بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی و مقاومت به اکسیداسیون نانوکامپوزیت ZrC-ZrB2-SiC تقویت شده با الیاف کربنی

مریم رحیمی *، مهری مشهدی

دانشکده مواد و فناوری های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

چیده: در پژوهش حاضر، پودر کامپوزیتی ZrC-SiC-ZrB از طریـق احیـای کربوترمـال مغلـوط ZrSiO₄/C/B₂O₃ در دمـای ° ۱۵۰۰ تهیه شد. کامپوزیت C/C-ZrC-SiC-ZrB از طریق پاشش مخلوط پودر سرامیکی و خرده الیاف کربنی بر لایههای پارچه کربنی و سپس پرس و سینتر در دمای C[°] ۲۰۰۰ در اتمسفر آرگون تولید شد. خواص فیزیکی، مکانیکی و مقاومت به اکسیداسیون قطعههای تولید شده مورد بررسی قرار گرفت. دانسیته ۵/۰۲gr/cm استحکام خمـشی MPA MPA، نـرخ فرسایش جرمی نمونـه ۲۶۸/۳gr/s و نرخ فرسایش خطی آنها ۲۳۵ اندازه گیری شد و نتایج نشان داد خواص نمونههای تولید شده به ایـن روش نسبت به کامپوزیتهای تولید شده با روشهای مرسوم در تولید این کامپوزیتها از جمله PIP مطلـوب و قابـل مقایـسه است. قابلیت این روش در بکارگیری مقادیر بیشتری از پودر سرامیکی و افزایش تراکم از عوامل مـوثر در بهبـود خـواص ایـن کامپوزیت هستند.

كلمات كليدى: پودر كامپوزيتى ZrC-SiC-ZrB₂؛ الياف كربن؛ استحكام خمشى؛ مقاومت به فرسايش.

۱– مقدمه

کامپوزیت های 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 کاربرد آن در ادوات هوافضایی و سیستمهای محافظت گرمایی شده است. دمای عملیاتی این قطعات ممکن است سریعاً از دمای محیط به بالای ۳۰۰۰°C برسد و در این شرایط چند ثانیه تا چند صد ثانیه باقی بماند. با این وجود این مواد در مقابل فرسایش توسط گاز پر سرعت خارج شونده از جت و فرسایش با ذرات در بالای C°۲۰۰۰ آسیب پذیر 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 UHTCs به طور مثال بوریدها و کاربیدهای فلزات واسطه به زمینه کربن-کربن یکی از متداول ترین روش ها برای بهبود مقاومت به فرسایش است. استفاده از سرامیک های دما بالا و کاربایدها و بورایدهای فلزات انتقالی در کامپوزیتهای کربنی یکی از روش هایی است که باری افزایش مقاومت به فرسایش به کار میرود. چون در این کامپوزیتها سرامیکهای فوق 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، می توان خواص مقاومت به فرسایش را به طور چشمگیری افزایش داد فرسایش ٔ فرآیندی است که توسط آن مواد از روی سطح خورده میشوند. فرسایش خود بـه سـه



مقارات يثوهشر

مهندس مریم *ر*حیمی، نویـسنده اول مقاله، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

