فصلنامەي علمى

دورهی ۱۱، شمارهی ۱، بهار ۱۴۰۱

ساخت و بررسی قطعات کامپوزیتی C/C_f-ZrB2-ZrC-SiC و C/C_f-ZrB2-SiC مقاوم در برابر فرسایش با روش زینتر بدون فشار

، ومهندسی

نوع مقاله: علمي پژوهشي

مهری مشهدی'، محمدحسین بخشی'

^۱دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوریهای ساخت ^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی

mohammadhoseinb1994@gmail.com

اطلاعات مقاله: چ	چکیده:
دریافت: ۷ تیر ۱۴۰۰ ^{در}	در این پژوهش هدف دستیابی به قطعات کامپوزیتی مستحکم و مقاوم به فرسایش و تخریب حرارتی
پ ذیرش: ۱۱ مهر ۱۴۰۰	C/C+ZrB2-ZrC-SiC و C/C+ZrB2-SiC با روش زیــنــتر بدون فشـــار میباشــد. نمــونههای
صفحه ۴۸ تا صفحه ۶۵	C/Cr-ZrB2-SiC با استفاده از پودرهای سنتزشده ZrB₂ و SiC بین لا یههایی از پارچهی کربنی آغشتهشده
در دسترس در نشانی: ^{به}	به رزین تهیه شدند. بعد از پرس شدن با فشار ۵ بار در دمای ۲۶۰۰۰ و به مدت ۲ ساعت در کوره اتمسفر
<u>www.ijcse.ir</u>	کنترل تحت اتمسفر Ar عملیات حرارتی شدند. در مرحله بعد برای بررسی تاثیر اضافهشدن ZrC و مقایسه با
زبان نشریه: فارسی نم	نمونههای C/Cr-ZrB2-SiC، قطعات کامپوزیتی C/Cr-ZrB2-ZrC-SiC نیز تهیه شدند. این کار با سنتز پودر
شاپا چاپی: ۲۳۵۲–۲۳۲۲ س	سرامیکی ZrB2-ZrC-SiC بین لایههایی از پارچههای کربنی با استفاده از زیرکون (ZrSiO4)، B4C، کربن
شايا الكترونيكي:	اکتیو، با حضور و بدون حضور Si به همراه الیاف کربنی خرد شده صورت پذیرفت. نمونهها بعد از پرس و یافتن
ω/ ۲۷۸۳–۳۰۰۳	استحکام خام به کوره اتمسفر کنترل تحت اتمسفر Ar منتقل شده و در دمای C۰۰°C به مدت ۲ ساعت تحت
ع	عملیات حرارتی قرار گرفتند. به منظور بررسی خواص ریزساختاری و فازی نمونهها از میکروسکوپ الکترونی
<i>9)</i>	روبشی (SEM) و آنالیز پرتو اشعه ایکس (XRD)، و برای بررسی خواص مکانیکی و مقاومت به
	اکسیداسیون کامپوزیتها ازآزمون استحکام خمشی سەنقطەای و شعله اکسیاستیلن استفاده شد. چگالی
C/Cf-ZrB2-ZrC-SIC،	میانگین برای نمونههای کامپوزیتی پرسنشده و پرسشده S/Cr-ZrB2-SiC-ZrC به ترتیب تقریبا
مقاومت به فرسایش، م	مقادیر ۵ gr/cm ³ و ۵/۵ و استحکام خمشی این کامپوزیتها به طور میانگین، ۳۰۳MPa به دست آمد. نرخ
C/C _f -ZrB ₂ -SiC، زينتر _{فر}	فرسایش خطی نمونههای پرس'نشده و پرس'شده C/Cr-ZrB2-SiC-ZrC درآزمون فرسایش با شعله اکسی
بدون فشار، UHTCs اس	استیلن به ترتیب تقریبا مقادیر ۳/۱۱ μm/s و ۱/۷۴ و نرخ فرسایش جرمی پرس نشده و پرس <i>شده به ترتیب به</i>
Ь	طور میانگین ۴/۸۶ و ۲/۴۱ (lo ⁻⁴ *g/s) اندازهگیری شد. چگالی میانگین برای نمونههای
	C/Cr-ZrB2-SiC، ۵/۰۳ gr/cm ³ اندازه گیری شد. هم چنین استحکام خمشی این کامپوزیتها به طور
	میانگین ۲۴۵ MPa و نرخ فرسایش خطی وجرمی نمونهها به ترتیب ۲/۱۶ μm/s و ۳/۲۸ (*g/s) به
כו	دست آمد.
2 1400 10 0 14 7 ·DOR vs	20 1001 1 23222352 14

20.1001.1.23222352.1400.10.0.14.7 :DO

نقطه ذوب بالا، سختی زیاد، چگالی نسبتاً کم، پایداری

1- مقدمه



شیمیایی عالی و پایداری حرارتی خوب کامپوزیتهای ZrB2-ZrC-SiC آنها را کاندیداهای بالقوهای برای کاربردهای ساختاری و ویژه در دماهای بالا میکند، برای کاربردهای مختلف مانند سپرهای حرارتی، موتورها، المنت کوره و وسایل نقلیه فراصوتی [۳–۱].

اگرچه کامپوزیتهای ZrB₂-ZrC-SiC عملکرد بسیار بهتری نسبت به سیستمهای مونوفاز یا فاز دوتایی نشان دادهاند، اما مشکلات مهمی از جمله محدودشدن قابلیت پختپذیری، شکنندگی ذاتی و مقاومت در برابر اکسیداسیون ضعیف هنوز هم کاربردهای مهندسی آنها را محدود می کند. همچنین خواص مختلف و متنوع کامپوزیتهای C/Cf-ZrB₂-SiC خواص مختلف و متنوع کامپوزیتهای C/Cf-ZrB₂-SiC نیز آنها را یکی از مورد توجهترین کامپوزیت – سرامیکهای دمابالا (UHTCMCs) کرده است. این خواص شامل دانسیته پایین، مقاومت شوک حرارتی مطلوب، هدایت گرمایی و الکتریکی خوب و امکان ساخت قطعات توسط ماشینهای تخلیه الکتریکی، مقاومت عالی در برابر فرسایش و اکسیداسیون در دماهای بالا، مقاومت بالا در برابر رشد افراطی دانهها در هنگام پخت، قابلیت پختپذیری عالی و پایداری شیمیایی مناسب در محیطهای نامطلوب با شرایط

پژوهشهایی مبنی بر استفاده از سرامیکهای دمابالا (UHTC) به عنوان پوشش نیز صورت گرفته است. در گزارشی که اخیرا ارائه شده ژوئتینگ⁽ و همکارانش [۵] مقاومت در برابر فرسایش ۵ نوع UHTC بر پایه ZrB₂ و ZrC را در دماهای بالا بررسی کردند. آنها از ترکیبات در crc, ZrC-Sic, ZrB₂, ZrB₂-Sic, ZrB₂-ZrC-Sic

