

ساخت و بررسی ریزساختاری سرامیک های پایه TiB_2 با افزودنی های SiC و Si_3N_4 محمد دشتی گرمی¹، زهرا حمیدزاده محاسنی¹، زهره احمدی²، مهدی شاهدی اصل^{3*}

1- دانش‌آموخته کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

2- دانشجوی دکتری، مهندسی مواد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

3- استادیار، مهندسی مواد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

* اردبیل، صندوق پستی 179، shahedi@uma.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 30 آبان 1397

پذیرش: 16 اسفند 1397

ارائه در سایت: مهر 1398

کلیدواژگان:

تفجوشی

دی‌بورید تیتانیوم

کاربید سیلیسیم

نیتريد سیلیسیم

ریزساختار

در این پژوهش، چهار نمونه سرامیکی فوق دما بالای پایه دی‌بورید تیتانیوم یعنی نمونه‌های بدون افزودنی، دارای نیتريد سیلیسیم (5 درصد وزنی)، دارای کاربید سیلیسیم (20 درصد حجمی) و دارای هر دو افزودنی نیتريد و کاربید سیلیسیم به روش تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS) در دمای 1900 درجه سانتی‌گراد به مدت 7 دقیقه با فشار 40 مگاپاسکال ساخته شد. ریزساختار کامپوزیت‌های پایه TiB_2 به خاطر افزودن SiC و Si_3N_4 تحت تأثیر قرار گرفت و چگالی نسبی و قابلیت تفجوشی نمونه‌ها بهبود قابل توجهی پیدا کرد. از آنالیزهای فاز (XRD)، میکروسکوپی (SEM) و شیمیایی (EDS) و همچنین آزمون چگالی‌سنجی برای مشخصه‌یابی استفاده شد. طبق این آنالیزها فازهای TiN ، SiO_2 و نانو ورقه BN در نمونه‌های $TiB_2-SiC-Si_3N_4$ و $TiB_2-Si_3N_4$ به خاطر واکنش شیمیایی SiC و Si_3N_4 با ناخالصی‌های اکسیدی سطح ذرات TiB_2 (TiO_2 و B_2O_3) تشکیل یافت. زدودن لایه‌های اکسیدی مضر و تشکیل فازهای ثانویه مختلف سبب جلوگیری از رشد دانه‌های زمینه TiB_2 و همچنین تکامل ریزساختاری و فازی سرامیک‌های پایه TiB_2 شد. افزون بر این، قابلیت تفجوشی پذیری با ساز و کار تفجوشی فاز مایع در نتیجه تشکیل فاز مایع SiO_2 به هنگام فرآیند تفجوشی افزایش پیدا کرد.

Fabrication and microstructural study of TiB_2 -based ceramics with SiC and Si_3N_4 additives

Mohammad Dashti Geremi, Zahra Hamidzadeh Mahaseni, Zohre Ahmadi, Mehdi Shahedi Asl*

Department of Mechanical Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

* P.O.B. 179 Ardabil, Iran, shahedi@uma.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 21 November 2018
Accepted 7 March 2019
Available September 2019

Keywords:

Sintering
 TiB_2
 SiC
 Si_3N_4
Microstructure

Abstract

In this research, four titanium diboride based ultra-high temperature ceramics: monolithic TiB_2 (additive free), TiB_2 -5 wt% Si_3N_4 , TiB_2 -20 vol% SiC and TiB_2 -20 vol% SiC -5 wt% Si_3N_4 samples were fabricated by spark plasma sintering process at 1900 °C for 7 min under 40 MPa. The microstructures of TiB_2 -based composites were affected by the introduction of SiC and Si_3N_4 additives as the relative densities and sinterability of the samples significantly improved. The XRD, SEM and EDS analyses as well as density measurements were employed as the characterization methods. Based on these analyses, the in-situ formation of TiN , SiO_2 and BN nano-platelets in the $TiB_2-Si_3N_4$ and $TiB_2-SiC-Si_3N_4$ samples, due to the chemical reaction of SiC and Si_3N_4 with the surface oxide impurities of TiB_2 particles (TiO_2 and B_2O_3) was verified. The elimination of such harmful oxide films and the in-situ formation of several secondary phases led to the prevention of fanatic grain growth of TiB_2 matrix and microstructural development and phase evolution of TiB_2 -based ceramics. In addition, the sinterability of samples increased via liquid phase sintering mechanism as a result of formation of molten SiO_2 during the sintering process.

