

بررسی ریزساختار و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت Al5083-ZrB_2

ساخته شده به روش ریخته‌گری گردابی

مقاله علمی پژوهشی

مسعود معتمدی یگانه^۱ علی علیزاده^۲

چکیده

در پژوهش حاضر، تاثیر افزودن نانوذرات دی بوراید زیرکونیم (ZrB_2) بر ریزساختار و خواص کششی کامپوزیت زمینه آلومینیوم ۵۰۸۳ مطالعه و بررسی شد. نانوکامپوزیت‌های $\text{Al5083-5wt\% ZrB}_2$ و $\text{Al5083-10wt\% ZrB}_2$ به روش ریخته‌گری گردابی در دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس با فرایند سنتز درجا تولید شدند. سپس نمونه‌ها به منظور توزیع یکنواخت تقویت‌کننده‌ها در زمینه تحت عملیات تکمیلی اکستروژن گرم قرار گرفتند. نانوذرات ZrB_2 مورد استفاده در این پژوهش با روش درجا به وسیله کریولیت (Na_3AlF_6)، اکسید زیرکونیم (ZrO_2) و پتاسیم تترافلوروبوراید (KBF_4) در مذاب آلومینیوم فراوری شد. به منظور بررسی ریزساختار، سطوح و سازکار شکست نمونه‌ها از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ نوری (OM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) و برای ارزیابی خواص مکانیکی از آزمون کشش استفاده شد. نتایج آزمون کشش نشان داد که افزودن ۱۰ درصد وزنی ذرات ZrB_2 ، در مقایسه با نمونه بدون تقویت‌کننده، باعث افزایش ۱۸٫۲ درصدی استحکام کششی نهایی و کاهش ۱۹٫۵ درصدی کرنش می‌شود. همچنین عملیات تکمیلی اکستروژن سبب کاهش تخلخل شده در نتیجه چگالی افزایش یافته است.

کلید واژه: سنتز درجا، آلومینیوم ۵۰۸۳، ریخته‌گری گردابی، نانوذرات دی بوراید زیرکونیم



^۱ - کارشناس ارشد نانوفناوری-نانومواد-دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران-مجمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت-ایران-تهران

maseodyegane@gmail.com

^۲ - دانشیار مجمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۱- مقدمه

نانوکامپوزیت‌ها در سال‌های اخیر چه در زمینه علمی و چه در زمینه مهندسی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. این بحث‌ها از فرضیه‌های ساده‌ای نتیجه می‌شوند که از ذرات سازنده دارای ابعادی در حد نانومتر استفاده می‌کنند و این امکان را فراهم می‌کنند تا موادی جدید با انعطاف‌پذیری بی‌نظیر و خواص فیزیکی پیشرفته، طراحی و ساخته شوند. این قابلیت کامپوزیت‌ها با به کار بردن ذرات سازنده در حد نانو از نوع شیمیایی غیر هموزن، در رشته‌ها و زمینه‌های علمی متعددی به کار گرفته می‌شود. از آنجائی که اجزاء یک نانوکامپوزیت ساختار، ترکیب و ویژگی‌های متفاوتی دارد، کاربردهای بسیار مختلفی نیز خواهند داشت. بنابراین، موادی که از آن‌ها ساخته می‌شوند، می‌توانند دارای کاربردهای چندگانه باشند. به طور کلی، مواد نانوکامپوزیت می‌توانند خواص مکانیکی، الکتریکی، نوری، الکتروشیمیایی و ساختار متفاوتی نسبت به اجزاء تشکیل دهنده خود، نشان دهند [۸-۱].

دی‌بورید زیرکونیوم نیز از جمله مواد تقویت‌کننده‌ای است که خواص مکانیکی و سایشی آن، توجه صنایع و پژوهشگران را به خود معطوف نموده است. مقادیر بالای مدول الاستیک، مدول برشی، سختی، پایداری حرارتی و چقرمگی شکست این ماده، نشانگر توانایی‌های آن برای تقویت‌نمودن

زمینه‌های فلزی برای مصارف مختلف صنعتی است [۲].

روش ریخته‌گری گردابی روشی خاص، قابل قبول و کارا در بین انواع روش‌های تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی است. مطابق بررسی‌های انجام شده توسط محققین، هزینه‌های تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی به روش ریخته‌گری گردابی تقریباً ۳۰ تا ۵۰ درصد نسبت به سایر روش‌های تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی کمتر است. این روش یکی از اساسی‌ترین روش‌های تولید کامپوزیت‌های زمینه فلزی در حالت مایع می‌باشد. در این روش در ابتدا فلز مورد نظر در بوتله ریخته شده و تا دمای ذوب گرم می‌شود تا بصورت مذاب درآید. دمای مذاب در ابتدا به بالاتر از دمای ذوب رسانده می‌شود. پس از این مرحله پروانه‌های که در تماس با شفت موتوردار است پیش گرم می‌شود. جنس این پروانه می‌تواند از گرافیت باشد. سرعت پروانه قبل از اینکه داخل مذاب شود تنظیم می‌شود [۹-۱۴].