[\] Xueting Xu

دورهی ۱۱

کردند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که ترکیبات بر پایه ZrB2 مقاومت در برابر فرسایش بهتری از ترکیبات بر پایه ZrC در همان شرایط نشان دادند [۵]. ماده سرامیکی ZrC به علت دارا بودن درصدی از پیوند فلزی، هدایت حرارتی به اندازه (M.K)/۵ W/(M.K را داراست، در نتیجه مقاومت به شوک حرارتی در این ماده مطلوب است. باند کووالانسی به این ماده نقطه ذوبی به اندازه ۲۵۳۰۰° میدهد. این ماده که غیر استوکیومتریک است کربن آن به ماکزیمم ۰/۹۸ میرسد و اگر بالاتر از این مقدار باشد، در ماده کربن آزاد وجود دارد که مطلوب نیست. این ماده مقاومت خوبی در مقابل حملات اسیدی حتی در دمای بالا دارد. سختی بالایی به اندازه ۲۵/۵ GPa و مدول الاستیک به اندازه ۴۴۰ GPa دارد. از روشهای تولید آن میتوان به احیای زیرکونیا با گرافیت، کربوترمال و سل ژل اشاره کرد. زینتر نانو پودر ZrC در دمای بالاتر از ۲۰۰۰° اتفاق میافتد و استفاده از پرس گرم می تواند جهت رسیدن به دانسیته مورد نیاز، مطلوب باشد. در نهایت می توان برای رسیدن به دانسیته حداکثر از روش SPS استفاده کرد. در بالاتر از ۲۰۰° زیرکونیوم کارباید دچار اکسیداسیون می شود، لذا برای رفع مشکل این ماده را با ZrB2 و SiC کامپوزیت می کنند و مقاومت در برابر اکسیداسیون را تا ۲۵۰۰۵C افزایش میدهند.

همچنین با کامپوزیتسازی مقاومت ماده در برابر فرسایش و همچنین استحکام مکانیکی آن افزایش مییابد. کارباید و بورایدهای زیرکونیوم به دلیل دارا بودن هدایت حرارتی و الکتریکی خوب، مقاومت در برابر شوک حرارتی بسیار خوبی دارند. همچنین در برابر خوردهشدن در برابر فلزات مایع مقاوم

شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱ **۴۹**

هستند. کاهش تخلخل از چالشهای استفاده از این ماده می باشد که با SPS قابل بهبود است [۶].

کامپوزیتهای کربن- کربن خواص منحصر به فردی مانند دانسیته کم، ضریب انبساط حرارتی پایین، استحکام بالا در دمای زیاد، هدایت حرارتی بالا و مقاومت به شوک حرارتی بالایی را دارا هستند. خصوصیات برجسته این ماده سبب شده است تا کامپوزیت کربن کربن سر دسته مواد دارای کاربرد دما بالا مانند موتور موشکها، دماغه، حاشیههای هدایت کننده و دیگر قسمتهای سیستمهای محافظ حرارتی باشد. دمای عملیاتی این قطعات ممکن است سریعا از دمای محیط به بالای C°۳۰۰۰۰ برسد و در این شرایط چند ثانیه تا چند صد ثانیه باقی بماند. ولی این مواد در مقابل فرسایش توسط گاز پر سرعت خارج شونده از جت و فرسایش با ذرات در بالای ۲۰۰۰°C آسیبپذیر هستند. لذا کاربرد این ماده در تجهیزات مدرن هوافضایی با کارایی بالا نظر به پیشرفت رو به رشد این بخش محدود شده است. ثابت شده است که افزودن سرامیکهای فوق دما بالا به طور مثال بورایدها و کاربیدهای فلزات واسطه به زمینه کربن کربن یکی از متداول ترین روشها برای بهبود مقاومت به فرسایش است و در سالهای اخیر تلاشهای بسیاری برای توسعه کامپوزیتهای C/C-UHTC انجام شده است. ثابت شده است که استفاده از سرامیکهای دما بالا و کاربایدها و بورایدهای فلزات انتقالی در کامپوزیتهای کربنی یکی از روشهایی است که برای افزایش مقاومت به فرسایش به کار می رود. چون در این کامپوزیتها سرامیکهای دما بالا در مقادیر کم و در نقش تقویت کننده بودهاند لذا بهبود در خواص مقاومت به فرسایش محدود بوده است. کامپوزیتهایی که دارای

مقادیر زیادی ZrC و SiC باشند به نحوی که بتوانند یک زمینه سرامیکی پیوسته ایجاد کنند و همچنین از خواص مواد کربنی مانند الیاف کربنی به عنوان تقویت کننده استفاده شود، میتوان خواص مقاومت به فرسایش را به طور چشم گیری افزایش داد [۷]. از زیر کونیوم کارباید به عنوان یک ماده فوق دیرگداز، در دمای زیاد و به کمک فشار میتوان قطعه متراکم تولید کرد زیرا زینترینگ این ماده به دلیل ضریب نفوذ در خود پایین و باند کووالانسی قوی، مشکل است. روش اصلی برای زینتر زیر کونیوم کارباید استفاده از روش SPS است که سینتیک نفوذ را با اعمال جریان مستقیم پالسی بهبود میدهد. همچنین از MoSi2 به عنوان کمک زینتر زیر کونیوم کارباید از م تا ۹٪ حجمی استفاده میشود. هم چنین این ماده در مقادیر کم نیز، به افزایش دانسیته زیر کونیوم کاربایـ از مقادیر کم نیز، به افزایش دانسیته زیر کونیـوم کاربایـ در

کاربایدها و بورایدهای Hf و Zr به دلیل نقطه ذوب بالا مورد مطالعه قرار گرفتهاند اما به دلیل هزینه پایین تولید و دانسیته کمتر، ZrC به میزان بیشتری مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از الیاف کربنی میتواند مقاومت به شوک حرارتی و چقرمگی شکست سرامیکها را به میزان چشم گیری بهبود دهد. به دلیل کاربرد این مواد در شرایط دما بالا لازم است خواص فرسایشی آنها معین شود. استفاده از شعله اکسیاستیلن یکی از راههای در دسترس و ارزان برای مقاومت به فرسایشی است که برای سنجش اولیه میزان از بورایدها و کاربیدهای زیرکونیوم به صورت تکی به دلیل مقاومت به اکسیداسیون پایین و ضعفهای دیگر محدود شده است. لذا با کامپوزیتسازی این ضعفها را تا حد چشم گیری

برطرف مى كنند. به عنوان مثال افزودن فاز دومى مانند ZrB2 یا SiC به زیرکونیوم کارباید سبب می شود مقاومت به اکسیداسیون و همچنین مقاومت به فرسایش و شوک حرارتی بهبود یابد. این بهبود در خواص به تشکیل لایه غیرفعال در سطح کامپوزیت نسبت داده می شود. از این رو به طور مثال کامپوزیت سهتایی ZrC-30ZrB₂-10SiC که به روشهای پرس گـرم یا SPS تولید شده است، در هر دو حالـت خواص بهتری از زیرکونیوم کارباید تکفاز و همچنین کامپوزیت دوتایی از این مواد دارد. همچنین با کامپوزیتسازی خواص مكانيكي نيز بهبود پيدا ميكند. عمده اين بهبود خواص در نتیجه کامپوزیتسازی، به اثر محدودکردن رشد دانه نسبت داده می شود و در هر دو روش پرس گرم یا SPS با کامپوزیتسازی رشد دانه شدیدا محدود خواهد شد و دانههای همگن تری به دست خواهند آمد، لذا خواص بهتر می شوند. دلیل دوم بهبود خواص به افزایش تراکم قطعه نهایی با کامپوزیتسازی نسبت داده می شود. برخی از مواد مانند SiC ،B2O3 ،B4C و MoSi2 با استفاده در كامپوزیت C/C به عنوان افزودنی سبب بهبود مقاومت به اکسیداسیون این ماده در دماهای پایین و متوسط شدهاند؛ ولی در دماهای بالاتر نتوانستهاند مقاومت به اکسیداسیون خوبی را برای کامپوزیت ایجاد کنند [۶]. سرامیکهای دما بالا مانند HfB₂-SiC، ZrB2-SiC ،ZrB2-ZrC و ZrC-SiC به دليل نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر فرسایش فوق العاده ای را در تست قوس جت از خود نشان دادهاند؛ اما كاربرد أنها به دليل پايين بودن چقرمگی شکست و مقاومت به شوک حرارتی ضعیف، محدود شدهاست. استفاده از الیاف کربنی به عنوان تقویت کننده بر شکنندگی ذاتی این مواد غلبه می کند [۱۰].