1- مقدمه

ویژگی‌های قابل توجه، کاربردهایی مانند استفاده به عنوان ابزارهای برش، زره‌های نظامی، اجزای مقاوم در برابر خوردگی و سایش پیدا کرده است. افزون بر این، دمای تفجوشی بالا و فشار بیرونی فوق بالا برای ساخت TiB_2 خالص مورد نیاز است. از آنجایی که دمای تفجوشی بالا سبب رشد دانه‌ها و افت خواص مکانیکی آن می‌شود، پژوهشگران برای بهبود خواص مکانیکی و

دی‌بورید تیتانیوم (TiB_2) از گروه سرامیک‌های فوق دما بالا محسوب می‌شود که دارای ویژگی‌های شگفت‌انگیز مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی است. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به سختی زیاد، رسانش الکتریکی و گرمایی بالا، مقاومت پوششی و دمایی مناسب و مدول کشسان بالا اشاره کرد. به سبب این

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. Dashti Geremi, Z. Hamidzadeh Mahaseni, Z. Ahmadi, M. Shahedi Asl, Fabrication and microstructural study of TiB_2 -based ceramics with SiC and Si_3N_4 additives, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 6, No. 5, pp. 13-17, 2019 (in Persian)

دی‌بورید تیتانیم زمینه تخمین زده شد. به علاوه از پردازش تصویری برای به دست آوردن چگالی نسبی دقیق تر نمونه‌ها استفاده شد.

4- ارائه نتایج و بحث

شکل‌های 1 و 2 به ترتیب تصاویر (SEM) سطوح پرداخت شده و سطوح شکست سرامیک‌های TiB_2 خالص و TiB_2-SiC و کامپوزیت‌های $TiB_2-Si_3N_4$ و $TiB_2-SiC-Si_3N_4$ را نشان می‌دهد. نمونه TiB_2 دارای چگالی نسبی $96/7$ درصد و 3 درصد تخلخل است که تخلخل‌ها توسط پیکان سیاه نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نواحی تیره رنگ دیگر که با پیکان سفید مشخص شده‌اند، حفره نیستند بلکه دانه‌های کنده شده از سطح پرداخت کاری شده هستند. مناطق تیره در شکل 1 (ب تا ت) متعلق به فازهای ثانویه‌ای هستند که در مرز دانه‌ها هنگام فرآیند (SPS) تشکیل شده‌اند. با افزودن SiC و Si_3N_4 به تنهایی و همزمان در هر سه نمونه مشاهده می‌شود که چگالی نسبی کامپوزیت‌ها طبق نمودار 1 بهبود یافته است.

در سرامیک $TiB_2-Si_3N_4$ و کامپوزیت TiB_2-SiC افزودن SiC و Si_3N_4 سبب جلوگیری از رشد دانه‌ها شد. همچنین در کامپوزیت $TiB_2-SiC-Si_3N_4$ اضافه کردن 5 درصد وزنی Si_3N_4 تأثیرات قابل توجهی در بهبود فرآیند چگالش ایجاد نکرد ولی به دلیل فازهای تشکیل شده به خاطر وجود Si_3N_4 رشد دانه‌ها متوقف گردید.

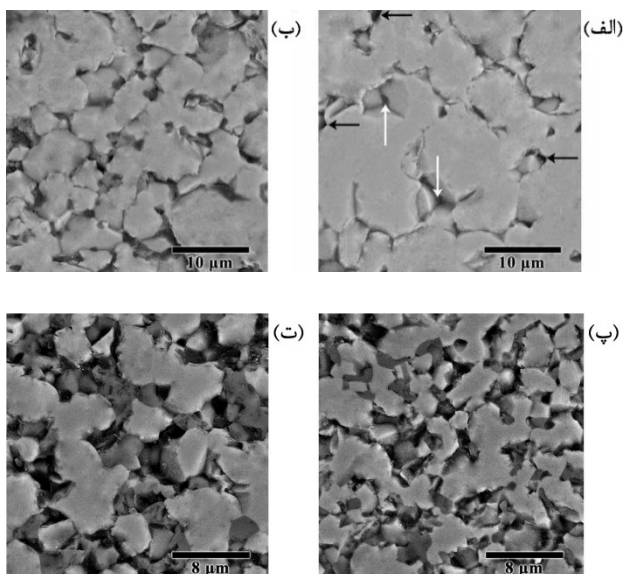


Fig. 1 SEM images of polished surfaces of (a) monolithic TiB_2 , (b) $TiB_2-Si_3N_4$, (c) TiB_2-SiC and (d) $TiB_2-SiC-Si_3N_4$

