ها انجام شده و ریزساختار آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نمونه آزمون کشش طبق استاندارد ASTM B557 تهیه و آزمون در دمای اتاق و با سرعت بارگذاری  $1 \text{ mm/min}$  انجام شد. برای مشاهده ریزساختار، نمونه برداری دقیقاً از وسط میله‌های ریخته‌گری شده صورت گرفت و سپس ریزساختار نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل JXA-840 ساخت شرکت JEOL ژاپن مورد بررسی قرار گرفت. آزمون سختی ویکرز نیز بر روی همین نمونه‌ها انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

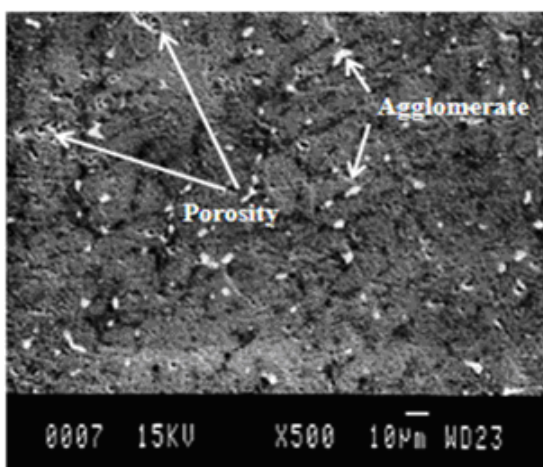
### ۳-۱- بررسی ریزساختار

ریزساختار نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $750^\circ C$  درجه سانتیگراد و با زمان‌های هم‌زدن ۸، ۱۲ و ۱۶ دقیقه به ترتیب در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده است. همانطور که تصاویر SEM نشان می‌دهند، یکی از مهمترین نتایج به دست آمده، توزیع تقریباً همگن پودر زیرکون در زمینه می‌باشد. البته بررسی دقیق‌تر تصاویر SEM بیانگر وجود آگلومره‌ها در برخی نقاط است که این موضوع در فرآیند ریخته‌گری با اندازه ذرات بسیار ریز، اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این تصاویر، آلومینیوم زمینه به رنگ سیاه یا خاکستری و ذرات زیرکون نیز به طور پراکنده و به رنگ سفید براق (به دلیل عدد اتمی بالاتر) در زمینه دیده می‌شوند.

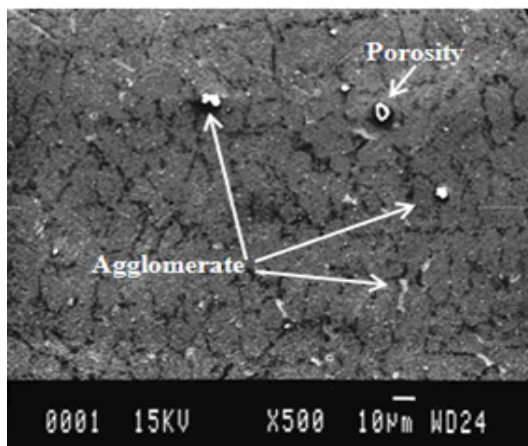
مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از آلیاژ آلومینیوم A356 به عنوان زمینه و ذرات زیرکون ( $ZrSiO_4$ ) با متوسط اندازه ذرات ۱ میکرون به عنوان تقویت کننده. میزان پودر زیرکون با توجه به وزن شمش‌های آلومینیوم محاسبه گردید. به منظور بهبود خاصیت ترشوندگی و توزیع یکنواخت ذرات از یک فرآیند سه مرحله‌ای استفاده شده است. این مراحل عبارتند از: مخلوط کردن ذرات زیرکون و پودر آلومینیوم در آسیاب ماهواره‌ای به مدت ۲ ساعت و با سرعت  $200 \text{ rpm}$ ، عملیات حرارتی ذرات در دمای  $100^\circ C$  و در نهایت پیچیدن ذرات تقویت کننده داخل فویل آلومینیومی (به صورت گلوله‌های کوچک). سپس در دو سری سه تایی (۶ حالت مختلف) نمونه‌های کامپوزیتی تولید و خواص آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. به عبارت دیگر در مرحله اول، سه نمونه کامپوزیتی با افزودن

با مقایسه ریزساختار نمونه‌ها مشخص می‌گردد که با افزایش زمان همزدن، توزیع ذرات زیر کون یکنواخت‌تر شده و آگلومره شدن ذرات کمتر رخ می‌دهد.