با توجه به کاربردهای فراوان کامپوزیت‌های زمینه فلزی پژوهش‌های قابل توجهی در جهت توسعه نانو کامپوزیت‌ها صورت گرفته است که در آن‌ها تقویت‌کننده‌ها از طریق واکنش‌های گرمازا بین عناصر یا بین عناصر و ذرات موجود در قطعه تشکیل می‌شوند. به خاطر تشکیل تقویت‌کننده‌های سرامیکی پایدار (بوراید‌ها، کاربیدها،

نیتريدها و اکسيدها) در اندازه‌های نانو در اين روش، قطعه داراي ويژگي‌های مکانیکی عالی است. اين مواد داراي ويژگي‌های مطلوب فلزات (انعطاف پذيري و سفتي) و سرامیک‌ها (استحکام و مدول بالا) هستند [۱۵-۱۸].

علاوه بر خواص تک‌تک اجزاء در یک نانو کامپوزيت، فصل مشترک^۳ها نیز نقش مهمی در افزايش يا محدود کردن خواص کلی سیستم ایفا می‌کنند. با توجه به انرژی سطحی بالا در نانو ساختارها، نانو کامپوزيت‌ها فصول مشترک بسیاری بين فازهای ترکیب شده اجزاء نشان می‌دهند. گاهی اوقات ويژگي‌های مخصوص مواد نانو کامپوزيتی، از برخورد فازهای آن در فصل مشترک‌ها ناشی می‌شود. یک فصل مشترک بدون فعل و انفعال، تنها می‌تواند مناطق ضعیفی را در کامپوزيت ایجاد کند، که باعث می‌شود خواص مکانیکی آن افزايش نیابد [۱۹-۲۰].

ذرات سرامیکی با ابعاد نانو از آن جهت که بدون کاهش چشمگیر درصد ازدیاد طول^۴ باعث افزايش استحکام ماده می‌شوند در ساخت کامپوزيت‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. از طرف دیگر در مقایسه با ذرات با ابعاد در حد میکرومتر، مساحت سطح نانو ذرات بسیار بیشتر است و بنابراین یک نانو کامپوزيت می‌تواند خواص منحصر بفردی داشته باشد [۵]. نانو ذرات دی

بوراید تیتانیوم برای بهبود خواص مکانیکی و حرارتی نانو کامپوزيت‌ها به ویژه کامپوزيت‌های زمینه فلزی با زمینه آلومینیوم بسیار پر کاربرد هستند [۱۴].

روش درجا یکی از روش‌های جدید ساخت کامپوزيت‌ها است که در آن فاز تقویت کننده داخل زمینه تشکیل می‌شود، در حقیقت فاز تقویت کننده از طریق انجام واکنش های شیمیایی بين عناصر، یا بين عناصر و ترکیب‌های دیگر درون فاز زمینه ایجاد می‌شود. بنابراین، فاز تقویت کننده با ابعاد ریز و توزیع یکنواختی در زمینه پراکنده می‌شود. مزیت عمده روش درجا، ترشوندگی مناسب ذرات تقویت کننده توسط مذاب است. کامپوزيت‌های تولید شده به روش درجا، پایداری ترموشیمیایی بالایی دارند [۱۹]. اختلاط مکانیکی الیاف، ذرات، ویسکرها با زمینه‌های مختلف که به صورت متداول و سنتی انجام گرفته است، اکثراً از نظر شیمیایی ناپایدارند. فرآیندهای درجا، سیستم‌های فلزات آهنی یا مواد بين فلزی، ناسازگاری بين زمینه‌ها و تقویت کننده‌ها را با ایجاد فاز دوم توسط جوانه‌زنی و رشد از فاز زمینه مادر با پایداری ترمودینامیکی بالا از بين می‌برند [۲۰]. یکی از مزایای اصلی فرآیندهای درجا این است که انجام واکنش، مشکلات ترشوندگی

⁴ Elongation

³ Interface

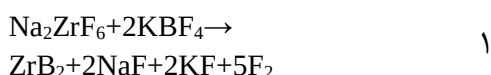
ذرات را حذف می‌کند و در نتیجه فصل مشترکی نسبتاً تمیز و مستحکم ایجاد می‌شود [۱۶].

وجود تقویت کننده‌های ایجاد شده به روش درجا درون یک محیط (سیستم آلیاژی دما بالا) باعث افزایش استحکام شده، در حالی که کسر حجمی نسبتاً پایین ذرات تقویت کننده، چگونگی شکست و ازدیاد طول نسبی را ثابت نگه می‌دارند و همچنین کارایی در دمای بالا افزایش می‌یابد [۱۸]. اکسیدها، کاربیدها، نیتريد‌ها، سیلیکات‌ها و بوراید‌ها برای اجرای نقش فاز تقویت کننده مواد کامپوزیتی مناسب می‌باشند. سرعت تشکیل و سازگاری این ترکیبات با آلیاژهای مختلف زمینه متفاوت است. ذرات تقویت کننده شامل TiB_2 ، B_4C ، ZrB_2 و SiC درون آلیاژهای متداولی به عنوان زمینه مثل Al ، Ni و Cu یا سیستم‌های با زمینه بین فلزی مقاوم به حرارت، کامپوزیت‌های معمول تولید شده به روش درجا هستند [۳-۵].

یکی از فرآیندهای تولید کامپوزیت Al-ZrB_2 فرآیند XD^{TM} شرکت Martin Marietta می‌باشد. در این فرآیند تشکیل ذرات دی بوراید تیتانیوم در زمینه آلومینیوم و آلیاژهای آن به صورت مخلوط پودرهای حاوی بور و تیتانیوم در مذاب آلومینیوم انجام می‌گیرد [۱۵]. فرآیند دیگری برای تولید کامپوزیت‌های زمینه آلومینیومی با ذرات سخت دی بوراید

تیتانیوم به صورت مخلوط نمک‌های K_2ZrF_6 و KBF_4 می‌باشد. در این روش نمک K_2ZrF_6 حاوی زیرکونیوم و KBF_4 حاوی بور است. مهم ترین مزیت این روش ریز بودن ذرات دی بوراید تیتانیوم بوده که اگر پارامترهای سینتیک واکنش رعایت شود ذرات نانومتری با پایداری مطلوب در آلومینیوم تشکیل خواهد شد [۱۲].

