

بررسی اثر افزودن همزمان کاربید سیلیسیم (SiC) در دو مقیاس نانو و میکرون بر ریزساختار، خواص مکانیکی و رفتار زینتر بدون فشار کامپوزیت های فوق دما بالای بر پایه دیبورید زیر کونیوم (ZrB_2)

زینب نصیری^۱، مهري مشهدی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی مواد، مجتمع مواد و فناوری های ساخت دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

۲- استادیار، عضو هیئت علمی مجتمع مواد و فناوری های ساخت دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

*عهده دار مکاتبات: me_mashadi@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱)

چکیده: در این تحقیق، نانو کامپوزیت ZrB_2 -SiC به روش زینتر بدون فشار تولید گردید که در ترکیب اولیه کامپوزیت از ۲۰ درصد حجمی SiC نانو استفاده شد. به منظور ساخت نمونه‌ها، پودر ZrB_2 و پودرهای SiC نانو و میکرون در درصدهای حجمی مختلف در آسیاب سیاره ای آسیاب شده و مخلوط پودری گرانوله شده پس از پرس گرم اولیه در دمای $800^\circ C$ و فشار $100 MPa$ تحت فرآیند پرس ایزواستاتیک سرد (CIP) قرار گرفت. در نهایت عملیات زینتر در دمای $2150^\circ C$ درجه سانتیگراد انجام شد. برای مقایسه ریزساختار و خواص مکانیکی نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف‌سنج EDS، آنالیز XRD، آزمون سختی و تافنس شکست استفاده شد. دانسیته نسبی نمونه‌ها نیز به روش ارشمیدس محاسبه گردید. نتایج حاصل شده از تمامی نمونه‌ها در ترکیبات مختلف نشان می‌دهند که با تغییر درصد حجمی SiC نانو از ۲۰ درصد حجمی به ۱۵ درصد و ۵ درصد میکرون، افزایش در دانسیته تا $95/1$ درصد رخ می‌دهد. با بررسی ریز ساختاری و اندازه گیری خواص مکانیکی نمونه‌ها بیشترین سختی و تافنس شکست نیز، در ترکیب دارای به ترتیب ۱۵ و ۵ درصد حجمی SiC نانو و میکرون و با مقادیر $15/9 GPa$ و $4/9 Mpa.m^{1/2}$ مشاهده شد.

واژه های کلیدی:

نانو کامپوزیت ZrB_2 -SiC، نانو ذرات SiC، کامپوزیت های فوق دما بالا، زینتر بدون فشار.

۱- مقدمه

ویژه ZrB_2 و HfB_2 در کاربردهایی که تحت تنش‌های حرارتی هستند، بسیار مناسب باشند [۲]. یکی از ساده‌ترین روش‌ها در تولید کامپوزیت‌های بر پایه ZrB_2 ، روش زینتر بدون فشار است. به این صورت که پس از آماده‌سازی مواد اولیه، مرحله شکل‌دهی در یک پرس تک‌محوره صورت گرفته و قطعه بلافاصله وارد دستگاه پرس ایزواستاتیک سرد (CIP) می‌شود. این مرحله به منظور افزایش استحکام خام انجام

در صنایع هوا فضا دو سرامیک ZrB_2 و HfB_2 را به عنوان سرامیک‌های فوق دمای بالا می‌شناسند. این دو بورید دارای نقطه ذوب بالایی هستند (بیش از $3200^\circ C$ درجه سانتی‌گراد) [۱] و همچنین هدایت حرارتی و الکتریکی بالا، سختی بالا ($22-24 GPa$)، استحکام خوب و پایداری شیمیایی در دماهای بالا دارند. ویژگی‌های گفته شده برای دی‌بوریدها به ویژه هدایت حرارتی بسیار بالای آن‌ها موجب شده است که استفاده از دی‌بوریدها (به

می‌گیرد. پس از مرحله مستحکم‌سازی نوبت به فرآیند زینتر می‌رسد. این فرآیند در دمای $2000-2200^{\circ}\text{C}$ انجام می‌شود. به منظور تسهیل در فرآیند ساخت و در نتیجه بهبود خواص، در این روش از کمک‌زینتر استفاده می‌کنند. این کمک‌زینترها یا آن‌هایی هستند که تولید فاز مایع می‌کنند و یا آن‌هایی هستند که با حذف ناخالصی‌های اکسیدی فرآیند را بهبود می‌بخشند [۳].

۲- مواد و روش انجام تحقیق

از میان افزودنی‌های مورد استفاده در ساخت کامپوزیت‌های بر پایه SiC ، ZrB_2 به دلیل خواص ویژه ای که دارد مورد توجه بیشتری در صنایع به خصوص صنعت هوافضا قرار گرفته است [۴]. کامپوزیت $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$ ، در پوشش‌های مقاوم در دماهای بالا و مقاوم در برابر خوردگی و اکسیداسیون، بوته‌های ذوب فلزات، الکترودهای دما بالا و پوشش‌های محافظ برای فولادها، یاتاقان‌های سرامیکی، قطعات الکترونیکی، ابزارهای برش، حفاظت حرارتی تجهیزات فراصوتی، المان‌های کوره، الکترودهای قوس پلاسما، اجزای موتور برای پروازهای مافوق صوت، محافظ حرارتی برای وسایل نقلیه فضایی، پیش‌رانه موشک، به کار برده می‌شوند [۴-۵].