¹ Ultra High Temperature Ceramics

² Ablation

مقالات بژوهشی

بخش ترموشیمیایی، ترموفیزیکی و ترمومکانیکی ناشی از دما، فشار و سرعت شعله احتراق، تقسیم می شود [۲و۲]. برخی از مواد مانند B₂O₃ ،B₄C، SiC و MoSi با استفاده در کامپوزیت 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. در بالاتر از C°۰۰۰ زیرکنیوم کارباید دچار اکسیداسیون می شود، لذا برای رفح مشکل این ماده را با ZrB و SiC کامپوزیت میکنند و مقاومت در برابر اکسیداسیون را تا C°۰۰۰ افزایش می دهند. همچنین با کامپوزیت سازی مقاومت ماده در برابر فرسایش و همچنین استحکام مکانیکی آن افزایش می دهند. همچنین با کامپوزیت سازی مقاومت ماده در برابر فرسایش و همچنین استحکام مکانیکی آن افزایش می داد خود ترمیم شونده¹ (در برابر فرسایش) می توانند به صورت جزیبی یا به طور کامل صدمه وارد آمده را جبران کنند. در این حالت عناصر موجود در ماده تشکیل اکسیدی مذاب را می دهند که در بازه وسیعی از دما قادر هستند ترکها و حفرات روی سطح را پر کنند و از تخریب سطح ماده یا اکسیداسیون آن جلوگیری کنند. بور با تشکیل B2O3 در دماهای ۵۰۰ تا C°۰۰۰ و Si با تشکیل SiO2 در دمای ۲۰۰۰ تا C°۰۰ این خاصیت را برای کنند. بور با تشکیل B2O3 در دماهای ۲۰۰۰ تا C°۰۰ با SiO2 در درمای در این تا SiC این خاصیت را برای محافظت سطح ماده دارا می باشند. در دمای بالاتر از C°۰۰ به نظر می رسد که HF و TS

سرامیکهای دما بالا مانند ZrB2-SiC ،ZrB2-ZrC ، HfB2-SiC و ZrB2 و ZrC-SiC به دلیل نقط ه ذوب بالا، مقاومت در برابر فرسایش فوق العادهای را در تست قوس جت۲ از خود نشان دادهاند؛ اما کاربرد آنها به دلیل پایین بودن چقرمگی شکست و مقاومت به شوک حرارتی ضعیف، محدود شده است. استفاده از الیاف کربنی به عنوان تقویت کننده بر شکنندگی ذاتی این مواد غلبه میکند[۶]. کاربایدها و بورایدهای Hf و Zr به دلیل نقطه ذوب بالا مورد مطالعه قرار گرفته اند اما به دلیل هزینه پایین تولید و دانسیته کمتر، ZrC به میزان بیشتری مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از الیاف کربنی می تواند 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 اکسی استیلن یکی از راههای در دسترس و ارزان بادی سنجش خواص فرسایشی است که برای سنجش اولیه میزان مقاومت به فرسایش مواد به کار می رود[۸۰].

روشهای مختلفی برای ساخت کامپوزیتهای C/C-UHTC توسعه یافتهاند از جمله: تلقیح سازی شیمیایی از فاز بخار ⁷Cl [۳]، تلقیح با مذاب آلیـاژی^{*} [۲۱ و تلقیح با پلیمر و پیرولیز PP⁴ [۲)، پـرس گـرم [۱۱]، تلقیح با مذاب آلیـاژی^{*} [۲۱ و ۳۱] و تلقیح با پلیمر و پیرولیز PP⁴ [۲)، پـرس گـرم [۱۱]، تلقیح با مذاب آلیـاژی^{*} [۲۱ و ۳۱] و تلقیح با پلیمر و پیرولیز PP⁴ [۲)، پـرس گـرم [۱۱]، تلقیح با مذاب آلیـاژی^{*} [۲۱ و ۳۱] و تلقیح با پلیمر و پیرولیز PP⁴ [۲)، پـرس گـرم [۱۱]، تلقیح با مذاب آلیـاژی^{*} [۲۱ و ۳۲] و تلقیح با مدایلی ^۲ ایدان فراند، ایدان فرآیند، هزینه بالا، توزیع نامناسب زمینه سرامیکی و یا کاهش استحکام به دلیل ایجاد تخلخل بالا، سودمند نبودهاند. گاهی از ترکیب این روش ها برای رسیدن به خواص بهینه استفاده میشود. سرامیکهای فوق دما بالایی که در تولید این کامپوزیتها که کروشهای تالا، در می موز دساند می شود. سرامیکهای فوق دما بالایی که در تولید این کامپوزیتهای کامپوزیتهای کامپوزیتهای مختلفی داشته باشد. از میان روش های تولیـد کامپوزیتهای که در تولید این روش های PI و RMI بیشتر توسعه یافتهاند. رسیدن به دانسیته مناسب به روش PI دشوار و زمان بر است زیـرا این روش در چندین چرخه انجام میشوند می توانند منشاهای مختلفی داشته باشد. از میان روش های PI و RMI پیشتر توسعه یافتهاند. رسیدن به دانسیته مناسب به روش PIP دروش دان بر است زیـرا این روش در چندین چرخه انجام میشوند می توانند منشاهای مختلفی داشته باشد. از میان روش در خون دان بر است زیـرا این روش در چندین چرخه انجام می شوند روش RII از PI موثر تر است و قطعات حاصل از این روش دان درمان بر است زیـرا می دروش دروش دارا و زمان بر است زیـرا می دروش دروش دارا و زمان بر است زیـرا می دوش دروش داروش دروش داروش داروش دروش داروش داروش داروش داروش داروش داروش داروش می موشون داروش داروا. دارو