از فرآیندهای دیگر برای تشکیل ذرات دی بوراید زیرکونیوم به پوردهای Na_3AlF_6 ، ZrO_2 و KBF_4 می‌توان اشاره کرد. این فرآیند شباهت بسیار نزدیکی با روش K_2TiF_6 و KBF_4 داشته با این تفاوت که از مخلوط پودرهای Na_3AlF_6 و ZrO_2 نمک سدیم Na_2ZrF_6 تشکیل شده که مانند نمک K_2ZrF_6 عمل می‌کند. از واکنش نمک Na_2ZrF_6 با KBF_4 در مذاب آلومینیوم ذرات دی بوراید زیرکونیوم تشکیل می‌شود (واکنش ۱) [۸].



در این پژوهش هدف اصلی، تشکیل ذرات دی بوراید زیرکونیوم با اندازه ذرات نانومتری می‌باشد که با فرآیند درجا با مخلوط پودرهای Na_3AlF_6 ، ZrO_2 ، KBF_4 در آلومینیوم ۵۰۸۳ مورد بررسی قرار گرفت. از جمله عواملی که به صورت درجا بر روی نحوه شکل گیری ذرات دی بوراید زیرکونیوم تاثیر دارد می‌تواند به زمان واکنش، ترکیب شیمیایی مواد اشاره کرد.

۲-روش تحقیق

۱-۲-مواد اولیه مورد استفاده

در این پژوهش از آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳ صنعتی (تولید شده توسط شرکت آلومینیوم ایران)، پودر کریولیت (Na_3AlF_6) صنعتی با ابعاد کمتر از ۸۰ میکرون، پودر اکسید زیرکونیوم (ZrO_2) صنعتی با خلوص ۹۸ درصد و با ابعاد ۶۰ میکرون، نمک پتاسیم تترا فلورو بورات (KBF_4) با خلوص ۹۸ درصد با ابعاد کمتر از ۸۰ میکرون مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-ساخت نانوکامپوزیت

در مرحله ساخت ابتدا پودرهای ZrO_2 ، Na_3AlF_6 و KBF_4 با نسبت ۱:۱:۲ در بال میل با محفظه پلیمری و با سرعت ۸۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. از آنجایی که پودرهای مخلوط شده در اتمسفر محیط نگهداری می‌شوند لذا دارای کمی رطوبت محیطی بوده که با ورود به مذاب سبب ایجاد سرباره و ایجاد حباب‌های گازی و تخلخل در نمونه می‌شود و برای جلوگیری از ایجاد عیوب در نمونه پودرهای مخلوط شده را در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد [۱۳] پیش گرم کرده تا رطوبت از بین برود.

در مرحله ساخت نانوکامپوزیت از کوره مقاومتی برای ذوب نمودن آلومینیوم ۵۰۸۳ و واکنش بین پودرهای مخلوط شده استفاده شد. آلومینیوم

۵۰۸۳ در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد برای اضافه نمودن پودرهای مخلوط شده و واکنش بین آن‌ها و سنتز درجا دی بوراید زیرکونیوم در مذاب آلومینیوم ۵۰۸۳ ذوب گردید. هم‌زن مکانیکی با هدف تلاطم و پخش نمودن پودرها در مذاب برای سنتز درجا دی بوراید زیرکونیوم و توزیع یکنواخت تقویت کننده در زمینه جهت ایجاد خواص مکانیکی مطلوب و ایجاد فصل مشترک و ترشوندگی بین ذرات تقویت کننده با زمینه آلومینیوم ۵۰۸۳ با سرعت ۷۰ دور در دقیقه استفاده شد. در هم‌زن مکانیکی از پره گرافیکی به دلیل مقاومت دمایی بالا گرافیت استفاده شد. پودرهای مخلوط شده ZrO_2 ، Na_3AlF_6 و KBF_4 به صورت تدریجی به مذاب اضافه شد در حالی که هم‌زن مکانیکی در حال ایجاد تلاطم در مذاب بود. پس از اضافه کردن پودرهای مخلوط شده، به مدت ۱۰ دقیقه هم‌زدن ادامه یافت.

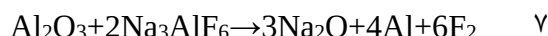
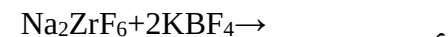
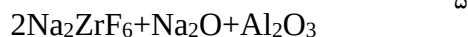
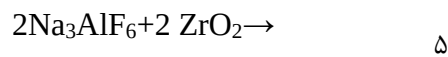
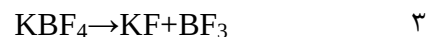
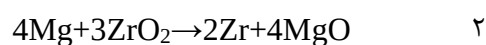
برای جلوگیری از اکسیداسیون آلومینیوم ۵۰۸۳ و ایجاد سرباره و واکنش بین پودرها، هم‌زدن به مدت ۵ دقیقه متوقف شده و مذاب در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. چگالی دی بوراید زیرکونیوم ۶/۰۲ گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی آلومینیوم ۵۰۸۳، ۲/۷ گرم بر سانتی متر مکعب می‌باشد. چگالی دی بوراید زیرکونیوم سنگین‌تر از آلومینیوم ۵۰۸۳ بوده که سبب رسوب در زمینه می‌شود و برای جلوگیری از