ثابت شده است که حضور فازهای ثانویه نانومتری در زمینه سرامیکی باعث افزایش چشمگیر در خواص کامپوزیت می‌شود. زیرا افزایش سطح در نانوپودرها منجر به افزایش نیروی محرکه برای انجام فرآیند زینتر می‌شود [۶]. البته این در صورتی است که توزیع ذرات نانومتری بطور یکنواخت صورت گرفته و تا حد ممکن از آگلومره شدن آن‌ها جلوگیری شود. در چند سال اخیر گزارش‌هایی مبنی بر استفاده همزمان از ذرات تقویت‌کننده نانومتری و میکرومتری در پوشش‌های سرامیکی ارائه شده است. نتایج این گزارش‌ها نشان می‌دهد که استفاده همزمان از یک تقویت‌کننده در دو اندازه مختلف می‌تواند خواص مکانیکی را بهبود بخشد. اما تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر حضور همزمان ذرات SiC نانو و میکرون در کامپوزیت‌های بر پایه ZrB_2 ارائه نشده است. بر همین اساس در این تحقیق، به منظور دستیابی به توزیع یکنواخت ذرات SiC نانو و شکسته شدن آگلومره‌ها،

پودر SiC نانو به همراه SiC میکرون به عنوان فاز تقویت‌کننده در کامپوزیت بر پایه ZrB_2 مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق، از روش زینتر بدون فشار برای تولید کامپوزیت $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$ استفاده شد. پودر ZrB_2 با متوسط اندازه ذرات ۱۰ میکرون به عنوان زمینه کامپوزیت مورد استفاده قرار گرفت. از پودرهای SiC نانو (با متوسط اندازه ذرات ۴۰ نانومتر) و SiC میکرون (با متوسط اندازه ذرات ۱۰ میکرون) نیز به عنوان فاز تقویت‌کننده استفاده شد. تصویر SEM پودرهای مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. قبل از شروع مراحل ساخت نمونه‌ها پودر ZrB_2 در آسیاب سیاره‌ای در محیط ایزوپروپانول با نسبت گلوله به پودر ۲۰:۱ در مدت زمان‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت و با سرعت ۲۰۰ rpm آسیاب شد. بیشترین کاهش اندازه ذره در مدت زمان آسیاب ۲ ساعت رخ داد، در مرحله بعد پودرهای SiC نانو و میکرون به طور همزمان به همراه ایزوپروپانول به پودر ZrB_2 آسیاب شده اضافه گردید. این فرآیند در آسیاب سیاره‌ای در محیط ایزوپروپانول با نسبت گلوله به پودر ۲۰:۱ به مدت ۱ ساعت و با سرعت ۲۰۰ rpm انجام گردید. ایزوپروپانول در واقع نقش پراکنده سازی (dispersant) آلی را داشته و به شکسته شدن آگلومره‌ها کمک می‌کند. این تمهیدات به منظور دستیابی به توزیع یکنواخت تر ذرات SiC نانو و شکسته شدن آگلومره‌ها می‌باشد. در جدول ۱ چگونگی نام گذاری نمونه‌ها و درصد حجمی فاز تقویت‌کننده آورده شده است.

مخلوط پودری گرانول‌شده تحت فشار تک محوره به میزان $80-120\text{Mpa}$ به شکل قرص‌هایی با قطر 10mm و ارتفاع 5mm شکل‌دهی شد. سپس نمونه‌ها جهت افزایش استحکام خام تحت پرس ایزواستاتیک سرد با فشار 2000 bar قرار گرفت. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، عملیات حرارتی آنها در دو مرحله پیرولیز و زینتر انجام شد. فرآیند پیرولیز در یک کوره تحت اتمسفر آرگون با سرعت گرمایش $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ به مدت زمان ۶ ساعت در

جدول (۱): نام و ترکیب نمونه‌های تولید شده در این تحقیق

نام نمونه	درصد حجمی SiC نانو به میکرون
ZS20/0	20nano/0micron
ZS15/5	15nano/5micron
ZS10/10	10nano/10micron
ZS5/15	5nano/15micron

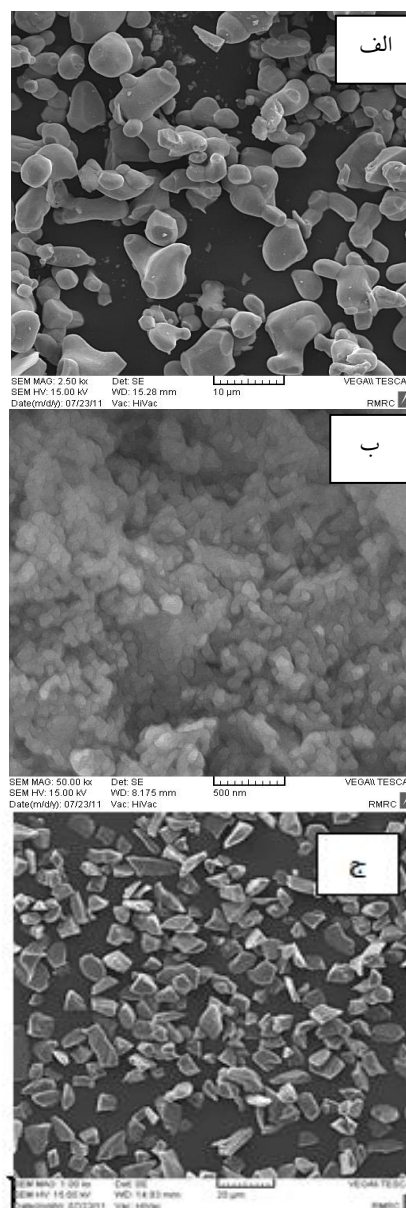
برای مقایسه ریزساختار و خواص مکانیکی نمونه‌ها نیز از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به طیف‌سنج EDS، آنالیز XRD، آزمون سختی و تافنس استفاده شد. به منظور تعیین دانسیته نمونه‌ها پس از فرآیند زینتر، از روش ارشمیدس (استاندارد ASTM C 373-88) استفاده شد. آزمون سختی مطابق با استاندارد ASTM C 1327 با استفاده از دستگاه سختی‌سنج ویکرز صورت گرفت. تافنس شکست (fracture toughness) نیز به روش اندازه‌گیری طول ترک و با استفاده از فرورونده ویکرز محاسبه گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی ریزساختار