با توجه به پژوهشهای صورت گرفته و شرایط موجود کشور در پژوهش حاضر هدف دستیابی به قطعات کامپوزیت-سرامیکی مستحکم و مقاوم به اکسیداسیون و تخریب حرارتی سرامیکی مستحکم و مقاوم به اکسیداسیون و تخریب حرارتی مرامیکی مستحکم و مقاوم به اکسیداسیون و تخریب درارتی مواد کرد- تابع در در مواد منعتی و کمهزینه و از طریق روش زینتر بدون منعتی و کمهزینه و از طریق روش زینتر بدون منار میباشد. در نهایت به منظور بررسی خواص فشار میباشد. در نهایت به منظور بررسی خواص و میراختاری و فازی نمونهها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (XRD) و آنالیز پرتو اشعه ایکس (XRD)، و برای بررسی خواص مکانیکی و مقاومت به برای بررسی خواص مکانیکی و مقاومت به اکسیداسیون کامپوزیتها از آزمون استحکام خمشی سهنقطهای و شعله اکسیاستیان استفاده شد.

۲- فعالیتهای تجربی

۲-1- مواد و روشها

برای دستیابی به قطعات C/Cr-ZrB2-ZrC-SiC از زیر کون (ZrSiO4)، B4C، کربن اکتیو و سیلیسیوم استفاده شد. هم چنین برای ساخت قطعات C/Cr-ZrB2-SiC از پودر سنتزشده ZrB2 و SiC بهره گرفتیم. پارچه کربنی، الیاف کربن (Cf) و رزین فنولیک از درجه تجاری شیمیران (ایران) و اتانول از شرکت فنولیک از درجه تجاری شیمیران (ایران) و اتانول از شرکت ماهتولیک از مرجه نمونهها استفاده شد. به منظور بررسی خواص ریز ساختاری و فازی نمونهها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز پرتو اشعه ایکس (XRD)، و برای بررسی خواص مکانیکی و مقاومت به اکسیداسیون کامپوزیتها از آزمون استحکام خمشی سهنقطهای و شعله اکسیاستیلن استفاده شد.

استحکام خمشی سهنقطهای نمونههای تولیدشده در دمای اتاق اندازه گیری شد. بار گذاری خمشی با نرخ mm/min ۲ در

دورهی ۱۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱ 🐧

شعله اکسی استیلن استفاده شد.

دستگاه سنجش استحکام مکانیکی شرکت zwick ساخته کشور آلمان صورت پذیرفت. همچنین چگالی کلی و درصد تخلخل ظاهری نمونههای کامپوزیتی ساختهشده با استفاده از رابطههای زیر محاسبه شد:

چگالی =
$$\frac{D}{S-L}*\rho_L$$
 (۱)

وزن قطعه خشک بر حسب کرم: D
وزن اشباع قطعه بر حسب گرم: S
وزن قطعه در حالت غوطه وری: ا
چگالی مایع غوطه وری :
$$ho$$

چالی مایع غوطه وری : ho
(۲)

C/C_f-ZrB₂-SiC مادهسازی نمونههای -1−1−۲

برای ساخت کامپوزیت C/Cr-ZrB2-SiC از پودر سیلیکون کارباید و زیرکونیوم دیبوراید سنتزشده استفاده گردید. SiC ۲۰% وزنی و ۲۶۵ ۸۰% وزنی نمونه ها را تشکیل دادند، که برای هر نمونه ۲ گرم کامپوزیت پودری شامل ۰/۴ گرم سیلیکون کارباید و ۱/۶ گرم زیرکونیوم دیبوراید استفاده شد. ۲ گرم بچ ما با ۱۰۰ گرم اتانول به همراه روانساز درون محفظه اًسیاب ماهوارهای قرار گرفتند و برای مدت ۱ ساعت اُسیاب شدند. مخلوط حاصل در آون قرار گرفته و در دمای ۹۰[°]C خشک شدند. در پایان پودر حاصل در هاون کوبیده شد. طبق فرم استاندارد نمونه استحكام خمشي، پارچههاي كربني تلقیح شده با رزین در ابعاد ۱ در ۷ cm² بریده شدند. سپس پارچهها به مقدار مناسبی از رزین آغشته شدند و کامپوزیت پودری أسیابشده روی أنها پاشیده شده و عمل أغشتن و پاشیدن برای ۲۰ پارچه متوالی انجام شد. نمونههای تولیدشده در قالب فولادی روانکاری شده قرار گرفته و تحت پرس با میزان فشار ۵ بار قرار گرفتند. طی آزمایشهای متعدد

۵۲ دورهی ۱۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱

مشخص شد که تحت فشارهای بالاتر نمونهها دچار دفرمگی می شوند. سپس نمونههای خام پرس شده به کوره اتمسفر کنترل، تحت اتمسفر Ar منتقل شده و به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۰۰۰ک عملیات حرارتی شدند. پس از آماده سازی نمونه ها جهت بررسی های مورفولیژیکی، ریز ساختاری و فازی از آنالیزهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز پرتو اشعه ایکس (XRD)، و برای بررسی خواص مکانیکی و مقاومت به اکسیداسیون و فرسایش کامپوزیتها از آزمون است. حکام سهنقطه ای و



شکل ۱– قطعات کامپوزیت– سرامیکی C/C_f-ZrB₂-SiC تهیه شده با *ر*وش زینتر بدون فشار

C/C_f-ZrB₂- آمادهسازی نمونههای ZrC-SiC

از دو بچ مختلف برای آمادهسازی و سنتز پودر کامپوزیتی ZrB2-SiC-ZrCاستفاده شد. بچ ۱ شامل سیلیکات زیرکونیوم، کاربید بور، کربن سیاه و سیلیسیوم و بچ ۲ متشکل از همین پودرها بدون سیلیسیوم بودند، که در کنار الیاف کربنی (Cr) با نسبت وزنی ۲ درصد به مدت ۱ ساعت با سرعت ۲۰۰ rpm



۲۰ به ۱ آسیاب شدند. برای دستیابی به میزان بهینه الیاف کربنی خردشده، الیاف در مقادیر ۱۰۰٪، ۷٪، ۵٪، ۲٪ وزنی در کنار ۲/۵ گرم پودر و ۱۰۰ گرم اتانول در آسیاب ماهوارهای قرار گرفتند و برای ۱ ساعت آسیاب شدند. برای مقادیر ۱۰، ۷ و ۵٪ وزنی، پخششدن غیریکنواخت الیاف کربنی و تشکیل آگلومرههایی از آنها مشاهده شد که به همین جهت برای ادامه ی کار مناسب دیده نشدند. اما در مقدار ۲٪ وزنی الیاف به صورت منظم و یکنواخت دیسپرز شده و در نهایت ۲٪ وزنی الیاف به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد. چهار نمونه با دو بچ ترکیبی (جدول ۱) تهیه شد. ۲/۵ گرم از هر بچ با ۱۰۰ قرار گرفتند و برای مدت ۱ ساعت آسیاب ماهوارهای قرار گرفتند و برای مدت ۱ ساعت آسیاب شدند. مخلوط پایان یودرهای حاصل در هاون کوبیده شدند.