عیوب ریختگی از قبیل آگلومره شدن ذرات تقویت کننده و عدم توزیع یکنواخت ذرات تقویت کننده دی بوراید زیرکونیوم همزدن ثانویه به مدت ۱۰ دقیقه به فرآیند ساخت نانوکامپوزیت اضافه گردید. جدول ۱ نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱: نمونه‌های ساخته شده

نام نمونه	نمونه
S ₁	Al5083
S ₂	Al5083-5%ZrB ₂
S ₃	Al5083-10% ZrB ₂

در طی فرآیند ساخت نانوکامپوزیت Al5083- ZrB₂ واکنش‌های زیر بین پودرهای مخلوط شده و مذاب رخ می‌دهد [۷].



پس از آماده شدن مذاب، سرباره تولید شده از روی مذاب گرفته شده و مذاب تهیه شده به صورت شمش درون قالب ریخته شد.

نمونه‌های ریختگی، به طول تقریبی ۴۵ میلی-متر بریده شد و تحت عملیات اکستروژن گرم، در

یک قالب اکستروژن با نسبت ۱:۹ از فولاد ابزار گرم کار w360 ساخته شده توسط شرکت بوهرلر با دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفت که با اعمال فشار ۷۰۰ بار، طول نمونه به حدود ۲۷۰ میلی متر رسید. به منظور جلوگیری از اصطکاک بین قالب و نمونه کامپوزیتی، از روانساز مولیکوت (خریداری شده از شرکت داو کورنینگ-مولیکوت کشور آلمان) استفاده شد. نمونه‌های اکستروژن شده با استاندارد ASTM E8M تحت آزمون کشش قرار گرفت. در ادامه نمونه‌ها تحت بررسی‌های ریزساختاری توسط میکروسکوپ نوری^۵، میکروسکوپ الکترونی روبشی^۶، میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی^۷، آنالیز پراش اشعه ایکس^۸، تست چگالی استفاده شد.

۱- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی پراش اشعه ایکس^۹

در این پژوهش، به منظور شناسایی فاز تقویت کننده، از دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD) ساخت شرکت فیلیپس مدل D6792 کشور هلند استفاده شد. نمونه‌ها در مرحله آماده سازی نمونه، برای تشخیص فازهای تشکیل شده در حین فرایند درجا، در هیدروکلریک اسید^{۱۰} قرار داده شدند تا پس از حذف Al5083 فازهای تشکیل شده آنالیز

^۹ XRD

^{۱۰} Hydrochloric Acid(HCl)

^۵ OM

^۶ SEM

^۷ FE-SEM

^۸ XRD

فرآیند اکستروژن گرم بر روی نمونه‌ها باعث کاهش تخلخل شده و خوشه‌های تقویت‌کننده از بین می‌روند و توزیع یکنواختی از ذرات در زمینه صورت می‌گیرد (شکل ۲ و ۳).



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه ریخته‌گری شده Al5083-5wt% ZrB₂

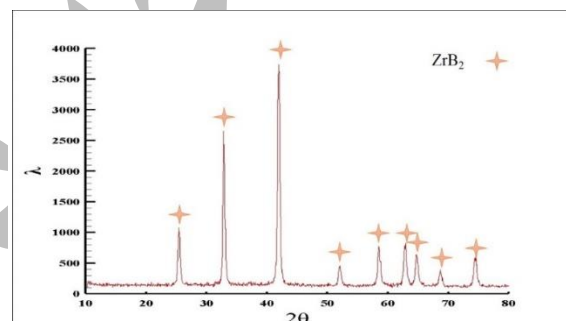


شکل ۳: تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه اکستروژن شده Al5083-5wt% ZrB₂

۳-۳- بررسی نتایج تخلخل و چگالی

شکل ۴ تخلخل نمونه‌های ریخته‌گری و اکستروژن شده را نشان می‌دهد. روش محاسبه

شوند. در بررسی نمودارهای پراش اشعه ایکس که در شکل ۱ آورده شده اند، ملاحظه می‌شود که با بهینه سازی فاکتورهای دما و درصد وزنی فاز تقویت کننده نانو ذرات دی بوراید زیرکونیوم که نقش اساسی را در این پروژه ایفا می‌کنند، به راحتی پیک‌های مربوطه آشکار شده و می‌توان از وجود تقویت کننده دی بوراید زیرکونیوم اطمینان حاصل نمود.



شکل ۱: الگوی پراش اشعه ایکس ذرات دی بوراید زیرکونیوم.

۲-۳- بررسی تصاویر میکروسکوپ

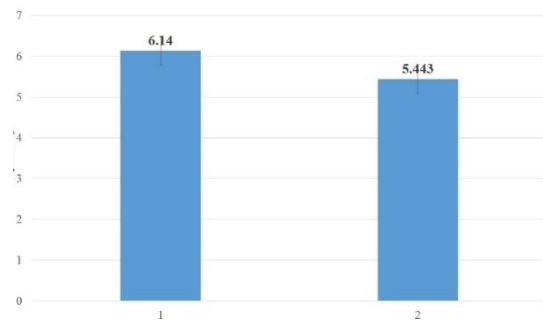
نوری^{۱۱}

نمونه‌ها پس از متالوگرافی و پولیش با آلومینای میکرونی با محلول کلر^{۱۲} (۲/۵HNO₃، ۱/۵HCl، ۱HF و ۹۵H₂O) اچ شدند و توسط میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفتند. توزیع ذرات تقویت کننده و تغییر ساختار انجمادی، عیوب و تخلخل‌ها در زمینه آلومینیومی مشاهده شده و چون بین ریز ساختار و خواص مکانیکی رابطه مستقیمی وجود دارد، این نتایج با نتایج بدست آمده از آزمون‌های خواص مکانیکی مقایسه شد.