در تحقیقات قبلی ثابت شد [۷] که حضور ۲۰ درصد حجمی فاز تقویت کننده نانو SiC در زمینه ZrB₂ باعث افزایش چشمگیر در خواص کامپوزیت می‌شود. در این تحقیق، به منظور دستیابی به توزیع یکنواخت ذرات نانو SiC و شکسته شدن آگلومره‌ها، پودر SiC_{nano} به همراه SiC میکرون در آسیاب سیاره‌ای در محیط ایزوپروپانول آسیاب گردید. تصویر SEM از مخلوط پودر SiC-SiC_{nano} پس از آسیاب (شکل ۲) نشان می‌دهد که نانو ذرات SiC در اطراف ذرات SiC میکرون تجمع کرده و به این ترتیب تا حدود زیادی از آگلومره شدن آن‌ها جلوگیری به عمل آمده است.

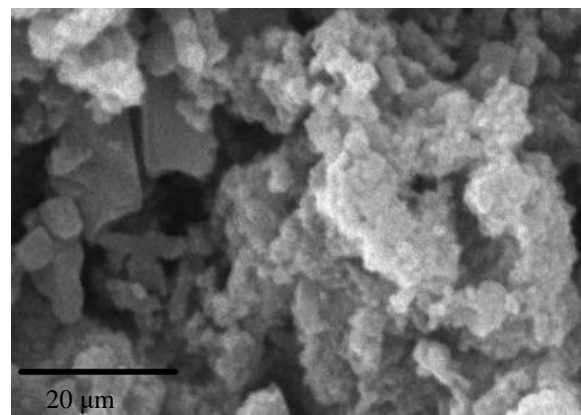
دمای ۱۰۰۰°C انجام می‌شود. فرآیند زینتر بدون فشار در کوره با سرعت گرمایش ۱۰°C/min در دمای ۲۱۵۰°C به مدت زمان ۱ ساعت انجام شد.



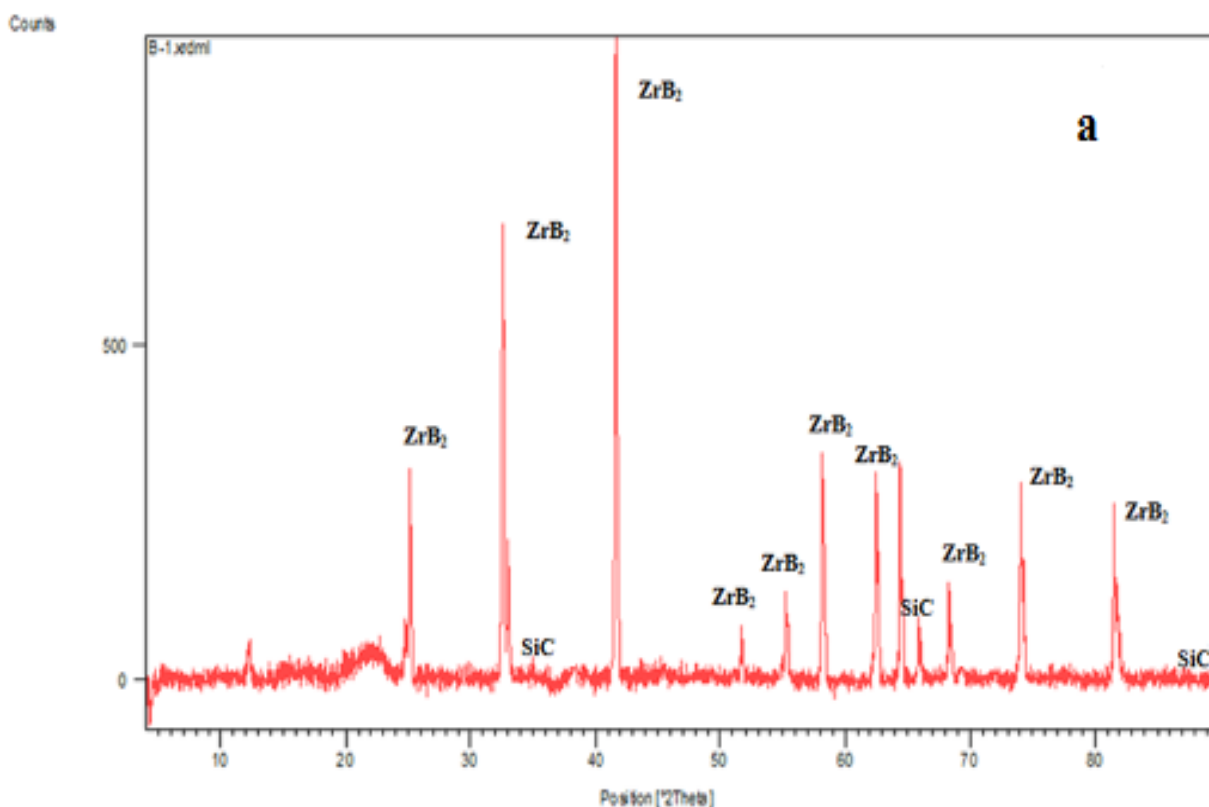
شکل (۱): تصویر SEM مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق: (الف): ZrB₂، (ب): SiC نانو و (ج): SiC میکرون