- ³ Chemical vapor infiltration
- ⁴ Slurry infiltration
- ⁵ Polymer infiltration and pyrolysis ⁶ Reactive melt infiltration
- ⁷ Liquid silicon infiltration

فصلنامه

س امید ک

ايران شماره ٦٢ تابستان

5

¹ Self-healing materials

² Arc jet

۲- فعالیتهای تجربی

الات پژوهشر

زیرکون (۹۸٪، USA، Alfa-aesar) با اندازه ذرات کوچکتر از دو میکرون، اسیدبوریک (۹۸٪، USA، Fluka)، رزین فنولیک (۹۷٪، رزیتان، ایران) به عنوان مواد اولیه استفاده شدند. مواد اولیه در آسیاب سیارهای (PSG) مخلوط شدند. نمونهها در بوته گرافیتی در کوره قرار داده شدند. عملیات حرارتی در اتمسفر آرگون دمای ۲۵۰۰۵به مدت ۱ ساعت انجام شد و سرعت افزایش دما ۲۰°C/min در نظر گرفته شد. مخلوط پودری ZrSiO4/C/B2O3 با مقادیر اضافی اکسیدبور و کربن نسبت به واکنش استوکیومتری مطابق با واکنش ۱ تبدیل به پودر کامپوزیتی متشکل از کاربید زیرکنیوم، کاربید سیلیسیوم و زیرکنیـوم دی بورایـد شـد. مـواد بـا نسبت وزنی ZrC-30SiC-10ZrB2 همراه با ۰/۰۳٪ وزنی خرده الیاف کربنی به مدت دو ساعت با گلولههای زیرکنیایی با نسبت گلوله به پودر ۲۰ بر ۱ در آسیاب سیارهای (PSG) مخلوط و در آون در دمای ۲۰۰۵ خشک گردید. بر طبق فـرم اسـتاندارد نمونـه استحکام خمشی، پارچههای کربنی که از قبل با کربن تلقیح شده بود در ابعاد ۲۰۱۲ m ۲۰۱۲ بریده شدند. برای چسبیدن پودر به پارچه کربنی، پارچهها با محلول رزین فنولیک ۳۰٪ وزنی حل شده در الکل صنعتی آغشته شدند. پودر در لابلای پارچه کربنی قرار گرفت. نمونهها تحت پرس با میزان فشار ۵ بار قرار گرفتند تا استحکام خام آنها تامین شده و پودر در تماس مناسبی با پارچه قرار گیرد. از ۱۰ لایه پارچه در تولید هر نمونه استفاده شد. سپس نمونههای خام پس از قرارگیری بـه مـدت ۱ سـاعت در دمای ۲۰۰۰ که دمای سوختن مواد فرار (رزین فنولیک) است، در دمای ۲۰۰۰۵ به مدت ۱ ساعت سینتر شدند. سرعت افزایش دما ۱۰ سانتیگراد بر دقیقه در نظر گرفته شد. سه نمونه به این روش تولید شد. چگالی کلی نمونههای کامپوزیتی ساخته شده و درصد تخلخل ظاهری مطابق با استاندارد ASTMB311 به روش غوطه وری اندازه گیری شد. استحکام خمشی سه نمونه تولید شده در دمای ۲۵°C (دمای اتاق) به روش سـه نقطـه ای مطـابق بـا اسـتاندارد ASTM C1161-02c انـدازه گیـری شـد. پـس از بارگذاری خمشی با نرخ mm/min ۲ در دستگاه سنجش استحکام مکانیکی شرکت Zwick و شکست نمونه ها، از سطح شکست بررسي ميكروساختاري با ميكروسكوپ الكتروني روبشي TESCAN مدل VEGA3 به عمل آمد.