¹² Keller

¹¹ OM

تخلخل و دانسیته تئوری در روابط ۷ و ۹ آمده است. بدین ترتیب مقادیر تخلخل نمونه‌ها محاسبه شده و در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۴: تخلخل نمونه ریخته‌گری و اکستروژن شده

جهت اندازه‌گیری میزان تخلخل در نمونه‌های ریخته‌گری شده و همچنین اثر افزوده شدن ذرات تقویت‌کننده بر دانسیته‌ی نمونه، پس از محاسبه‌ی دانسیته تئوری هر نمونه، از دو روش سنجش دانسیته‌ی تئوری و دانسیته‌ی ارشمیدسی استفاده شد و شرح روش‌ها در ذیل آورده شده است. از مقایسه دانسیته‌ی تئوری و دانسیته‌ی ارشمیدسی نمونه‌ها میزان تخلخل دانسیته‌ی نسبی نمونه‌ها محاسبه می‌شود.

دانسیته تئوری نمونه‌ها را می‌توان با مشخص بودن دانسیته زمینه و دانسیته تقویت‌کننده از طریق رابطه ۸ محاسبه نمود.

$$d_{th} = X_{reinf} \cdot d_{reinf} + X_M \cdot d_M \quad 8$$

در رابطه فوق d دانسیته زمینه و تقویت‌کننده و X کسر حجمی زمینه و تقویت‌کننده می‌باشد.

با توجه به رابطه ۹ درصد تخلخل موجود در حالت ریخته‌گری و اکستروژن شده محاسبه گردید.

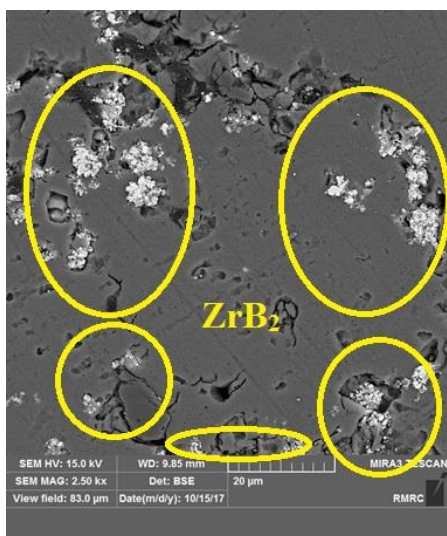
$$\%Prosiy = (d_{th} - d_a) / d_{th} \times 100 \quad 9$$

شکل ۸ چگالی نمونه ریخته‌گری و اکستروژن شده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸ مشخص می‌شود که با افزودن پنج درصد دی بوراید زیرکونیوم به زمینه، چگالی افزایش می‌یابد. دلیل کاهش چگالی را می‌توان این طور توضیح داد که با افزایش ذرات تقویت‌کننده، سیالیت مذاب کاهش پیدا کرده و این کاهش سیالیت باعث افزایش حجم گازهای محبوس شده در مذاب گردیده و باعث سخت شدن شرایط فرار گازها از داخل مذاب می‌گردد، در نتیجه چگالی کاهش می‌یابد [۱۳].

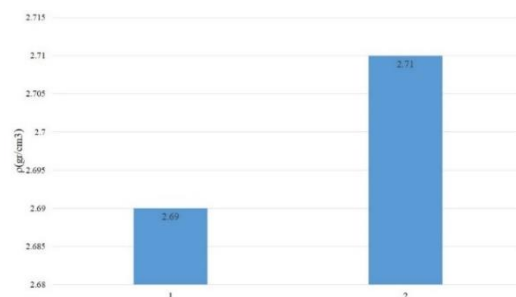
قانون مخلوط‌ها در مورد چگالی، به صورت کلی طبق رابطه ۱۰ بیان می‌گردد.

$$\rho_T = \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{TiB_2} \cdot V_{TiB_2} \quad 10$$

در رابطه ۱۰، ρ_{Al} ، ρ_{TiB_2} و ρ_T به ترتیب چگالی آلومینیوم ۵۰۸۳، دی بوراید زیرکونیوم و مخلوط می‌باشد. V_{Al} و V_{TiB_2} به ترتیب، درصد حجمی یا کسر حجمی دی بوراید زیرکونیوم و آلومینیوم ۵۰۸۳ است.



شکل ۶: تشکیل ذرات دی بوراید زیرکونیوم در زمینه.