به منظور بررسی اثر حضور همزمان ذرات SiC نانو و میکرون بر رفتار زینتر بدون فشار نانو کامپوزیت ZrB₂-SiC، مقادیر دانسیته نسبی نمونه‌ها محاسبه گردید.

به عبارت بهتر ذرات SiC میکرون مانع آگلومره شدن بیش از حد نانوذرات شده است. به منظور بررسی و شناسایی فازهای تشکیل شده در حین زینتر از نمونه‌های ZS20 آنالیز XRD گرفته شد (شکل ۳). همانطور که دیده می‌شود، تنها فازهای ZrB₂ و SiC در نمونه وجود دارند. این نتایج نشان می‌دهد که طی فرآیند زینتر تا دمای ۲۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، هیچ گونه واکنشی بین ZrB₂ و SiC رخ نداده است.



شکل (۲): تصویر SEM از مخلوط پودری SiC-SiCnano پس از ۲ ساعت آسیاب



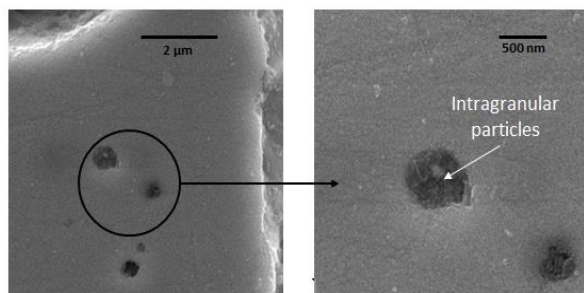
شکل (۳): الگوی پراش پرتو X از نمونه ZS20/0 پس از زینتر در دمای ۲۱۵۰ درجه سانتیگراد

۲- توزیع ذرات SiC نانومتری در امتداد مرزخانه‌های زمینه (ناحیه ۲)

بر اساس تصویر SEM در شکل ۴ پس از انجام فرآیند زینتر، در نمونه‌های حاوی ذرات SiC نانو و میکرون، دو نوع توزیع در نحوه پخش ذرات فاز تقویت‌کننده مشاهده می‌شود:

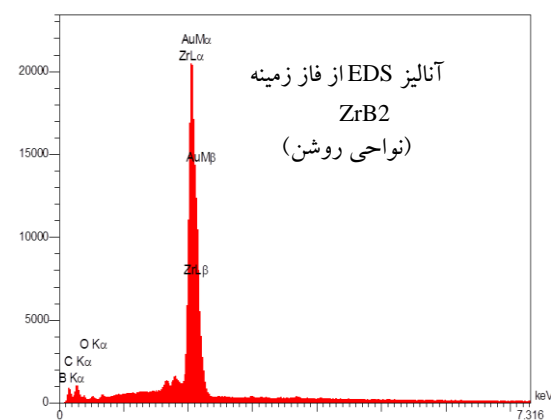
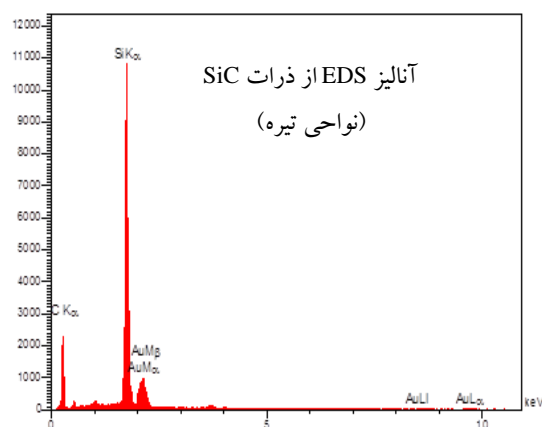
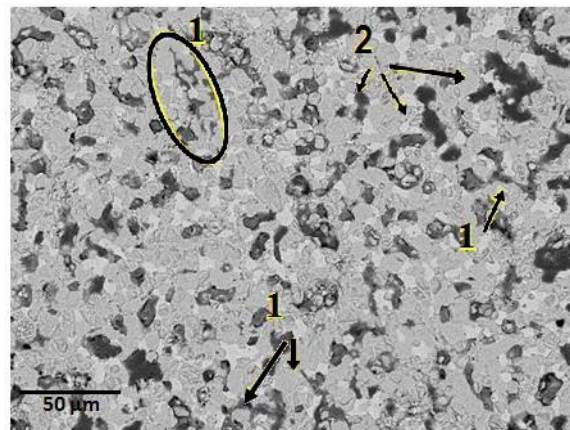
۱- توزیع (قرارگیری) ذرات SiC میکرون در محل تخلخل‌های به وجود آمده در ناحیه تلاقی دانه‌های زمینه (ناحیه ۱)

خواص مکانیکی می‌شوند. علاوه بر دو ناحیه فوق، ذرات SiC نانو ممکن است در حین فرآیند زینتر در نواحی درون دانه‌ای محبوس شوند. این نواحی که به آن‌ها ساختار درون دانه‌ای نیز گفته می‌شود در شکل ۵ نشان داده شده است.