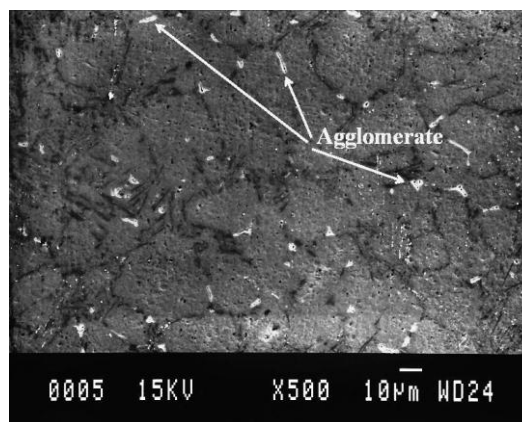
با افزایش دمای بارریزی، سیالیت مذاب کامپوزیتی افزایش یافت که این خود موجب توزیع بهتر ذرات سرامیکی و تسهیل در انجام ذوب‌ریزی شد. همچنین افزایش دمای بارریزی تا حدودی موجب بهبود خاصیت ترشوندگی گردید. ریزساختار نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  و با زمان‌های همزدن ۸، ۱۲ و ۱۶ دقیقه به ترتیب در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است.



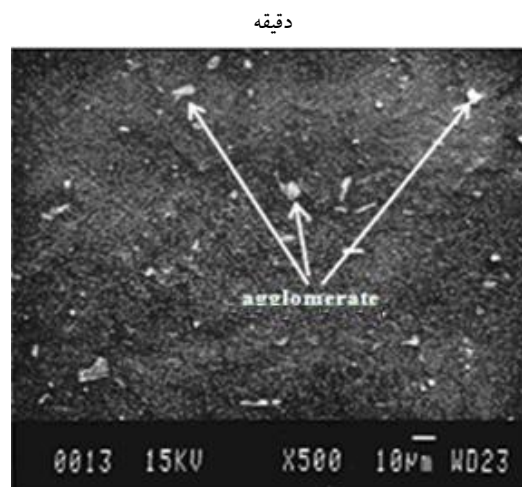
شکل (۵): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و زمان همزدن ۸ دقیقه



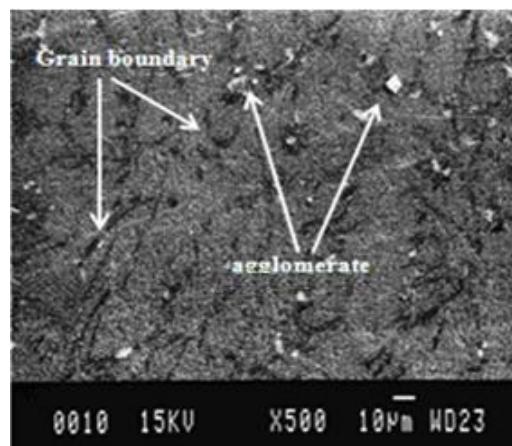
شکل (۶): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و زمان همزدن ۱۲ دقیقه



شکل (۲): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و زمان همزدن ۸ دقیقه



شکل (۳): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و زمان همزدن ۱۲ دقیقه

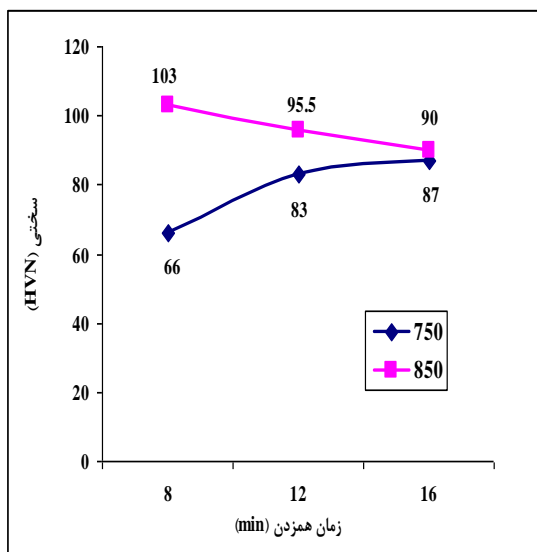


شکل (۴): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌های ریخته‌گری شده در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و زمان همزدن ۱۶ دقیقه

نیز عمل تلقیح ذرات ناقص بوده و ترشدن بخوبی انجام نمی گیرد و ذرات بر سطح مذاب شناور می مانند. لازم به ذکر است که نتایج به دست آمده با نتایجی که توسط کلاتر و همکارانش [۱۶] گزارش شده است کاملاً مطابقت دارد.