جدول ۱ – فرمولاسيون مواد اوليه برای سنتز پودر (بچ ۱ و ۲)

ترکیب	ZrSiO ₄	B ₄ C	С	Si
بچ ۱	70.10	7.00	22.88	0
بچ ۲	66.65	6.59	23.27	3.29

واکنشهایی که طی آن از مواد اولیه به فازهای مورد نظر ZrB2 و ZrC و SiC دست پیدا می کنیم مطابق زیر است.

برای بچ ۱:

3ZrSiO₄ + B₄C + 15C → ZrB₂ + 2SiC + ZrC + 12CO $\label{eq:relation}$ برای بچ ۲:

 $3ZrSiO_4 + B_4C + 16C + Si \rightarrow ZrB_2 + 4SiC + ZrC + 12CO$ در مرحلهی بعد پارچههای کربنی تلقیحشده با رزین در ابعاد ۱/۵ در 2 مرحله از مرحله قبل روی پارچهی کربنی بریدهشده و آغشتهشده با رزین فنولیک پاشیدهشده و سپس پارچهی بعدی روی آن قرار گرفت و عمل آغشتن رزین و پاشیدن پودر تکرار شد. این

عمل چندین بار تکرار شد تا به ضخامت مورد نظر برسیم. از لحاط وزنی نیز تقریبا ۵۷٪ وزنی کل کامپوزیت از پودر سرامیکی و ۴۳٪ وزنی از پارچه کربنی تشکیل شدهاست. نمونههای به دست آمده در قالب فولادی روانکاری شده قرار گرفته و سپس تحت پرس سرد با فشار ۵ بار قرار گرفتند تا استحکام خام مطلوبی به دست آید. در فشار پرسهای بالاتر نمونهها دچار دفرمگی می شدند از این رو فشار بهینهی ۵ بار پس از بارها آزمایش انتخاب شد. نمونهها بعد از پرس به مدت ۲ ساعت در دمای ۲۵٬۰۰ و اتمسفر آرگون تحت عملیات حرارتی قرار گرفتند. نمونههای اB و ۲-B حاصل از بچ ۱ و نمونههای B2 و ۲-B نمونههای حاصل از بچ ۲ می باشند. و ۲-B2 نمونههای اB و 28 بدون پرس و نمونههای P-B اتر پرس هم در ادامه بررسی شده و شرح داده می شود.

3- نتایج و بحث

C/C_f-ZrB₂-SiC بررسی نتایج نمونههای -1-۳ -1-1- بررسی ریزساختاری کامپوزیتهای C/C_f-ZrB₂-SiC

در شکل ۲ تصویر الکترونهای برگشتی از کامپوزیت C/Cf-ZrB2-SiC را مشاهده میکنیم که در سه نقطه مورد بررسی قرار گرفته است. همان گونه که مشهود است مناطقی با کانتراست متفاوت در تصویر وجود دارد که متناظر با ترکیبات مختلف است. مطابق آنالیز EDX منطقه خاکستری رنگ A فیبر کربنی و کربن پسماند حاصله از بایندر میباشد. همچنین نواحی روشن تر B و C ذرات ZrB2 و SiC را نشان میدهند. که در نقطه C با توجه به آنالیز EDX مربوط به ZrB2 میباشد.

دورهی ۱۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱ ۲



شکل ۳ آنالیز از نقطه A، B و C در شکل ۲ است. بخش C در شکل ۲ به صورت روشن تر قابل مشاهده است. چگالی زیر کونیوم دی بوراید بیش تر از کاربید سیلیسوم می باشد و با توجه به این نکته باید رنگ آن روشن تر از رنگ کاربید سیلیسوم در تصویر باشد.

مطابق شکل ۳ که پیک بور و زیرکونیوم در آن مشاهده میشود احتمالا این نقطه خاکستری روشن دانه ZrB2 است.

همچنین شکل ۴ تصویر SEM از سطح همین نمونه بعد از تست فرسایش را نشان میدهد. همان طور که می بینیم بعد از تست شعله نظم فیبرهای موجود در پارچههای کربنی زیاد به هم نخورده است و مقداری سطوح دچار سوختگی شده و بعضا دچار خردایش می گردند اما در نهایت ساختار کلی و ساختمان خود را در برابر شعله و حرارت حفظ کردهاند.



 C/C_f - ZrB_2 -SiC شکل ۲- تصویر الکترون بر گشتی از سطح کامپوزیت



۵۴ دورهی ۱۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱





شکل ۴– تصویر SEM از نمونه بعد از تست فرسایش

در شکل ۵ سطح مقطع جانبی نمونه کامپوزیتی فرسایش یافته با شعله اکسیاستیلن را نشان می دهد و ساختار سرامیکی بین لایههای کربنی قابل مشاهده است. مطابق شکل تخریب و ترک گستردهای که باعث تخریب ساختار بشود در نمونه دیده نمی شود و از تراکم مناسب و پیوستگی برخوردار است. زیرکونیوم دی بوراید در دمای بالاتر از ۲۰۰۰۰ و کاربید سیلیسیوم در بالاتر از ۲۰۰۰۰ ذوب می شوند. دمای زینتر قطعه باید در حدود ۲/۰ الی ۸/۰ دمای ذوب نمونه باشد و

دمای زینتر در این پژوهش ۲۶۰۰°C بوده است لذا رشد محسوسی در اندازه دانه مشاهده نشد اما استحکام خمشی نسبت به قطعه خام افزایش واضحی پیدا کرد. در شکل ۶

تصویر سطح کامپوزیت در برابر شعله دیده می شود. در بخش هایی از سطح تخریب کمی رخ داده و ترک هایی قابل مشاهده است اما هم چنان می توان بیان کرد که سطح مقاومت خوبی را در برابر خوردگی ترمومکانیکی شعله ناشی از دما، فشار و سرعت جریان گاز آن از خود نشان داده است و ساختار و ساختمان خود را به خوبی حفظ کرده و در نهایت استحکام قابل قبولی از خود به نمایش گذاشته است.

همچنین در شکل ۶ آنالیز EDS از کل تصویر را نمایش داده است. این تصویر از سطح نمونه که پارچه کربنی است گرفته شده و علاوه بر کربن، پیک اکسیژن با مقدار ۳/۲٪ وزنی، زیرکونیوم با ۸/۴٪ وزنی و سیلیسیوم با ۱/۸٪ وزنی مشاهده میشود. احتمالا در سطح کامپوزیت که در معرض شعله اکسیاستیلن واقع شده است، 2rO2، SiO2 و یا هردو تشکیل شدهاند.