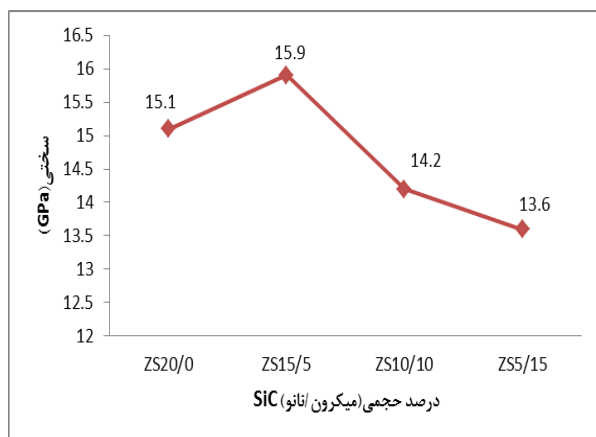
شکل (۵): به دام افتادن نانو ذرات SiC در داخل دانه‌های زمینه (ساختار درون دانه‌ای)

در شکل ۶ نتایج حاصل از محاسبه دانسیته نسبی نمونه های حاوی فاز تقویت کننده SiC نانو و میکرون در دمای زینتر 2150°C آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود بهترین نتیجه در نسبت $\text{SiCnano/SiC} = 15/5$ به دست آمده است. بطوریکه دانسیته نسبی در این حالت (۹۵/۱) حتی از دانسیته نسبی نمونه‌های ZrB_2 -20%vol SiCnano و ZrB_2 -10%vol SiCnano (یعنی ۹۳/۸ و ۹۲/۴) نیز بیشتر است. این نشان می دهد که حضور همزمان ذرات SiC نانو و میکرون در زمینه ZrB_2 در مقایسه با نمونه هایی که فقط دارای ذرات تقویت کننده نانومتری هستند، تأثیر بسیار بیشتری بر بهبود خواص کامپوزیت دارد که این تنها با افزودن ۵ درصد حجمی SiC میکرون به دست آمد. این مسئله با توزیع غیر یکنواخت ذرات SiC نانو توجیه می شود [۸]. در نمونه های نانو با افزایش درصد حجمی SiC نانو، پدیده آگلومراسیون تشدید شده در نتیجه توزیع غیر یکنواخت نانو ذرات در مرز دانه بیشتر می شود، در نتیجه درصد تخلخل ظاهری افزایش می یابد، که وجود ذرات میکرون به دلیل کاهش پدیده آگلومراسیون نانوذرات در این نمونه‌ها باعث بهبود خواص میشوند [۱]. کاهش آگلومره شدن

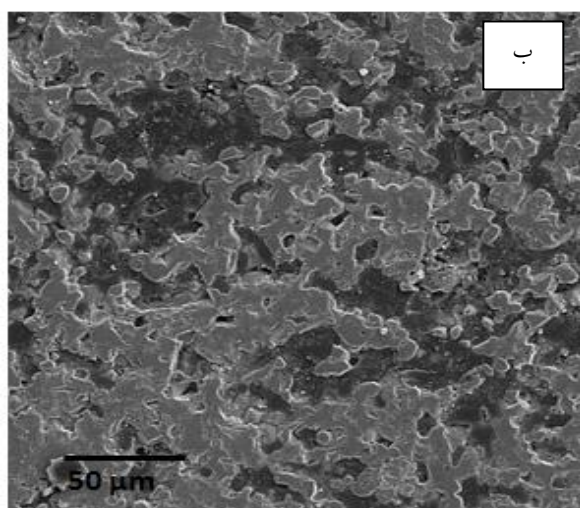
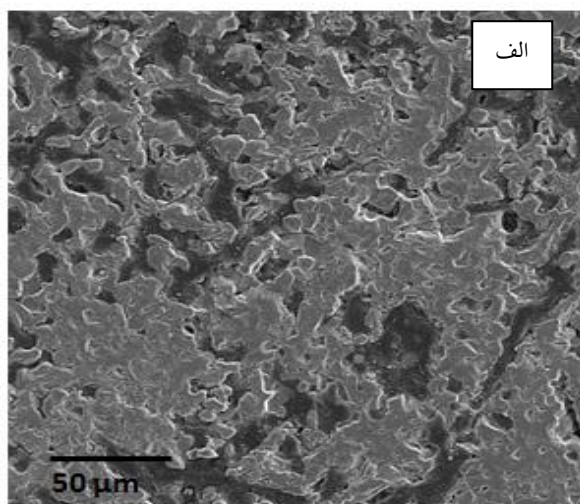


شکل (۴): نحوه توزیع ذرات SiC نانومتری و میکرومتری در نمونه ZrB_2 -15SiCnano-5SiC به همراه آنالیز EDS از فاز زمینه (نواحی روشن) و فاز تقویت کننده (نواحی تیره)

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که ذرات SiC میکرون با پر کردن تخلخل‌ها به بهبود فرآیند چگالش و افزایش دانسیته کمک کرده و ذرات SiC نانو نیز با قرار گرفتن در مرز دانه‌ها از رشد دانه‌ها جلوگیری کرده و به این ترتیب باعث افزایش