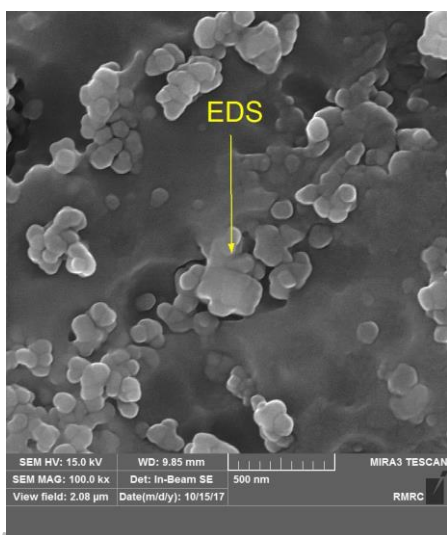


شکل ۵: چگالی نمونه‌های ریخته‌گری و اکستروژن شده

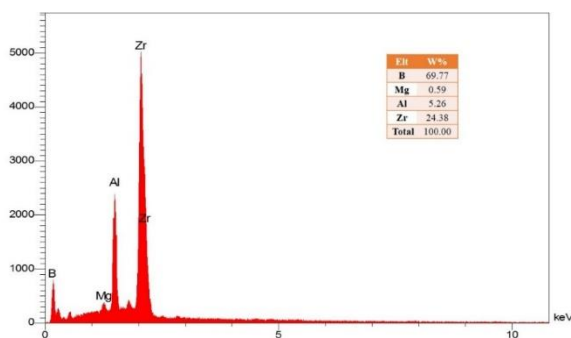
۳-۴- بررسی EDS ذرات تقویت‌کننده

دی بوراید تیتانیوم

شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی از تشکیل ذرات دی بوراید زیرکونیوم در زمینه آلومینیوم ۵۰۸۳ و شکل ۷ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی آنالیز نقطه‌ای از ذرات دی بوراید زیرکونیوم و شکل ۸ آنالیز EDS از ذرات تقویت‌کننده دی بوراید زیرکونیوم را نشان می‌دهد. همانطور که از نتایج EDS مشاهده می‌شود عناصر تیتانیوم و بور نشان دهنده تشکیل ذرات تقویت‌کننده دی بوراید تیتانیوم به صورت درجا در زمینه آلومینیوم ۵۰۸۳ می‌باشد.



شکل ۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی آنالیز نقطه‌ای.

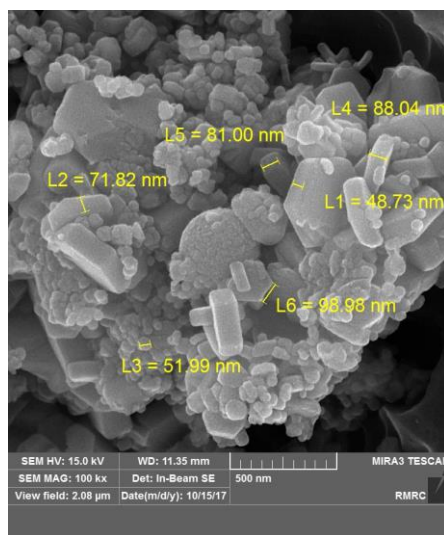


شکل ۸: آنالیز EDS

۳-۵- بررسی ریزساختار ذرات تقویت

کننده دی بوراید زیرکونیوم

شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی از اندازه ذرات نانو سایز تقویت کننده دی بوراید زیرکونیوم را نشان می‌دهد. شکل گیری ذرات تقویت کننده به صورت درجا در مذاب آلومینیوم وابسته به زمان شکل‌گیری است. زمان فرآیند ریخته‌گری در سه مرحله بوده که در ابتدا همزدن اولیه به مدت ۱۰ دقیقه انجام شده سپس برای انجام واکنش بین پودرها همزدن به مدت ۵ دقیقه متوقف شده و سپس برای جلوگیری از آگلومره شدن ذرات دی بوراید زیرکونیوم همزدن ثانویه به مدت ۱۰ دقیقه انجام شد.



شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی اندازه نانوذرات دی بوراید زیرکونیوم.

۳-۶- بررسی نتایج خواص مکانیکی

افزایش استحکام در کامپوزیت‌های زمینه فلزی اساساً به عوامل گوناگونی از جمله نحوه توزیع ذرات تقویت‌کننده، افزایش چگالی نابجایی‌ها به دلیل عدم تطابق مدول ینگ و ضرایب انبساط حرارتی ذرات تقویت‌کننده و زمینه، ریزدانه شدن ساختار و مکانیزم‌های استحکام‌دهی هال-پچ و اوران بستگی دارد [۹ و ۱۰ و ۱۵].

افزایش کار سختی را می‌توان به تأثیر خواص الاستیک ذرات دی بوراید زیرکونیوم و ممانعت از تغییر شکل پلاستیک زمینه نسبت داد. چرا که ذرات تقویت‌کننده دی بوراید زیرکونیوم فقط قابلیت تغییر شکل الاستیک را دارا هستند. در حالی که زمینه می‌تواند تغییر شکل پلاستیک دهد. لذا با فرض یک فصل مشترک مستحکم، ذرات دی بوراید زیرکونیوم در مقابل تغییر شکل پلاستیک زمینه ممانعت کرده و باعث افزایش کار سختی می‌شوند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که دلایل اصلی بهبود خواص مکانیکی پس از اکستروژن شامل موارد زیر است [۱۷-۱۸].