شکل ۵- تصویر SEM از سطح مقطع جانبی نمونه بعد از تست فرسایش









شکل ۷– نمودار نیرو بر حسب فاصله برای سه نمونه کامپوزیت تولید شده در آزمون استحکام خمشی

۳-۱-۱- بررسی دانسیته و استحکام

سه نمونهی کامپوزیتی با ترکیب C/Cr-ZrB2-SiC تهیه شده و هرکدام تحت تست استحکام خمشی ۳ نقطهای قرار گرفتند که نمودار آن در شکل ۷ قابل مشاهده میباشد. طبق شکل قابل رویت است که افت استحکام در هر سه نمونه تقریبا یک باره اتفاق افتاده و احتمالا شکست به صورت ترد اتفاق صورت

گرفته است. نتایج استحکام خمشی بیشینه در جدول ۲ آورده شده است. میانگین استحکام خمشی تقریبا ۲۴۵ MPa به دست آمد، که مقدار کمتری نسبت به کامپوزیتهای سه تایی دست آمد، که مقدار کمتری نسبت به کامپوزیتهای سه تایی JCC و تفاوت دانسیته قطعات میباشد. هم چنین نتایج مربوط به دانسیته بالک و درصد تخلخل ظاهری نیز در جدول ۳ آورده شد. برای دانسیته بالک طبق نتایج سه نمونه مورد آزمایش مقدار میانگین ۵/۰۳ به دست آمد. همین طور برای درصد تخلخل ظاهری مقدار میانگین ۶/۱ محاسبه شد.

 ZrB_2 -SiC-Cf/C جدول ۲- نتایج استحکام خمشی کامپوزیت

نمونه	S1	S2	S 3
استحکام خمشی (MPa)	777	226	۳۸۳

خلخل ظاهرى كامپوزيت	و درصد ت	دانسيته	۳– نتايج	جدول
---------------------	----------	---------	----------	------

ZrB2-SiC-Cf/C			
نمونه	S1	S2	S3
دانسیته بالک (g/cm ³)	۴/۶	۴/۲	۵/۱
درصد تخلخل ظاهری	۶/۳	۵/۹	۶/۱



۲-1-۳ بررسی نتایج شعله اکسیاستیلن

آزمون فرسایش به وسیله شعله اکسیاستیلن روی کامپوزیت ۲۶۰۰۰۵ انجام شد. دمای سطحی تا حدود ۲۰°۲۶۰۰ و برای مدت زمان ۱۲۰ ثانیه صورت پذیرفت. فاکتورهای مختلف تست برای سه نمونه کامپوزیتی در جدول ۴ نشان داده شده است. همچنین نرخ فرسایش خطی و جرمی میانگین نمونهها در جدول ۵ ذکر شده است.

میانگین نرخ فرسایش خطی میانگین برای نمونهها ۱/۷۰ µm/s به دست آمد. میانگین نرخ فرسایش جرمی میانگین نمونههای کامپوزیتی تولید شده ^{4–10}8 ۳/۴۱ g/s

برخی محققان به نرخ فرسایش جرمی منفی دست یافتهاند که این علامت منفی نشان از افزایش وزن در حین فرایند فرسایش با شعله اکسیاستیلن دارد، زیرا به طور مثال با تبدیل ZrC به ZrO₂ طبعا شاهد افزایش وزن خواهیم بود.

دوی لی^۱ و همکارانش [۱۴] نیز به اعداد ۱/۱۷ μm/s و ۱/۶۵ mg/s برای نرخ خطی و جرمی میانگین در دمای ۲۴۰۰۰C با استفاده از قانون چگالی مخلوطها، چگالی تئوری

کامپوزیت مقدار ۵/۸۷ gr/cm³ به دست آمد. لذا کامپوزیت به

صورت نسبی حدودا ۸۹٪ به تراکم رسیده است. دست یافتند. در حین آزمون با شعله اکسی استیلن به این دلیل که قطعاتی ریز از نمونه جدا شد (در اثر فشار ناشی از شعله)، به جای افزایش وزن، کاهش وزن مشاهده شد. تغییر ترکیب و وجود ZrC می تواند به افزایش خواص فرسایش کمک کند. در مقایسه با نمون های کامپوزیت می سه تای ای که در مقایسه با نمون می کامپوزیت می سه تای تولید شده پایین تر است که احتمالا بیانگر تاثیر بالای ZrC در افزایش خواص مقاومت به اکسیداسیون می باشد.

C/C_f-ZrB₂- بررسی نتایج نمونههای -Y-W ZrC-SiC

۲-۳-۱ بررسیهای فازی با استفاده از آزمون پراش اشعه ایکس (XRD)

نتایج آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) نمونههای B۱،B1-P ، B2-P و B2 در شکل ۸ نمایش داده شده است. نمونههای B1 و B2 بدون پرس و نمونههای B1-P و B2-P پرسشده تحت فشار ۵ بار می باشند.

نمونه	دمای سطح نمونه (Tf)	دمای سطح پشتی نمونه (Tb)	زمان فرسایش (s)	نرخ فرسایش جرمی (g/s*10 ⁻⁴)	نرخ فرسایش خطی (μm/s)
S1	75	۲۳۰۰	15.	۲/۴۴	١/٨۴
S2	75	۲۳۰۰	17.	۲/۸۱	۲/+ ۲
S 3	75	۲۳۰۰	17.	۲/۳۴	۱/۶۱

جدول ۴- نرخ فرسایش خطی و جرمی نمونههای کامپوزیتی زیر شعله آزمون فرسایش

جدول ۵- نتایج فرسایش خطی و جرمی میانگین کامپوزیت C/Cr-ZrB2-SiC

نام نمونه	نرخ فرسایش جرمی میانگین (g/s*10 ⁻⁴)	نرخ فرسایش خطی میانگین (µm/s)
C/Cf-ZrB2-SiC	٣/٢٨	۲/۱۶

' De-Wei Ni

۵۷ بهار ۱۴۰۱ شمارهی ۱ دورهی ۱۱

ساخت و بررسی قطعات کامپوزیتی C/Cf -ZrB2-ZrC-SiC و C/Cf -ZrB2-SiC مقاوم ...





در نمونهی B2 مقداری ZrO₂ نانو کریستالی واکنش نکرده همان طور که گفتیم در هنگام عملیات حرارتی پیش سازهای اولیه با یکدیگر واکنش داده و فازهای ZrD ، ZrB و SiC و هم چنین کربن پسماند پدید میآیند. ZrSiO4 در دمای کم تر از O² ، ۱۰۰۰ به SiO2 و ZrO تجزیه شده و این ها در ادامه با کربن واکنش داده و SiC و ZrD تشکیل می شوند. هم چنین بخشی از ZrO2 با B4C و کنش می دهد تا ZrB2 تشکیل شود. احتملا همه SiO2 در ادامه واکنش می دهد تا ZrB2 تشکیل شود. احتملا همه SiO2 در ادامه واکنش کرده یا مقدار نهایی آن بسیار کم بوده که پیک مربوط به آن قابل چشم پوشی بوده است. نمونه های B2 و P2 که حاوی Si آزاد بودند نسبت به دو نمونه ی دیگر که تر کیبشان فاقد Si آزاد بود مقدار SiC بیش تری نشان دادند.