برای سنجش میزان مقاومت به فرسایش نمونه از آزمون شعله اکسی استیلن با دمای C° ۳۰۰۰ در مرکز شعله استفاده شد. نمونهها به مدت ۶۰ ثانیه در برابر شعله قرار گرفتند. سپس از نمونهها مقطع زده شد تا بررسی میکروساختاری شوند. تغییر ابعاد نمونهها با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه گیری شد.

محاسبه اندازه دانه به روش تداخل خطی [۱۴] با استفاده از نرمافزار Anix صورت گرفت.

۳- نتایج و بحث

الگوی پراش اشعه ایکس پودر کامپوزیتی سنتز شده در شکل ۱ قابل مشاهده است. مقادیر کمی فازهای محصول از جمله ZrC، SiC و ZrB2 با استفاده از نرمافزار Maud به ترتیب ۶۵، ۲۸ و ۵ درصد وزنی به دست آمد. محصول دارای توزیعی همگنی از مخلوط ذرات پودری بسیار ریز است (شکل ۲). متوسط اندازه ذرههای SiC ر ZrB و ZrB به ترتیب ۴۲۰، ۳۸۰ و ۳۲۰ نانومتر اندازه گیری شد.

 $2ZrSiO_4 + 2H_3BO_3 + 14C \rightarrow 3H_2O_{(g)} + ZrC + 2SiC + ZrB_2 + 11CO(g) \quad \Delta G^0_{1500C} = 482KJ$ (V

۳–۱– محاسبه چگالی

چگالی میانگین برای سه نمونه تولید شده ۳۳/۵۳ و ۵/۰۳ محاسبه شد. مطابق با کار بسیار از محققان [۲ و ۱۸] که به چگالی حدودا ۲ gr/cm³ به روشهای PIP، IS، IS، و CVI چگالی نمونههای تولید شده بیشتر بوده و نمونه از تراکم مناسبی برخوردار است. این مطلب نشان میدهد که بدون استفاده از چرخههای پی در پی تلقیح و عملیات حرارتی که در روشهایی مانند PIP برای تولید این نوع سرامیکها استفاده می شود و افت استحکام نمونه در نتیجه تخریب الیاف کربنی اتفاق می افتد، می توان به تراکم مناسب رسید. با استفاده از قانون مخلوطها، چگالی تئوری کامپوزیت مقدار ۵/۷۷gr/cm محاسبه شد. لذا کامپوزیت به صورت نسبی حدودا ۸۲٪ به تراکم رسیده است.

¹ Pre-pregnated





شکل ۱- تصویر الکترون برگشتی از پودر سنتز شده

۲-۳- بررسی استحکام

در شکل ۳ نیرو بر حسب فاصله طی شده توسط اهرم اعمال بار در مورد سه نمونه کامپوزیتی A، B و C آورده شـده اسـت. طبـق شكل قابل مشاهده است كه افت استحكام در هر سه نمونه به يكباره اتفاق نيفتاده و شكست از نوع ترد نبوده است.



شکل ۳- نمودار نیرو بر حسب فاصله برای سه نمونه کامپوزیت تولید شده در آزمون استحکام خمشی

استحکام خمشی به طور میانگین ۳۰۳ مگاپاسکال به دست آمد. در مقایسه با کار سایر محققان به طور مثال لیو و همکارانش [۱۷] که طبق جدول ۱ برای کامپوزیت C/C-ZrC-SiC تولید شده با روش PIP با ۱۱ چرخه پیرولیز در دمای C°۱۵۰۰ به میانگین ۱۲۱MPa دست یافتند، نتیجهای مطلوب و قابل مقایسه است. احتمالا استفاده از مقادیر بیشتر ZrC نسبت به بخش کربنی و بیشتر بودن دانسیته قطعات، سبب بالا رفتن استحکام نمونههای تولید شده در پژوهش حاضر شده است.