۱. بهبود توزیع تقویت‌کننده (یکنواخت شدن

ساختار) به دلیل ایجاد تغییر شکل شدید

پلاستیک در حین فرآیند اکستروژن

۲. افزایش استحکام (بهیود) فصل مشترک

زمینه - تقویت کننده

۳. کاهش تخلخل ها و حفرات شکل ۱۰ نمودار

تنش- کرنش نمونه آلومینیوم ۵۰۸۳ به عنوان

نمونه شاهد و نانوکامپوزیت Al5083-10wt%

ZrB₂ بعد از عملیات تکمیلی اکستروژن گرم را

نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود

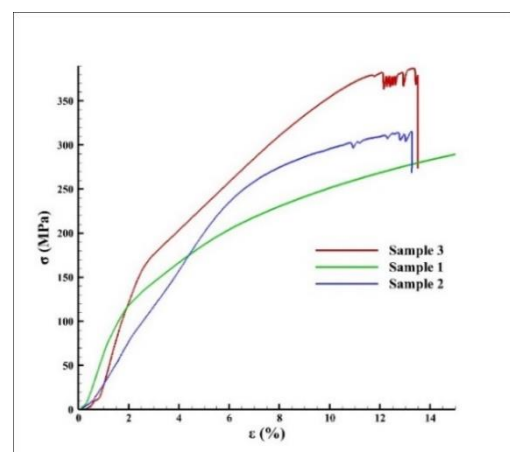
استحکام و درصد ازدیاد طول

نانوکامپوزیت Al5083-10wt% ZrB₂ نسبت به

آلیاژ آلومینیوم ۵۰۸۳ افزایش یافته است.

جدول ۲: استحکام تسلیم نهایی

نام نمونه	استحکام کششی نهایی	نمونه
S ₁	270 MPa	Al5083
S ₂	300 MPa	Al5083-5%ZrB ₂
S ₃	360 MPa	Al5083-10% ZrB ₂



شکل ۱۰: نمودار تنش-کرنش

۴. نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، تاثیر ۵ و ۱۰ درصد وزنی ذرات ZrB₂ و ریزساختار و خواص کششی نانوکامپوزیت زمینه Al5083 مطالعه شد. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیر است:

۱. با افزایش ذرات تقویت کننده دی بوراید زیرکونیم در زمینه استحکام تا ۳۶۰ مگاپاسکال افزایش و درصد ازدیاد طول ۱۹ درصد کاهش یافت.

۲. عملیات تکمیلی اکستروژن گرم سبب کاهش عیوب ریخته گری مثل تخلخل ها شده و با کاهش تخلخل ها چگالی افزایش یافت.

۴. زمان شکل گیری برای تشکیل نانو ذرات تقویت کننده دی بوراید تیتانیوم به صورت درجا در آلومینیوم ۵۰۸۳ در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد به صورت ۱۰ دقیقه همزدن اولیه و ۵ دقیقه نگهداری و ۱۰ دقیقه همزدن ثانویه است.

۵. همزدن ثانویه سبب توزیع یکنواخت ذرات تقویت کننده دی بوراید تیتانیوم در زمینه شده است و این امر سبب افزایش استحکام شده است.

USA.

https://www.qatm.com/products?utm_term=metallography&utm_campaign

- [7]. M.A.Golozar, M.F.N.a., pilot In-situ production of Al-TiB₂ and Al-ZrB₂ Composites Using Reactive Slag. journal of Esteghlal 2004. 23: p. PP179-188.

URL: <http://jcme.iut.ac.ir/article-1-309-en.html>

- [8]. Y Chen, DDL Chung, In situ Al-TiB Composite obtained by stir casting, Journal of materials science, 1996, p.311-315
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01139145>

- [9]. Sajjadi, S. A, Ezatpour, H.R., Torabi Parizi, M., *Comparsion of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/Al₂O₃ composites fabricated by stir and compo-casting process*, Materials and Design 34, pp106-111, 2012
DOI: [10.1016/j.matdes.2011.07.037](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.07.037)

- [10]. Ezatpour, H. R, Beygi, H., Sajjadi, S.A., Torabi parizi, M., Microstructure and Mechanical properties of Al-Al₂O₃ micro and nano composite fabricated by a novel stir casting rout, 2th Conferences on Application of nanotechnology in Science, Engineering and Medicine, Mashhad-Iran, May2011.
[10.1016/j.msea.2011.08.052](https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.08.052) DOI:

- [11]. Alizadeh, A., Taheri-Nassaj, E., Mechanical properties and wear behavior of Al-2wt.%Cu alloy composites reinforced by B₄C and fabricated by mechanical milling and hot extrusion, Material

۵. مراجع

- [1] P.D.Khatibi, M.Saeidi, A.Latifi & "Nanostructure & Nanocomposites" Danesh poyan javan, 2006, pp139-154.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-67519-5>
- [2]. Chawla, N. and K. Chawla, Microstructure-based modeling of the deformation behavior of particle reinforced metal matrix composites. Journal of Materials Science, 2006. 41(3): p. 913-925.
[DOI:10.1007/s10853-006-6572-1](https://doi.org/10.1007/s10853-006-6572-1)
- [3]. Skibo, D.M., Schuster, D. M., Jolla, L.,: Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal Matrix Composite, 1988 US Patent No. 4 .pp.786- 467.
<https://www.thoughtstopaper.com/patent-applications/provisional-patent-application.php>
- [4]. Kim, S., C.G. Lee, and S.-J. Kim, Fatigue crack propagation behavior of friction stir welded 5083-H32 and 6061-T651 aluminum alloys. Materials Science and Engineering: A, 2008. 478(1): p. 56-64.
[DOI:10.1016/j.msea.2007.06.008](https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.06.008)
- [5]. Raghunath, C., M. Bhat, and P. Rohatgi, In situ technique for synthesizing Fe-TiC composites. Scripta metallurgica et materialia, 1995. 32(4): p. 577-582.
[https://doi.org/10.1016/0956-716X\(95\)90840-G](https://doi.org/10.1016/0956-716X(95)90840-G)
- [6]. German, R.M., Powder metallurgy and particulate materials processing: the processes, materials, products, properties, and applications. 2005: Metal powder industries federation Princeton, NJ,