مشاهده شد که احتمال زیاد این بقایای ZrO₂ از تجزیه زیرکون هستند که بخاطر واکنش Si آزاد با C و مصرف آن

و باقی نماندن کربن در اطراف ZrO2 اینها بدون واکنش به همین صورت باقی ماندهاند. این زیر کونیای آزاد واکنش نکرده برای سیستم میتواند مضر باشد زیرا در دماهای بالا به دلیل تغییر فاز منجر به ایجاد ریزتر کها شوند.

نمونههای B2-P و B1-P تقریبا نتایج مشابهی نشان دادند، فقط مقدار SiC در نمونه B2-P بخاطر Si أزاد نسبتا بالاتر بود. در نمونههای فشرده شده واکنشهای حرارتی کاملا رخ نداد. آنها حاوی B₄C واکنش نکرده بودند در حالی که اثری از ZrB2 مشاهده نشد که احتمالا به دلیل تجمع گازهای CO بین لایههای فشرده شده از کربن است که از پیشرفت واکنش جلوگیری کرده است. به نظر میرسد چنین پیشگیری تاثیر بیش تری در شکل گیری ZrB₂ نسبت به سایر تركيبات داشته است. علاوه بر اين نمونه B2-P اثرى از ZrO₂ را نشان می دهد که این ماده برای استفاده ایدهآل نیست. نمونه B1 بدون هیچ نشانهای از ترکیبات بدون واکنش، نتایج کاملا خوبی را نشان داد. علاوه بر این، کمترین مقدار C را در مقایسه با سایر نمونهها نشان میدهد که کامل بودن واکنش بین پیش سازها را نشان میدهد. جداول ۶ و ۷ به ترتیب اندازه بلورکهای هر یک از ذرات در کامپوزیتهای ساخته شده و آنالیز کمی فازی آنها بر

اساس روش ریتولد و نرمافزار MAUD نشان میدهد. اندازه بلورک برای هر نمونه پودری با استفاده از نرمافزار Xpert به صورت تقریبی محاسبه و در جدول ۶ آورده شده است. مشاهده می شود که بلورک ها درابعاد نانومتری هستند.

۲-۲-۳- بررسیهای ریز ساختاری با استفاده از آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

تصاویر SEM نمونههای B1 و B1-P را در شکل ۹ مشاهده

🗚 دورهی ۱۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱



می کنید. مناطق خاکستری رنگ در تصاویر نشاندهنده ی الیاف کربن و نواحی سفید رنگ ترکیبات UHTCs را نشان میدهد. مطابق شکل a که مربوط به نمونه پرس نشده B1 میباشد ذرات و فیبرهای پارچههای کربنی با یکدیگر آمیخته شدهاند و ذرات UHTCs به نحوی فیبرها را به هم چسبانده و آنها را کنار یکدیگر نگه میدارند.

در شکل b که مربوط به نمونه ای B-P می باشد فشار ناشی از فرایند پرس سبب جدا شدن برخی ذرات از درون لایه های پارچهای شده است و توزیع ذرات از میان لایه ها را به هم می ریزد. تصاویر c و b مربوط به نمونه های B1 و G-B پس از تست شعله اکسی استیلن می باشند. نمونه ها در معرض شعله در دمای C معرض شعله می باشند. نمونه ها در معرض شعله تصاویر مشاهده می شود که فرایند فرسایش با بیرون زدن الیاف و شکستگی انجام پذیرفته است. تصویر b میزان فرسایش بیش تر در نمونه G-B1 را نسبت به نمونه B1 در تصویر c نشان می دهد که احتمالا به دلیل عدم وجود فاز تصویر c نمی و SiC ایجاد می شود، که نمی تواند

از کامپوزیت در برابر شار گرما محافظت کند. نمونه B1 توزیع بهتری از ماتریس UHTCs در اطراف الیاف دارد. در نمونه فشرده شده P-B1 سنتز کامل فاز و توزیع ماتریس UHTCs مانع عملکرد درست کامپوزیت شده است. مشاهده میشود که پودرهای پیشساز قبل از عملیات حرارتی به الیاف کربن اضافه میشوند و پودرهای مذاب در پارچههای فیبر توزیع شده و منافذ بین الیاف را در نمونه B1 پر میکند که منجر به مقاومت به فرسایش حرارتی بهتر می شود. آن چه که باعث افت مقاومت به فرسایش در نمونه P1B و خردشدگی رشتههای الیاف پارچههای کربنی شده است عدم وجود کافی ذرات UHTCs در میان آنهاست.

در نمونه A1 ذرات UHTCs به خوبی رشتهها را کنار یک دیگر نگه داشته است و اجازه از هم گسیختگی و خردشدن را به آنان نداده است و پس از تست نظم نسبتا مشخصی در سیستم برقرار است. این در حالی ست که در نمونهی B1-P که فاقد فازهای کافی UHTCs است فیبرها کاملا خرد شده و با UHTCs آمیخته شدهاند.

اندازه بلورک/ نام نمونه	ZrC(nm)	ZrB ₂ (nm)	SiC(nm)	ZrO ₂ (nm)	B ₄ C(nm)
B1	۲۵۵	١٣۴	1.8	-	-
B2	٢٣۵	٩۶	٨۶	18	-
B1-P	۲۷۹	-	٩۶	-	75
B2-P	784	-	۳۵	٧١	۳۱

جدول ۶– اندازه بلورک فازهای موجود در کامپوزیتهای ساخته شده

ړه	ساخته ش	کامپوزیتھای	نازی کمی	۷- آناليز و	جدول	

B1 FT T1 1F - - TT B2 F· 1λ 1λ λ - 15	درصدفاز / نام نمونه	ZrC(wt%)	ZrB2(wt%)	SiC(wt%)	ZrO ₂ (wt%)	B4C(wt%)	Carbon(wt%)
B2 F· 1λ 1λ Λ - 1۶	B1	47	71	14	-	-	۲۳
	B2	4.	۱۸	١٨	٨	-	18
B1-P 49 - 19 - 17 19	B1-P	49	-	١٩	-	١٢	١٣
B2-P ^{FΔ} - 9 Δ 1Δ ^{TF}	B2-P	۴۵	-	٩	۵	۱۵	75

دورهی ۱۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱ 降





شکل ۹– تصاویر الکترونهای بر گشتی از کامپوزیتهای زینترشده قبل از تست فرسایش a و b و پس از تست فرسایش e ،d ،c و f

۱۴۰۱ شمارهی ۱ بهار ۱۴۰۱



تصاویر e و f به ترتیب نمونههای B2 و B2-P را نشان میدهند. این نمونهها حین تست شعله عملکرد متوسطی از خود نشان دادند و به دلیل عدم وجود فازهای UHTCs فیبرها به صورت کامل بیرونزده و سیستم را مختل کردهاند.

۳-۳- دانسیته و استحکام

8/1

۵/۹

جداول ۸ و ۹ نتایج دانسیته، درصد تخلخل ظاهری و استحکام کامپوزیت- سرامیکهای C/Cr-ZrB2-ZrC-SiC زینتر شده در دمای ۲۶۰۰°C را نشان میدهد.