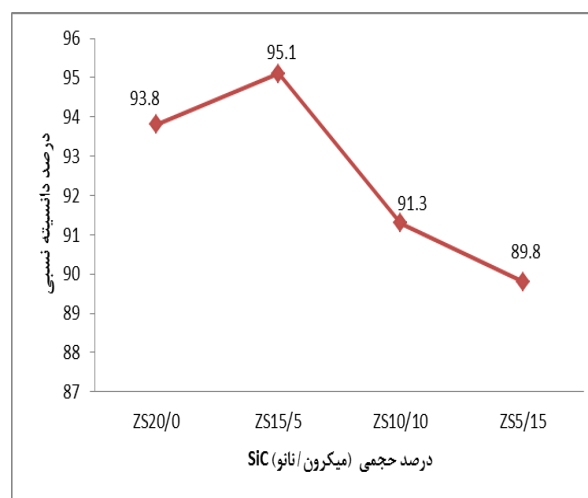
شکل (۷): مقادیر سختی برحسب تغییرات درصد حجمی SiC نانو و میکرون در دمای زینتر ۲۱۵۰ درجه سانتیگراد



شکل (۸): تصویر الکترون‌های ثانویه از توزیع غیریکنواخت ذرات SiC در نمونه‌های: (الف): ZrB₂-15%SiCnano-5%SiC و (ب):

ZrB₂-5%SiCnano-15%SiC

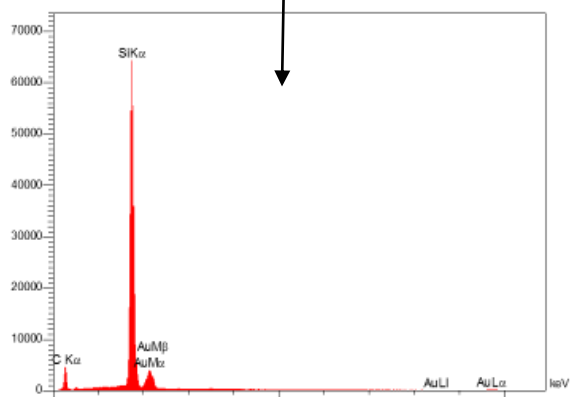
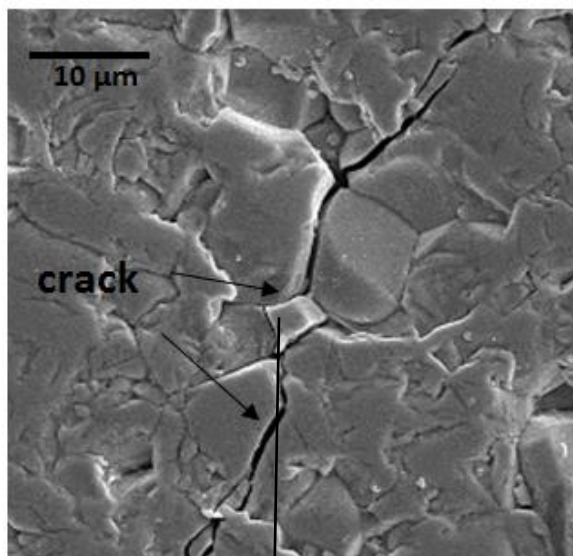
ذرات منجر به بهبود رفتار زینتر بدون فشار و فرآیند چگالش می‌شود.



شکل (۶): مقادیر دانسیته نسبی برحسب تغییرات درصد حجمی SiC نانو و میکرون در دمای زینتر ۲۱۵۰ درجه سانتیگراد

در نمودار رسم شده در شکل ۷، مشاهده می‌شود که میزان سختی در نمونه‌ها با افزایش درصد حجمی SiC نانو و میکرون ابتدا افزایش یافته و سپس با شیب تندی از نمونه ZS15/5 به نمونه ZS5/15 کاهش می‌یابد، که می‌توان آن را به تجمع ذرات در مرز دانه‌ها و غیر یکنواختی توزیع افزودنی SiC میکرون در مقادیر بالا در زمینه نسبت داد، که در تصویر SEM (شکل ۸) آن را می‌توان مشاهده کرد. همانطور که دیده می‌شود تغییرات سختی با افزودن ۵ درصد حجمی SiC میکرون افزایش می‌یابد دلیل این امر کاهش پدیده آگلومراسیون (شکل ۸) و در نتیجه کاهش میزان تخلخل در این نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های فاقد ذرات میکرومتری است که دانسیته نسبی به ۹۵/۱ درصد می‌رسد، با افزایش دانسیته و بهبود چگالش نمونه‌ها، سختی افزایش می‌یابد و به مرز ۱۶ GPa می‌رسد.

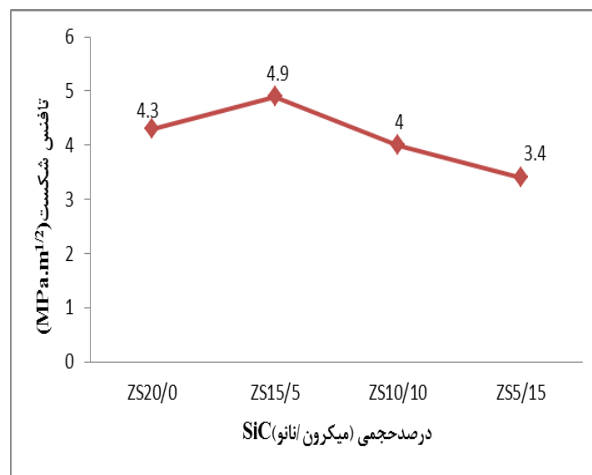
دو حالت ممکن است رخ دهد. اول آنکه ترک ذره را بشکند و دوم آنکه ترک ذره را دور بزند و حلقه‌هایی از ترک را در اطراف ذره بوجود آورد. در حالت اول، ترک باید انرژی بسیار زیادی داشته باشد. در نتیجه شکست‌ها از نوع درون دانه‌ای خواهد بود که این امر منجر به کاهش تافنس می‌شود. در حالت دوم، ترک انرژی کافی برای شکست دانه را ندارد و در نتیجه وارد مرز دانه شده و دانه را دور می‌زند (شکل ۱۱). این امر منجر به افزایش تافنس می‌شود.