شکل ۴- سطح شکست کامپوزیت پس از بارگذاری خمشی

فصلنامه

س امید ک

ايران شماره ٦٢ تابستان ٩٩

¹ Liu

11

مقالات يژوهشر

مشاهده شد که با اعمال بارگذاری خمشی بر روی نمونه کامپوزیتی، شکست ناگهانی اتفاق نیفتاد و نمونه خم شد. الیاف کربنی از کامپوزیت جدا شده و مطابق شکل از زمینه کامپوزیت گسیخته^۱ شد. بخش سرامیکی بین لایههای کربنی اما ترد بوده و شکسته است. همچنان که در شکل ۲ قابل مشاهده است، لایه سرامیکی ترک خورده است.

۳-۳- بررسی مقاومت به اکسیداسیون

در شکل (۳– ب) سطح مقطع نمونه کامپوزیتی فرسایش یافته با شعله اکسی استیلن به مدت ۶۰ ثانیه و لایههای کربنی در بین زمینه سرامیکی قابل مشاهده است. تخریب و ترکی در نمونه دیده نمیشود و از تراکم مناسب و پیوستگی برخوردار است.



شکل ۵- سطح مقطع ناحیه فرسایش یافته کامپوزیت الف: تصویر سمت راست بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر، ب: سمت چپ بزرگنمایی ۵۶ برابر.

مطابق شکل (۵–الف)، دانههای پودر سرامیکی در میان بخشهای کربنی (پارچه و کربن باقی مانده از رزین) با توزیعی همگن قابل مشاهده هستند. مشاهده می شود که زمینه سرامیکی و لایههای کربنی در تماس مناسب با یکدیگر قرار دارند. با استفاده از نرم افزار Anix اندازه دانه فازهای موجود در شکل ۵ محاسبه شد و مشاهده شد که رشد محسوسی در اندازه دانههای TrB2، ZrC و SiC رخ نداده است. کاربید زیرکنیوم در بالاتر از ۲۰٬۳۵۰ ، زیرکنیوم بوراید بالاتر از ۲۰٬۳۰۰ و کاربید سیلیسیوم در بالاتر از ۲۰٬۰۰۲ ذوب می شوند. دمای زینتر قطعه باید در حدود ۲/۰ الی ۸/۰ دمای ذوب نمونه باشد و دمای زینتر در این پژوهش تنها ۲۰۰۰۲ بوده است لذا رشد محسوسی در اندازه دانه مشاهده نشد اما به وضوح استحکام خمشی نسبت به قطعه خام افزایش پیدا کرد به طوری که عدد استحکام بیشتر از کامپوزیتهای C/C-UHTCC مشابه [۲۰۳۰ و ۲۲۰۰۶] است که به دانسیته حدوداً ۲g/cm دست یافته بودند. دانسیته به دلیل بیشتر بودن درصد وزنی پودر کامپوزیتی (۹۰٪) نسبت به پارچه کربنی (۱۰٪) نسبت به بی بی مراد است و لذا نمونه است دانسیته به دلیل بیشتر بودن درصد وزنی پودر کامپوزیتی (۹۰٪) نسبت به پارچه کربنی (۱۰٪) نسبت به به بی در است و لذا نمونه است و لذا نمونه است کام بیشتری نیز خواهد داشت.



شکل ۶– تصویر الکترون برگشتی از سطح کامپوزیت فرسایش یافته در برابر شعله اکسی استیلن

17

الات پژوهشی

¹ Pull out

در شکل ۶ تصویر سطح کامپوزیت در معرض شعله دیده می شود. در بخش هایی از سطح (بـه طـور مثـال بـالای تـصویر سـمت راست) تخریب رخ داده است و ترکهایی در سطح قابل مشاهده است. نرخ فرسایش خطی و جرمی نمونـههـا در جـدول ۱ ذکـر شده است.