جدول ۸- نتایج استحکام خمشی کامپوزیت -ZrB₂-SiC

ZrC-C _f /C	2			
نمونه	B1	B2	B1-P	B2- P
استحکام خمشی (MPa)	235	219	336	۲۸۷

جدول ۹– دانسیته بالک و درصد تخلخل ظاهری نمونههای

زينتر شده						
نمونه	B1	B2	B1-P	B2-P		
دانسیته بالک (g/cm ³)	۵/۰۲	۵/۰۸	۵/۴۶	۵/۵۰		

18/5

18/8

درصد تخلخل ظاهرى

[\]Xie jing

مطابق نتایج نمونه P-B به دلیل انجام عملیات پرس دانسیته بالاتری نسبت به نمونه B1 دارد که درنتیجه درصد تخلخل کمتری نیز از خود نشان میدهد. همچنین نمونههای پرس شده نسبت به نمونههای پرسنشده استحکام بالاتری دارند که دلیل عمده آن بالاتر بودن دانسیته و کمتربودن تخلخل در سیستم است. همچنین قابل ذکر است که نمونههای حاوی سیلیکون آزاد استحکام کمتری نسبت به نمونههای بدون

سیلیکون آزاد داشتند. علت این پدیده را میتوان به وجود زیرکونیا آزاد و باقی مانده از تجزیه زیرکون نسبت داد که به دلیل استحالههای فازی در دماهای بالا حین پخت منجر به القا تنش در ترک در زمینه می گردد.

4-3- تست مقاومت به فرسایش با شعله اکسی استیلن

نمونههای B1 و B1-P تحت آزمون فرسایش با شعله اکسی استیلن قرار گرفتند. نمودار تغییرات دمای سطحی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. طبق نمودار مشاهده می شود که دمای شعله اکسی استیلن در سطح نمونه حدودا ۲۶۰۰۰ بوده است. هم چنین زمان فرسایش توسط شعله ۱۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد.



ساخت و بررسی قطعات کامپوزیتی C/Cf -ZrB2-ZrC-SiC و C/Cf -ZrB2-SiC مقاوم ...

شده به روش PIP به نرخ فرسایش خطی ۲/۴۸ میکرومتر بر گرم دست یافتند. آنها دریافته بودند که هر قدر میزان ZrC موجود در بدنه بیش تر باشد نرخ فرسایش خطی بهتر خواهد بود لذا می توان بهبود در نرخ فرسایش خطی در پژوهش حاضر را به بیش تر بودن مقدار ZrC در نمونه نسبت به نمونههای تولید شده توسط ایشان نسبت داد. میانگین نرخ فرسایش جرمی نمونه کامپوزیتی B1 تولید شده ۱/۷ میلی گرم بر ثانیه اندازه گیری شد.

جدول ۱۰ – نتایج نرخ فرسایش جرمی و خطی کامپوزیت های B1 و B1-P

نام نمونه	نرخ فرسایش جرمی میانگین (g/s*10 ⁻⁴)	نرخ فرسایش خطی میانگین (μm/s)
B1	۴/۸۶	٣/١١
B1-P	۲/۴۱	١/٧۴

در مورد نرخ فرسایش جرمی محققان یاد شده به عدد ۲/۵– دست یافتند. علامت منفی نشان از افزایش وزن در حین فرآیند فرسایش با شعله اکسیاستیلن دارد؛ زیرا به طور مثال با تبدیل TrO2 به ZrO2 طبعا شاهد افزایش وزن خواهیم بود. در حین آزمون با شعله اکسیاستیلن به این دلیل که قطعاتی ریز از نمونه جدا با شعله اکسیاستیلن به این دلیل که قطعاتی ریز از نمونه جدا شد (در اثر فشار ناشی از شعله) به جای افزایش وزن، کاهش وزن مشاهده شد. همچنین نرخ فرسایش جرمی کمتری نسبت به نمونههای C/C و SiC-SiC مشاهده شد که احتمالا خواص به دلیل ZrD و ZrB بهتر شده است. ژائو^۲ و همکارانش [۱۲] نیز به عددی منفی برای نرخ فرسایش جرمی کامپوزیت C/ZrC نیز به عددی منفی برای نرخ فرسایش جرمی کامپوزیت C/ZrC دست پیدا کردند زیرا علی خم تشکیل لایه اکسیدی بر روی سطح و افزایش وزن، با افزایش زمان فرایند، لایه از روی سطح

۱ Xiao

بلند می شود و نرخ فرسایش خطی عددی منفی می شود. خواص فرسایشی نمونه های تولید شده نسبت به نمونه C/CF-SiC-ZrB2 تولیدشده توسط لیو^۲ و همکارانش [۱۳] که به مدت ۶۰ ثانیه نمونه ها را مورد فرسایش قرار دادند نیز بهتر است که احتمالا بیانگر تاثیر بالای ZrC در افزایش خواص مقاومت به اکسیداسیون می باشد.

۴- نتیجهگیری

در این پژوهش با قرارگیری پودر سرامیکی و رزین بین پارچــههای کربــنی طی سیــکلهای پی در پی نمونههای کامپوزیتی- سرامیکی C/Cf-ZrB2-SiC-ZrC و C/Cf-ZrB2-SiC با روش زينتر بدون فشار توليد شدند. فاز ZrC با قرارگیری بر روی مرزدانهها و جلوگیری از حرکت آنها مانع رشد دانههای کامپوزیت شده و در نتیجه با افزایش مقدار ZrC اندازه دانه کوچکتر و استحکام افزایش می یابد. ذرات ZrC از طریق دو سازوکار تغییر مسیر ترک و پلزنی ترک باعث افزایش میزان چقرمگی شکست کامپوزیتهای C/Cf-ZrB2-SiC-ZrC می شوند. با بررسی هایی که صورت گرفت کامپوزیتهای پرس شده نسبت به پرس نشده استحکام سرد و دانسیته بالاتری از خود نشان دادند. وجود Si آزاد در ترکیب مواد اولیه کامپوزیت C/Cf-ZrB2-SiC-ZrC منجر به عدم واكنش كامل زيركونيا می شود که به دلیل استحالههای فازی و ایجاد ریزترک خواص استحکام سرد کامپوزیت را به شدت کاهش میدهد. چگالی میانگین برای نمونههای کامپوزیتی پرس نشده و یرس شده C/Cf-ZrB2-SiC-ZrC به ترتیب تقریبا مقادیر