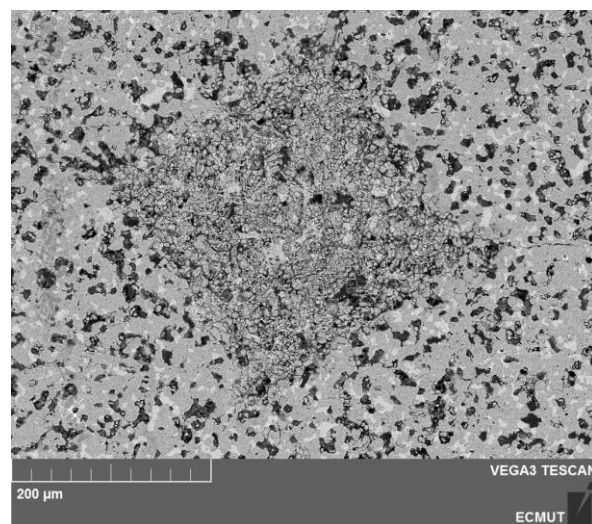
شکل (۱۱): نت تصویر SEM و آنالیز EDS از تأثیر متقابل ترک و ذرات تقویت کننده در نمونه ZrB2-15SiNano-5SiC

گزارش شده است [۸] یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات تافنس شکست نمونه‌ها، تنش‌های باقیمانده ناشی از تفاوت ضرایب

در شکل ۹ نمودار تغییرات تافنس شکست نمونه‌ها بر حسب تغییرات در صد حجمی SiC نانو و میکرون رسم شده است. در شکل ۱۰ نیز اثر فرورونده و یکرز و ترک به وجود آمده در آن نمایش داده شده است. همانطور که دیده می‌شود با افزایش در صد حجمی SiC میکرون، تافنس شکست تا ۵ در صد افزودن SiC میکرون افزایش و سپس سیر نزولی طی می‌کند.



شکل (۹): مقادیر تافنس شکست بر حسب تغییرات درصد حجمی SiC نانو و میکرون در دمای زینتر ۲۱۵۰ درجه سانتیگراد



شکل (۱۰): اثر فرورونده و یکرز در نمونه ZS15/5

رفتار تافنس شکست را می‌توان با استفاده از تاثیرات متقابل ذرات SiC و ترک توجیه کرد. در برخورد ترک با ذرات SiC

اندازه گیری خواص مکانیکی نمونه ها بیشترین سختی و تافنس شکست نیز در ترکیب دارای به ترتیب ۱۵ و ۵ درصد حجمی SiC نانو و میکرون و با مقادیر ۱۵/۹Gpa و $4/9 \text{ Mpa.m}^{1/2}$ مشاهده شد.

۵- مراجع

- [1] S. Q. Guo "Densification of ZrB₂-Based Composites and Their Mechanical and Physical Properties: A Review", Journal of European Ceramic Society., Vol. 29, pp. 995-1011, 2009.
- [2] J. F. Justin & A. Jankowiak, "Ultra High Temperature Ceramics: Densification, Properties and Thermal Stability", Onera journal, Vol. 3, pp. 1-11, 2011.
- [3] J. Han, et al., "Oxidation-resistant ZrB₂-SiC composites at 2200°C", Composites Science and technology, Vol. 68, No. 3, pp. 799-806, 2008.
- [4] M. S. Asl & M. G. Kakroudi, "Fractographical assessment of densification mechanisms in hot pressed ZrB₂-SiC composites", Ceramics International, Vol. 40, No. 9, pp. 15273-15281, 2014.
- [5] H. J. Li, Y. L. Zhang, Q. G. Fu, K. Z. Li, Jian Wei & D. S. Hou, "Oxidation behavior of SiC Nanoparticle-SiC oxidation protective coating for carbon/carbon composites at 1773 K Carbon", Vol. 45, pp. 2692-2716, 2007.
- [6] ن. احمدی، ح. ر. بهاروندی و ن. احسانی، "بررسی تأثیر نانو کاربید بور بر خواص مکانیکی کامپوزیت B₄C-5vol%TiB₂ به روش زینتر بدون فشار"، فصلنامه فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، سال دهم، شماره سوم، صفحه ۱۴۲-۱۳۵، پاییز ۱۳۹۵.
- [7] Z. Nasiri, M. Mashhadi & A. Abdollahi, "Effect of short carbon fiber addition on pressureless densification and mechanical properties of ZrB₂-SiC-Csf nanocomposite", Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 51, pp. 216-223, 2015.
- [8] S. Johnson, M. Gasch & M. Stackpoole, "Assessment of the state of the art of ultra high temperature ceramics", 2009.
- [9] M. Cao, S. Wang & W. Han, "Influence of nanosized SiC particle on the fracture toughness of