С	В	Α	نمونه
1/17	١/٢١	١/٧٢	نرخ فرسایش خطی (^{۳۰} -۰۱*) mm/s
۲/۳۳	۲/۵۵	٣/١۶	نرخ فرسایش جرمی (^{۴-} ۱۰*) g/s

جدول ۱-خواص فرسایشی نمونههای C/C-ZrC-ZrB₂-SiC

میانگین نرخ فرسایش خطی برای سه نمونه ۱/۳۵µm/s است که نسبت به کار سایر محققان نتیجهای مطلوب است. ژی و همکارانش [۲] برای کامپوزیت C/C-ZrC-SiC تولید شده به روش PIP به نرخ سایش خطی ۲/۴۸µm/s رسیدند. آنها دریافته بودند که هر قدر میزان ZrC موجود در بدنه بیشتر باشد نرخ سایش خطی بهتر خواهد بود لذا میتوان بهبود در نرخ فرسایش خطی در پژوهش حاضر را به بیشتر بودن مقدار ZrC در نمونه نسبت به نمونههای تولید شده توسط ایشان نسبت داد.

میانگین نرخ فرسایش جرمی نمونههای کامپوزیتی تولید شده ۰/۲۶۸ mg/s اندازه گیری شد. در مورد نرخ فرسایش جرمی محققان یاد شده به عدد ۲/۵۵– دست یافتند. علامت منفی نشان از افزایش وزن در حین فرآیند فرسایش با شعله اکسی استیلن دارد؛ زیرا به طور مثال با تبدیل ZrC به ZrO₂ طبعاً شاهد افزایش وزن خواهند بود. 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. همچنین نرخ فرسایش جرمی کمتری نسبت به نمونههای C/C و CSC و ۲] مشاهده شد که احتمالا خواص به دلیل وجود ZrC و ZrL فرسایش جرمی کمتری نسبت به نمونههای C/C و CSC از و ۷] مشاهده شد که احتمالا خواص به دلیل وجود ZrL و ZrB بهتر شده است. ژائو [۷] و همکارانش نیز به عددی مثبت برای نرخ فرسایش جرمی کامپوزیت C/ZrC دست پیدا کردند زیرا علی غم تشکیل لایه اکسیدی بر روی سطح و افزایش وزن، با افزایش زمان فرآیند، لایه از روی سطح بلند می شود و نرخ فرسایش خطی عددی مثبت می شود. خواص فرسایشی نمونههای تولید شده نسبت به نمونه ایروی سطح بلند می شود و نرخ و همکارانش [۱۷] که به مدت ۶۰ ثانیه نمونهها را مورد فرسایش قرار دادند نیز بهتر است که احتمالاً بیانگر تاثیر بالای و همکارانش زیار ایرانی در می کامپوزیت C/C-Sic تولید شده توسط لیو فرسایش خطی عددی مثبت می شود. خواص فرسایشی نمونههای تولید شده نسبت به نمونه [۱۷] که به مدت ۲۶ تولید شده توسط لیو و همکارانش زیار ایرا که به مدت ۶۰ ثانیه نمونهها را مورد فرسایش قرار دادند نیز بهتر است که احتمالاً بیانگر تاثیر بالای کاری افزایش خواص مقاومت به اکسیداسیون می باشد.

۴- نتیجه گیری

کامپوزیت ZrC-SiC-ZrB2 تقویت شده با الیاف کربنی به روش پاشش مخلوط پودر سرامیکی و خرده الیاف کربنی بر لایههای پارچه کربنی و سپس پرس و سینتر مجموعه با موفقیت تولید شد. زمینه سرامیکی به تراکم مناسب رسید و نمونههای تولید شده به این روش دارای میانگین استحکام (۳۰۳MP) و دانسیته (۵/۰۳gr/cm³) بیشتری نسبت به کامپوزیتهای مشابه تولید شده به روشهای دیگر بود. میانگین نرخ فرسایش جرمی نمونههای کامپوزیتی تولید شده mg/s و نرخ فرسایش خطی برای سه نمونه ۱/۳۵µm/s اندازه گیری شد. قابلیت این روش برای استحصال تراکم بالاتر و کاهش تخلخلها منجر به بهبود خواص شده است. همچنین در این روش به دلیل عدم وجود چرخههای متمادی پیرولیز یا اشباع با مذاب آلیاژی، تخریب الیاف کربن رخ نداد.