<https://profile.acecr.ac.ir/mirhosseini/>

Characterization 67, pp119-128, 2001.
DOI: [10.1016/j.matchar.2012.02.006](https://doi.org/10.1016/j.matchar.2012.02.006)

[16]. چاولا، ن.، چاولا، ک.، کامپوزیت های زمینه فلزی، جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان، چاپ اول، ۱۳۸۷
<https://www.gisoom.com/book/1506017>

[17]. عبدالهی، ع.، بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت $Al_{2024}-B_4C$ تولید شده به روش آلیاژ سازی مکانیکی و اکستروژن داغ، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۱
<https://civilica.com/doc/1908806>

[18]. Mark C. Carroll, IMPROVEMENTS TO THE STRENGTH AND CORROSION RESISTANCE OF AI-Mg-Mn ALLOYS OF NEAR-AA5083 CHEMISTRY, The Ohio State University, 2001.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2001PhDT.....190C/abstract>

[19]. Xing Qingchang, Zhao Jing, Pan Haicheng, Hou Lina and Li Rongde, Effect of scandium and zirconium combination alloying on as-cast microstructure and mechanical properties of Al-4Cu-1.5Mg alloy, School of Materials science and Engineering, Shenyang University of Technology, shenyang110870, Liaoning province, china .

[12]. S. SCHAMM, R. FEDOU, J.P. ROCHER, J.M. QUENISSET, and R. NASLAIN, The K_2ZrF_6 Wetting Process: Effect of Surface Chemistry on the Ability of a SiC-Fiber Preform to be Impregnated by Aluminum, Metallurgical and Materials Transactions A, 22(9):2133-2139 · September 1991
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02669881>

[13]. نوروزی، ع. ر.، بررسی ریز ساختار و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت $Al-TiB_2$ از روش ریخته گری گردابی جهت مصارف هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۸
<https://civilica.com/doc/1196851>

[14]. امامی، م.، طاهبازفر، ه.، مکانیزم تشکیل ذرات TiB_2 در کامپوزیت زمینه فلزی $Al-TiB_2$ به روش آلیاژ-آلیاژ، نشریه دانشکده فنی تهران، جلد ۳۶، شهریور ۱۳۸۱، صفحه ۲۲۳-۲۳۰
https://journals.ut.ac.ir/article_10125.html?lang=en

[15]. میر حسینی، ح. اسدی، و.ا. ساخت و بررسی عملیات حرارتی کامپوزیت ریختگی $Al_{356}-Al_2O_3$ ، پنجمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، آبان ۱۳۸۰

microstructure and corrosion
resistance of die cast
AZ91 magnesium alloy,
Materials and Corrosion 2007,
58, No. 3.

DOI:10.1002/maco.200603988

[https://www.researchgate.net/p
ublication/286596240](https://www.researchgate.net/publication/286596240)

[20]. Y.L. Song, Y.H. Liu*, S.H. Wang,
S.R. Yu, and X.Y. Zhu, Effect of
cerium addition on

Investigation of the microstructure and mechanical properties of Al5083-ZrB₂ nanocomposite fabricated by stir casting

M.Motamedi yegane A.Alizadeh

Abstract

This study, the effect of adding zirconium diboride (ZrB₂) nanoparticles on the microstructure and tensile properties of Al5083 aluminum matrix composite was studied. Al5083-5wt% ZrB₂ and Al5083-10wt% ZrB₂ nanocomposites were produced by situ-stir casting at 1000°C using in-situ synthesis. Then, the samples were subjected to hot extrusion for uniform distribution of the reinforcements in the matrix. The ZrB₂ nanoparticles used in this study were processed in situ using cryolite (Na₃AlF₆), zirconium oxide (ZrO₂) and potassium tetrafluoroborate (KBF₄) in molten aluminum. X-ray diffraction (XRD), optical microscopy (OM) and field emission scanning electron microscopy (FE-SEM) were used to investigate the microstructure, surfaces and fracture mechanism of the samples, and tensile testing was used to evaluate the mechanical properties. The tensile test results showed that the addition of 10% by weight of ZrB₂ particles, compared to the sample without reinforcement, increased the ultimate tensile strength by 18.2% and reduced the strain by 19.5%. Also, the additional extrusion process reduced the porosity resulting in increased density.

Keyword: In situ synthesis, Aluminum 5083, stir casting, Zirconium diboride nanoparticle

واژه نامه:

نانو کامپوزیت
Nanocomposite

سنتز در جا
in-situ synthesis

اکستروژن
Extrusion

آنالیز پراش اشعه ایکس
X-ray diffraction analysis

میکروسکوپ نوری
Optical microscope

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی
Field emission scanning electron microscope

استحکام کششی نهایی
Ultimate tensile strength

کرنش
Strain

تخلخل
Porosity

چگالی
Density

غیر هموژن
Non-homogeneous

چقرمگی
Toughness

ریخته گری گردابی
stir casting

انرژی سطحی

Surface energy

ترمودینامیک

Thermodynamic

اکسید

Oxide

کاربید

Carbide

نیتريد

Nitride

سیلیکات

Silicate

بوراید

Boride

آلیاژ

Alloys

هیدروکلریک اسید

Hydrochloric acid

متالوگرافی

Metallography

پولیش

Polishing

متالوگرافی

Metallography