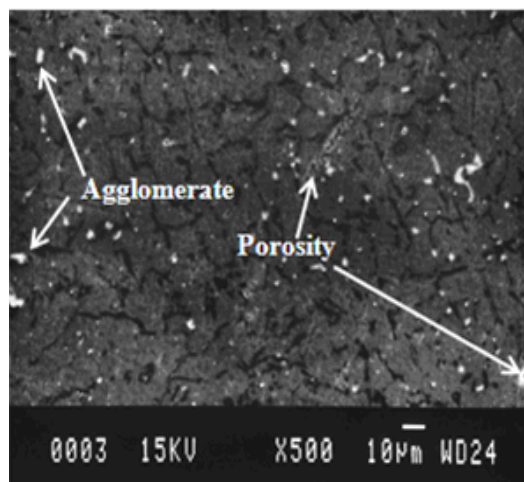
### ۲-۳- آزمون سختی ویکرز

شکل ۸ اثر افزایش زمان همزدن و دمای ریخته گری را بر سختی نمونه‌ها نشان می دهد. لازم به ذکر است که سختی نمونه‌ها دقیقاً از وسط آن‌ها گرفته شده است. واضح است که با افزایش دمای بارریزی از  $750^{\circ}\text{C}$  به  $850^{\circ}\text{C}$ ، سختی نمونه‌ها افزایش یافته است. این افزایش می تواند به دلیل بهبود خاصیت ترشوندگی ذرات زیرکون با افزایش دما و در نتیجه توزیع بهتر ذرات در زمینه باشد. بنابراین با همگن تر شدن توزیع ذرات (در اثر افزایش دما)، حرکت نابجایی‌ها از بین ذرات به تأخیر افتاده و سختی افزایش پیدا می کند.



شکل (۸): تأثیر زمان همزدن و دمای ریخته گری بر سختی نمونه‌ها

همانطور که در شکل (۸) دیده می شود، اثر زمان همزدن بر سختی نمونه‌ها در دماهای  $750^{\circ}\text{C}$  و  $850^{\circ}\text{C}$  با یکدیگر متفاوت است. یعنی در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  با افزایش زمان همزدن سختی افزایش، اما در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  با افزایش زمان همزدن سختی



شکل (۷): تصویر تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نمونه‌های ریخته گری شده در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد و زمان ۱۶ دقیقه

در این تصاویر نیز مانند نمونه‌های سری قبل، توزیع یکنواخت و همگن از ذرات زیرکون داخل زمینه و همچنین پدیده آگلومره شدن مشاهده می شود، با این تفاوت که در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  آگلومره‌ها دارای ابعاد کوچکتری هستند و توزیع آن‌ها نیز یکنواخت تر است. علاوه بر این، افزایش دمای مذاب یا فوق گداز به عمل ترشوندگی کمک می کند ولی باعث افزایش تخلخل، تلاطم مذاب، جذب گاز و در برخی موارد واکنش‌های مخرب و ناخواسته خواهد شد که مضر است. در این سری نیز مانند حالت قبل، با افزایش زمان همزدن، توزیع ذرات یکنواخت تر و اندازه آگلومره‌ها کمتر شده، اما چون دما بالاتر از سری قبل است، بنابراین میزان تخلخل‌ها به طور چشمگیری افزایش یافته است. به عبارت بهتر، با افزایش زمان همزدن و اعمال تنش برشی، سیالیت افزایش می یابد که به خروج گازهای محبوس شده و غوطه‌ورسازی ذرات تقویت کننده در مذاب کمک می نماید و امکان انجام ساخت کامپوزیت در سرعت‌های همزدن پایین تر به وجود می آید. اما از طرف دیگر در یک سرعت معین، افزایش زمان همزدن شرایط مساعدی برای ورود گازهای محیطی به مذاب و افزایش تخلخل در کامپوزیت را فراهم آورده و همین طور خرد شدن تدریجی ذرات تقویت کننده را به دنبال دارد. در زمان های خیلی کوتاه