انبساط حرارتی SiC و ZrB₂ (به ترتیب $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ و $6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) باشد. این تفاوت در ضرایب انبساط حرارتی (که منجر به ایجاد تنش باقیمانده می شود) بخشی از آن بصورت فشاری و بخشی از آن بصورت کششی است. تنش باقیمانده فشاری باعث استحکام بخشی مرزدانه ها می شود اما تنش باقیمانده کششی دانه های زمینه را تضعیف می کند. در مورد کامپوزیت ZrB₂-5%SiC به دلیل وجود مقدار کافی از نانوذرات در نواحی مرزدانه ای به نظر می رسد میزان تنش فشاری بیشتر باشد. این مسئله باعث افزایش استحکام مرزدانه ها خواهد شد. در این حالت مرزدانه ها به دلیل داشتن استحکام کافی می توانند مانع رشد ترک شده و تافنس را افزایش دهند [۹-۱۰]. در درصد های کمتر SiC نانو (کمتر از ۱۵ درصد حجمی)، به نظر می رسد که تنش کششی بر تنش فشاری غلبه کرده و باعث کاهش استحکام مرزدانه ای می شود. بنابراین ترک به راحتی از طریق مرزدانه رشد کرده و تافنس شکست کاهش می یابد [۱۱-۱۲]. در مقادیر بیش از ۱۵ درصد حجمی نیز اگرچه به دلیل بی نظمی به وجود آمده در مرزدانه (ناشی از پدیده آگلومراسیون) تقریباً تنش باقیمانده وجود ندارد اما همین بی نظمی باعث کاهش پیوندهای مرزدانه ای شده و تافنس شکست را کاهش می دهد [۱۱].

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق تأثیر حضور همزمان ذرات SiC نانو و میکرون بر رفتار زینتر بدون فشار و خواص مکانیکی کامپوزیت ZrB₂-SiC مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهند که با تغییر درصد حجمی SiC نانو از ۲۰ درصد حجمی به ۱۵ درصد و ۵ درصد میکرون، دانسیته نسبی افزایش یافته و به مقدار ۹۵/۱ درصد می رسد. دلیل این مسئله آن است که نانو ذرات SiC در اطراف ذرات SiC میکرون تجمع کرده و تا حدود زیادی از آگلومره شدن آن ها جلوگیری می کند. به عبارت بهتر ذرات SiC میکرون مانع آگلومره شدن بیش از حد نانوذرات شده و با توزیع یکنواخت تر فاز تقویت کننده نانومتری در زمینه، فرآیند چگالش و رفتار زینتر بهبود می یابد. با بررسی ریز ساختار و

ZrB₂-based nanocomposite ceramic”, *Materials Science and Engineering*, Vol. 527A, pp. 2925–2928, 2010.

[10] Z. Nasiri & M. Mashhadi, “Effect of sintering temperature and SiC particles size on the microstructure and mechanical properties of ZrB₂-SiC composites”, 1st international symposium on nano technology, Isfahan, Iran, 2016.

[11] Z. Nasiri & M. Mashhadi, “Microstructure and mechanical behavior of ternary phase ZrB₂-SiC-AlN nanocomposite”, *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, Vol. 78, pp. 186–192, 2016.

[۱۲] ع. علیزاده، ع. ر. عبدالهی و ز. نصیری، "مقایسه ریزساختار و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت Al-B₄C تولید شده به روش های ریخته گری گردابی، متالورژی پودر و آلیاژسازی مکانیکی"، فصلنامه فرآیندهای نوین در مهندسی مواد، دوره هشت، شماره اول، صفحه ۲۹-۲۱، بهار ۱۳۹۳.

Investigation on microstructure, mechanical properties and pressureless sintering behavior of ZrB₂-SiC nano/micron composites

Zeynab Nasiri¹, Mehri Mashhadi^{*2}

1- Ph.D. Student, Faculty of Materials & Manufacturing Processes, Malek-e-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

2- Assistant Prof., Faculty of Materials & Manufacturing Processes, Malek-e-Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

*Corresponding author: me_mashadi@yahoo.com

Abstract

In the present paper, ZrB₂-SiC was developed by pressureless sintering method and SiC powder at nano and micro-sized scale was used as reinforcement phase. In order to produce composite samples, the primary powders were milled and blended in planetary ball mill apparatus with rotational speed of 200rpm and then processed using hot pressing (70°C and 70MPa), cold isostatic press (200MPa), Pyrolysis (1000°C) and sintering (2150°C). The values of relative density and porosity of samples were measured to evaluate the effect of presence of micro-sized SiC and SiC nano particles simultaneously on the pressureless sintering behavior of ZrB₂-SiC. In order to compare the microstructure and mechanical properties of samples Scanning Electron microscopy (SEM), equipped with EDS spectroscopy, XRD analysis, hardness and toughness tests were used. The results show that as the volume percentage of nano SiC decreases to 15 vol.%, the hardness, toughness, relative density and shrinkage initially increase and then decrease.

Keywords: Ultra High Temperature Ceramics, ZrB₂-SiC Nano/Micron Composites Pressureless Sintering, Mechanical Properties.

Journal homepage: ma.iaumajlesi.ac.ir

Please cite this article using:

Zeynab Nasiri, Mehri Mashhadi, Investigation on microstructure, mechanical properties and pressureless sintering behavior of ZrB₂-SiC nano/micron composites, in Persian, New Process in Material Engineering, 2018, 12(3), 81-90.