۲ Liu Yue



مراجع

- [1] Liu C, Zhang L, Yuan X, Liu H, Li C, Hou X. Preparation of ZrB₂-ZrC-SiC-ZrO₂ nanopowders with in-situ grown homogeneously dispersed SiC nanowires. Mater Des. 2020.
- [2] Akbarpour Shalmani SA, Sobhani M, Mirzaee O, Zakeri M. Effect of HfB₂ and WC additives on the ablation resistance of ZrB₂–SiC composite coating manufactured by SPS. Ceram Int. 2020.
- [3] Adibpur F, Tayebifard SA, Zakeri M, Shahedi Asl M. Spark plasma sintering of quadruplet ZrB₂–SiC–ZrC–Cf composites. Ceram Int. 2020; 46(1):156–64.
- [4] Ma H Bin, Zhang GJ, Liu HL, Liu JX, Lu Y, Xu FF. Effect of WC or ZrC addition on thermal residual stresses in ZrB₂-SiC ceramics. Mater Des. 2016; 110:340–5.
- [5] Xu X, Pan X, Niu Y, Li H, Ni D, Huang S, et al. Difference evaluation on ablation behaviors of ZrC-based and ZrB₂-based UHTCs coatings. Corros Sci.2021; 180 (August2020).
- [6] S. Q. Guo, Y. Kagawa, T. Nishimura, D. Chung, and J. M. Yang, "Mechanical and physical behavior of spark plasma sintered ZrC-ZrB₂-SiC composites," J. Eur. Ceram. Soc., vol. 28, no. 6, pp. 1279–1285, Jan. 2008.
- J. Xie, K. Li, H. Li, Q. Fu, and L. Guo, "Ablation behavior and mechanism of C/C-ZrC-SiC composites under an oxyacetylene torch at 3000°c," Ceram. Int., vol. 39, no.4, pp. 4171– 4178, May 2013, doi: 10.1016/j.ceramint.2012.
- [8] D. Sciti, S. Guicciardi, and M. Nygren, "Spark plasma sintering and mechanical behaviour of ZrC-based composites," Scr. Mater., vol. 59, no. 6, pp. 638–641, Sep.2008, doi: 10.1016/j.scriptamat.2008.
- [9] D. Zhao, C. Zhang, H. Hu, and Y. Zhang, "Ablation behavior and mechanism of 3D C/ZrC composite in oxyacetylene torch environment," Compos. Sci. Technol., vol. 71, no. 11, pp. 1392–1396, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.compscitech.2011.
- [10] S. Chen, C. Zhang, Y. Zhang, D. Zhao, H. Hu, and Z. Zhang, "Mechanism of ablation of 3D C/ZrC-SiC composite under an oxyacetylene flame," Corros. Sci., vol.68, pp. 168–175, Mar. 2013, doi: 10.1016/j.corsci.2012.

|--|

۵ gr/cm³ و ۵/۵ gr/cm³ و استحکام خمشی این کامپوزیتها به طور میانگین، ۳۰۳ MPa به دست آمد.

نرخ فرسایش خطی نمونههای پرس نشده و پرس شده C/Cr-ZrB2-SiC-ZrC در آزمون فرسایش با شعله اکسیاستیلن به ترتیب تقریبا مقادیر ۳/۱۱ μm/۶ و ۱/۷۴ و نرخ فرسایش جرمی پرس نشده و پرس شده به ترتیب به طور میانگین ۴/۸۶ و ۲/۴۱ (g/s*10⁻⁴) اندازه گیری شد.

در نمونههای C/Cr-ZrB2-SiC نتایج بهینهیابی نمونهها با استفاده از نرمافزار طراحی آزمایش، نمونه بهینه را نمونهای با ۶۵٪ وزنی از پودر سرامیکی و ۴۵٪ وزنی از پارچههای کربنی و ۲۰/۰۲ وزنی از الیاف بریده شده مشخص کرد که نتایج بررسی مجدد، تطابق نتایج پیشبینی شده توسط نرمافزار با دادههای تجربی را نشان داد.

بررسی سایر خواص مکانیکی نمونهها نیز بهبود آنها را در مقدار بهینه از پودر و الیاف بریده شده نشان داد که افزایش درصد وزنی این الیاف و پودر به دلیل عدم توانایی در توزیع مناسب و تمایل شدید آنها به تجمع وکلوخه شدن افت خواص را در پی داشت. بافت و نظم الیاف کربنی خواص را در پی داشت. بافت و نظم الیاف کربنی در کامپوزیتهای دوتایی C/Cr-ZrB2-SiC پس از تست شعله اکسیاستیلن دچار اعوجاج و به همریختگی کمی شد. هم چنین فازهای موجود در سیستم نسبت به قبل تست از نظر ترکیبی و شیمیایی دچار تغییر زیادی نشدند.

چگالی میانگین برای نمونههای کامپوزیتی برای نمونههای ۵/۰۳ gr/cm³ ،C/Cf-ZrB2-SiC اندازه گیری شد. همچنین استحکام خمشی این کامپوزیتها به طور میانگین ۲۴۵ MPa اندازه گیری شد. نرخ فرسایش خطی و جرمی نمونهها به ترتیب ۲/۱۶ μm/s و ۲/۱۶ (g/s*10⁴) به دست آمد.



- [11] Xie, Jing, et al. "Ablation behavior and mechanism of C/C–ZrC–SiC composites under an oxyacetylene torch at 3000°C." *Ceramics International* 39.4 (2013):4171.4178.
- [12] Huang D, Zhang M, Huang Q, Wang L, Xue L, Tang X, et al. Ablation mechanism of r infiltration and pyrolysis with preform SiC composite fabricated by polyme-ZrC-ZrB₂-C/C.9–. Corros Sci. 2015.
- [13] Liu, Yue, et al. "Erosion resistance of C/C-ZrB-SiC composites exposed to oxyacetylene torch." Erosion resistance of C/C torch." Journal of the European Ceramic Society 36.15 (2016).
- [14] B. W. Chen, D. W. Ni, C. J. Liao, Y. L. Jiang, J. Lu, and S. M. Dong, "Long-term ablation behavior and mechanisms of 2D-C_f/ZrB₂-SiC composites at temperatures up to2400°C," Corros. Sci., vol. 177, no. July, 2020.

Fabrication and Inspection of C/C_f-Zrb₂-Zrc-Sic and C/C_f-Zrb₂-Sic Composite Parts Resistant to Ablation by Pressureless Sintering Method

Mehri Mashhadi¹, Mohamad Hosein Bakhshi*

¹Faculty of Materials and Manufacturing Engineering, Malek Ashtar University of

Technology

* mohammadhoseinb1994@gmail.com

Abstract: In this research, the aim is to achieve strong and ablation-resistant composite parts C/Cf-ZrB2-ZrC-SiC and C/Cf-ZrB2-SiC by non-pressure sintering method. C/Cf-ZrB₂-SiC samples were prepared using synthesized ZrB₂ and SiC powders between layers of resin-impregnated carbon fabric. After pressing with pressure 5 times at 1600 °C and heat treatment for 2 hours in a controlled atmosphere furnace under Ar atmosphere. In the next step, C/Cf-ZrB2-ZrC-SiC composite parts were prepared to investigate the effect of ZrC addition and compare it with C/Cr-ZrB2-SiC samples. This was done by synthesizing ZrB₂-ZrC-SiC ceramic powder between layers of carbon fabrics using zircon (ZrSiO₄), B₄C, activated carbon, with or without Si, along with shredded carbon fibers. For this purpose, the prepared powders after wetting and drying along with resin were sprayed between carbon fabrics and the resulting samples were pressed 5 times by cold pressing after 20 layers. After pressing and finding the raw strength, the samples were transferred to a control atmosphere furnace under Ar atmosphere and subjected to heat treatment for 2 hours at 1600°C. Scanning electron microscopy (SEM) and X-ray analysis (XRD) were used to investigate the microstructural and fuzzy properties of the samples, and the threepoint flexural strength test and oxytocin flame were used to investigate the mechanical properties and oxidation resistance of composites. The linear erosion rates of C/C_f-ZrB₂-SiC and C/Cf-ZrB2-SiC-ZrC samples in the oxytocin flame abrasion test were 2.16 and 1.74 μ m/s, respectively, and the average erosion rates were 3.28. And 2.41 (4-10 g/s*) were measured. Also, the mean density values for C/Cf-ZrB2-SiC and C/Cf-ZrB2-SiC-ZrC samples were 4.67 and 05.03 gr/cm3, respectively, and the flexural strength was 303 and 245 MPa, respectively.

Keywords: C/C_f-ZrB₂-ZrC-SiC, ablation-resistant, C/C_f-ZrB₂-SiC, pressureless sintering, UHTCs.