برای توجیه این رفتار باید گفت، دردمای  $750^{\circ}\text{C}$  با افزایش زمان همزدن، توزیع ذرات تقویت کننده داخل زمینه همگن تر شده و اندازه خوشه‌ها کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، فصل مشترک زمینه با فاز تقویت کننده نیز در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  از کیفیت قابل قبولی برخوردار است. این دو عامل یعنی توزیع همگن ذرات و کیفیت مناسب فصل مشترک منجر به افزایش دانسیته نابجایی‌ها و تجمع آن‌ها در پشت ذرات زیرکون (که به عنوان مانع در برابر حرکت نابجایی‌ها عمل می‌کنند) می‌شود. افزایش دانسیته نابجایی‌ها و تجمع آن‌ها در پشت ذرات تقویت کننده باعث ایجاد کارسختی در قطعه شده و استحکام را افزایش می‌دهد [۱۸]. به عبارت دیگر، از آنجاییکه با افزایش زمان همزدن توزیع ذرات در زمینه همگن تر می‌شود، بنابراین طبق رابطه (۱) فاصله بین ذرات ( $\lambda$ ) کاهش و در نتیجه تنش برشی لازم ( $\tau$ ) برای عبور نابجایی‌ها از بین ذرات افزایش یافته و حرکت آن‌ها به تأخیر می‌افتد که این باعث افزایش استحکام کامپوزیت می‌شود [۱۹ و ۲۰]:

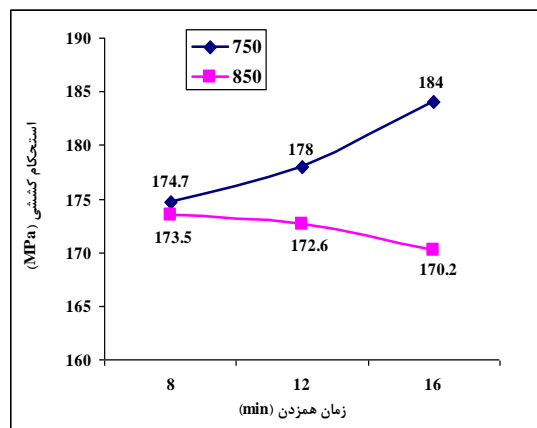
$$\tau = Gb / \lambda \quad (1)$$

در دمای  $850^{\circ}\text{C}$ ، اگرچه با افزایش زمان همزدن توزیع ذرات یکنواخت تر می‌شود، اما چون میزان تلاطم مذاب و جذب گاز نسبت به دمای  $750^{\circ}\text{C}$  بسیار بیشتر است، میزان تخلخل در نمونه‌ها افزایش می‌یابد. از آنجاییکه تخلخل‌ها به عنوان مراکز تمرکز تنش عمل کرده و منبع ترک محسوب می‌شوند، بنابراین با افزایش درصد تخلخل (به دلیل افزایش زمان همزدن) استحکام کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، چون میزان جدایش ذرات تقویت کننده در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  بیشتر است بنابراین تعداد موانع موجود در مسیر حرکت نابجایی‌ها کاهش و فاصله بین ذرات ( $\lambda$ ) افزایش یافته و طبق رابطه (۱) کارسختی کمتری اتفاق می‌افتد (استحکام کاهش می‌یابد) [۱۹ و ۲۰]. علاوه بر موارد فوق، واکنش بین ذرات و زمینه و پیوند نسبتاً ضعیف در فصل مشترک به دلیل انجام واکنش‌های مخرب در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  منجر به کاهش استحکام کششی می‌شود [۲۱]. بنابراین باید به این نکته

کاهش یافته است. برای توجیه این رفتار می‌توان گفت که در دمای  $750^{\circ}\text{C}$ ، افزایش زمان همزدن، باعث توزیع بهتر ذرات زیرکون در زمینه و کاهش ابعاد آگلومره‌ها شده است که این امر باعث افزایش سختی می‌شود. اما در دمای  $850^{\circ}\text{C}$ ، اگرچه با افزایش زمان همزدن توزیع ذرات همگن تر و ابعاد آگلومره‌ها کوچکتر شده است اما باید به این نکته توجه داشت که افزایش دمای ریخته‌گری به همراه افزایش زمان همزدن موجب تلاطم بیشتر و بالا رفتن میزان جذب گاز توسط مذاب شده و میزان تخلخل داخل نمونه‌ها را به شدت افزایش می‌دهد.