مراجع

- [1] Wuchina, E., et al. "UHTCs: ultra-high temperature ceramic materials for extreme environment applications." The Electrochemical Society Interface 16.4 (2007): 30.
- [2] 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.
- [3] Guo, Shu-Qi, et al. "Mechanical and physical behavior of spark plasma sintered ZrC–ZrB2–SiC composites." Journal of the European Ceramic Society 28.6 (2008): 1279-1285.
- [4] Li, Ke-zhi, et al. "Effects of porous C/C density on the densification behavior and ablation property of C/C– ZrC–SiC composites." Carbon 57 (2013): 161-168.
- [5] Kubota, Yuki, et al. "Oxidation behavior of ZrB2-SiC-ZrC at 1700° C." Journal of the European Ceramic Society 37.4 (2017): 1187-1194.

مقالات

فصلنامه

1

٩

ايران شماره ٦٢ تابستان

5

17

- Zhang, Changrui, et al. "Mechanism of ablation of 3D C/ZrC–SiC composite under an oxyacetylene flame." Corrosion Science 68 (2013): 168-175.
- [7] Zhao, Dan, et al. "Ablation behavior and mechanism of 3D C/ZrC composite in oxyacetylene torch environment." Composites Science and Technology 71.11 (2011): 1392-1396.
- [8] Tong, Yonggang, et al. "Thermal shock resistance of continuous carbon fiber reinforced ZrC based ultrahigh temperature ceramic composites prepared via Zr-Si alloyed melt infiltration." Materials Science and Engineering: A 735 (2018): 166-172.
- [9] Xu, Yongdong, et al. "Mechanical properties of 3D fiber reinforced C/SiC composites." Materials Science and Engineering: A 300.1-2 (2001): 196-202.
- [10] Levine, Stanley R., et al. "Characterization of an ultra-high temperature ceramic composite." NASA TM (2004).
- [11] Tong, Qingfeng, et al. "Resistance to ablation of pitch-derived ZrC/C composites." Carbon 42.12-13 (2004): 2495-2500.
- [12] Wang, Yiguang, et al. "C/C–SiC–ZrC composites fabricated by reactive melt infiltration with Si0. 87Zr0. 13 alloy." Ceramics international 38.5 (2012): 4337-4343.
- [13] Wang, Dengke, et al. "Effect of pyrolytic carbon interface on the properties of 3D C/ZrC–SiC composites fabricated by reactive melt infiltration." Ceramics International 42.8 (2016): 10272-10278.
- [14] Kochendörfer, R. "Low cost processing for C/C-SiC composites by means of liquid silicon infiltration." Key Engineering Materials. Vol. 164. Trans Tech Publications, 1999.
- [15] Adibpur, Farhad, et al. "Spark plasma sintering of quadruplet ZrB2–SiC–ZrC–Cf composites." Ceramics International 46.1 (2020): 156-164.
- [16] Zhang, Liangrun, et al. "3D Cf/ZrC–SiC composites fabricated with ZrC nanoparticles and ZrSi2 alloy." Ceramics International 40.8 (2014): 11795-11801.
- [17] Liu, Yue, et al. "Erosion resistance of C/C-SiC-ZrB2 composites exposed to oxyacetylene torch." Journal of the European Ceramic Society 36.15 (2016): 3815-3821.
- [18] Qu, Qiang, et al. "In situ synthesis mechanism and characterization of ZrB2–ZrC–SiC ultra high-temperature ceramics." Materials Chemistry and Physics 110.2-3 (2008): 216-221.

[6]

فصلنامه

س امید ک

ايران شماره ٦٢ تابستان

5