### ۳-۳-۳- آزمون کشش

تأثیر افزایش زمان همزدن و دمای ریخته‌گری بر استحکام کششی نمونه‌ها در شکل ۹ گزارش شده است. مشخص است که با افزایش دمای بارریزی، استحکام کششی کاهش یافته است که این می‌تواند به دلیل بالا رفتن میزان جذب گاز و در نتیجه افزایش تخلخل‌ها به دلیل افزایش دما باشد. همچنین با افزایش دمای بارریزی احتمال انجام واکنش‌های مخرب زیاد می‌شود. محصولات واکنش‌های مخرب معمولاً ترکیبات بین فلزی بسیار ترد هستند که به عنوان مراکز تمرکز تنش و ایجاد ترک عمل کرده و استحکام کششی را کاهش می‌دهند [۲۱]. با مشاهده شکل (۹) مشخص می‌شود که در دمای  $750^{\circ}\text{C}$  با افزایش زمان همزدن، استحکام کششی افزایش یافته است اما در دمای  $850^{\circ}\text{C}$  افزایش زمان همزدن موجب کاهش استحکام کششی شده است.



شکل (۹): تأثیر زمان همزدن و دمای ریخته‌گری بر استحکام کششی نمونه‌ها

- during low time mechanical milling process”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 509, pp. 4978–4986, 2011.
- [4] Sanjeev Das, V. Udhayabanu, S. Das & K. Das, "Synthesis and characterization of zircon sand/ Al-4.5 wt% Cu composite produced by stir casting route", *Journal of Materials Science*, Vol. 41, Issue 14, pp. 4668–4677, 2006.
- [5] Abdollahi, A. Alizadeh & H.R. Baharvandi, "Dry sliding tribological behavior and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5 wt.% B<sub>4</sub>C nanocomposite produced by mechanical milling and hot extrusion”, *Materials and Design*, Vol. 55, pp. 471–481, 2014.
- [6] S.C.Sharma, B.M. Girish, D.R. Somashekar, R. Kamath & B.M. Satish, "Mechanical properties and fractography of zircon-particle-reinforced ZA-27 alloy composite materials”, *Composites Science and Technology*, Vol. 59, pp. 1805-1812, 1999.
- [7] M. Hamidouche, N. Bouaouadja, R. Torrecillas & G. Fantozzi, "Thermomechanical behavior of a zircon-mullite composite”, *Ceramics International*, Vol. 33, pp. 655–662, 2007.
- [8] S.C. Sharma, B.M. Girish, D.R. Somashekar, B.M. Satish & R. Kamath, "Sliding wear behaviour of zircon particles reinforced ZA-27 alloy composite materials”, *Wear*, Vol. 224, pp. 89–94, 1999.
- [9] Banerji, M.K. Surappa & P.K. Rohatgi, "Cast Aluminum alloys Containing Dispersion of Zircon Particles”, *Metallurgical and materials Transactions B*, Vol. 14, Issue 2, pp. 273-283, 1983.
- [10] P.J. Wilson, S. Blackburn, R.W. Greenwood, B. Prajapati & K. Smalley, "The role of zircon particle size distribution, surface area and contamination on the properties of silica-zircon ceramic materials”, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 31, pp. 1849–1855, 2011.
- [11] Daoud, M.T. Abou El-Khair & A.N. Abdel-Aziz, "Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles on the Microstructure and Sliding Wear of 7075 Al Alloy Manufactured by Squeeze Casting Method”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 13, No. 2, pp. 135-143, 2004.
- [12] M. Rahimian, N. Parvin & N. Ehsani, "The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- توجه داشت که با افزایش دمای بارریزی، اگرچه ترشوندگی به دلیل تشکیل فازهای واکنشی بیشتر، بهبود می‌یابد اما احتمال انجام واکنش‌های مخرب نیز زیاد می‌شود. محصولات واکنش‌های مخرب معمولاً ترکیبات بین فلزی بسیار ترد هستند که به عنوان مراکز تمرکز تنش و ایجاد ترک عمل کرده و استحکام کششی را کاهش می‌دهند [۱۶].
- #### ۴- نتیجه‌گیری
- ۱- با افزایش زمان همزدن، توزیع ذرات زیرکون یکنواخت‌تر شده و همچنین آگلومره شدن ذرات کمتر رخ می‌دهد.
- ۲- با افزایش دمای بارریزی از ۷۵۰°C تا ۸۵۰°C سیالیت مذاب افزایش و خاصیت ترشوندگی تا حدودی بهبود یافت که این خود موجب توزیع همگن‌تر ذرات سرامیکی، کاهش ابعاد آگلومره‌ها و تسهیل در انجام بارریزی شد. ولی از طرف دیگر، افزایش فوق‌گداز باعث افزایش تلاطم مذاب، بالا رفتن میزان جذب گاز، جدایش و تخلخل خواهد شد که برای خواص مکانیکی مضر است.
- ۳- افزایش دمای بارریزی باعث کاهش استحکام کششی و افزایش سختی گردید.
- ۴- در دمای ۷۵۰°C با افزایش زمان همزدن، استحکام کششی و سختی افزایش یافت.
- ۵- در دمای ۸۵۰°C با افزایش زمان همزدن، استحکام کششی و سختی روند نزولی نشان می‌دهند.
- #### ۵- مراجع
- [۱] م. باغچه‌سرا، ح. عبدی‌زاده و ح. بهاروندی، "تولید کامپوزیت زمینه آلومینیوم با فاز دوم ZrO<sub>2</sub> توسط روش اختلاط مستقیم و بررسی ریزساختار آن"، ریخته‌گری، شماره ۸۹، صص ۳۰-۳۸، ۱۳۸۷.
- [2] Canakci, "Microstructure and abrasive wear behaviour of B<sub>4</sub>C particle reinforced 2014 Al matrix composites”, *Journal of Materials Science*, Vol. 46, pp.2805-2813, 2011.
- [3] M. Alizadeh, M. Mirzaei Aliabadi, "Synthesis behavior of nanocrystalline Al–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite

- [21] Y.C. Kang, S.L.I. Chan, "Tensile properties of nanometric  $Al_2O_3$  particulate-reinforced aluminum matrix composites", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 85, pp. 438–443, 2004.
- composite", *Materials and Design*, Vol. 32, pp. 1031–1038, 2011.
- [۱۳] ح. میرحسینی، و. اسدی، "ساخت و بررسی عملیات حرارتی کامپوزیت ریختگی  $A356-Al_2O_3$ "، پنجمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۰.
- [۱۴] آ. کفیلزاده، ح. آشوری، ن. ورهرام، ف. باقری جلیلی و ع. فروغی، "بررسی اثر اکسیداسیون ذرات تقویت کننده بر ترشوندگی و استحکام در ساخت کامپوزیت  $Al-B_4C$  به روش ریخته گری گردابی"، دومین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژی ایران و جامعه ریخته گران ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، ۱۳۸۷.
- [۱۵] ح. بیگی، ع. سجادی و م. زبرجد، "بررسی تاثیر فعال سازی سطح ذرات  $Al_2O_3$  به روی ریزساختار نانو کامپوزیت های  $Al-Al_2O_3$ "، پنجمین همایش مشترک انجمن مهندسين متالورژی ایران و جامعه ریخته گران ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۰.
- [۱۶] م. کلاتر، ع. مشرقی و م. سلیمانی، "بررسی و مطالعه تاثیر ماهیت ذرات استحکام دهنده و پارامترهای فرآیند ساخت بر ریزساختار و خواص مکانیکی کامپوزیت های ذره ای بر پایه آلومینیم"، نشریه مهندسی متالورژی و مواد، سال بیست و یکم، شماره دو، صص ۸۴-۱۳۸۹، ۷۱.
- [17] S.A. Sajjadi, H.R. Ezatpour & M. Torabi Parizi, "Comparison of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/ $Al_2O_3$  composites fabricated by stir and compo-casting processes", *Materials and Design*, Vol. 34, pp 106–111, 2012.
- [18] S.A. Sajjadi, H.R. Ezatpour & H. Beygi, "Microstructure and mechanical properties of  $Al-Al_2O_3$  micro and nano composites fabricated by stir casting", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 528, pp 8765–8771, 2011.
- [۱۹] م. رحیمیان، ن. احسانی، ح. بهاروندی و ن. پروین، "بررسی اثر مقدار ذرات  $Al_2O_3$  بر خواص کامپوزیت  $Al-Al_2O_3$  ساخته شده به روش متالورژی پودر"، یازدهمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان، ۱۳۸۶.
- [20] G.E. Dieter, "Mechanical Metallurgy", Third Edition, McGraw-Hill, 1976.