شکل 1 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطوح پرداخت کاری شده: (الف) TiB_2 خالص، (ب) $TiB_2-Si_3N_4$ ، (پ) TiB_2-SiC و (ت) $TiB_2-SiC-Si_3N_4$

قابلیت تفجوشی، افزودنی‌های فلزی و غیر فلزی را بررسی کرده‌اند [1-3].

2- بیان مسئله، نوآوری و ذکر اهداف

کاربرد سیلیسیم (SiC) به دلیل داشتن خواص خوبی چون پایداری شیمیایی، مقاومت به اکسایش عالی و سختی در دمای بالا، افزودنی پرکاربردی به شمار می‌آید. افزودن کاربید سیلیسیم می‌تواند سبب بهبود قابلیت تفجوشی و خواص مکانیکی و همچنین کاهش رشد دانه‌ها گردد. در مطالعات گذشته تأثیر نیتريد سیلیسیم (Si_3N_4) بر روی خواص و ریزساختار دی‌بورید تیتانیم طبق روش پرس گرم (HP)¹ (در دمای 1800 درجه سانتی‌گراد طی یک ساعت) مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین ترتیب با اضافه کردن $2/5$ درصد وزنی نیتريد سیلیسیم قابلیت تفجوشی دی‌بورید تیتانیم و چگالی آن افزایش پیدا کرده است [4].

در این مطالعه، تأثیر کاربرد سیلیسیم (SiC) و نیتريد سیلیسیم (Si_3N_4) به عنوان افزودنی بر روی دی‌بورید تیتانیم به روش تفجوشی پلاسمای جرقه‌ای (SPS)² بصورت همزمان و جداگانه بررسی شد. سرامیک پایه دی‌بورید تیتانیم با 20 درصد حجمی کاربرد سیلیسیم به عنوان فاز تقویت کننده و به روش SPS در دمای 1900 درجه سانتی‌گراد در 7 دقیقه با فشار 40 مگاپاسکال تفجوشی شد. همچنین برای ارزیابی تأثیر افزودنی‌ها، نیتريد سیلیسیم (با 5 درصد وزنی زمینه دی‌بورید تیتانیم) به کامپوزیت سرامیکی فوق (20 درصد حجمی TiB_2-SiC) افزوده شد.

3- روش تحقیق

پودر TiB_2 به همراه 20 درصد حجمی SiC و 5 درصد وزنی Si_3N_4 توزین شده و در اتانول مخلوط می‌شود و سپس به مدت نیم ساعت به منظور پراکنده شدن، درون حمام فراصوتی قرار می‌گیرد. پودرهای آماده شده در داخل قالب گرافیتی ریخته شده و سرانجام قالب درون دستگاه کوره SPS قرار داده می‌شود تا پودرها تفجوشی شوند.

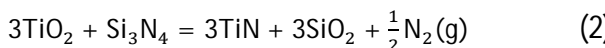
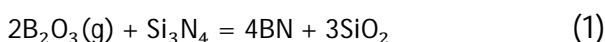
چگالی نسبی نمونه‌های تفجوشی شده بر پایه قانون ارشمیدس و همچنین چگالی نظری طبق قانون مخلوط‌ها محاسبه شد. سطح شکست و پرداخت کاری شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)³ مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصویر (ImageJ)، اندازه دانه

¹ Hot Pressing

² Spark Plasma Sintering

³ Scanning Electron Microscopy

با افزایش مقدار TiN کاهش پیدا می کند [8].



شکل 4- الف تصویر SEM ناحیه نیتريد تشکیل شده (تیره رنگ) را در سرامیک $TiB_2-Si_3N_4$ نشان می دهد که غنی از عناصر تیتانیوم، بور و اکسیژن است (شکل 4- ب).

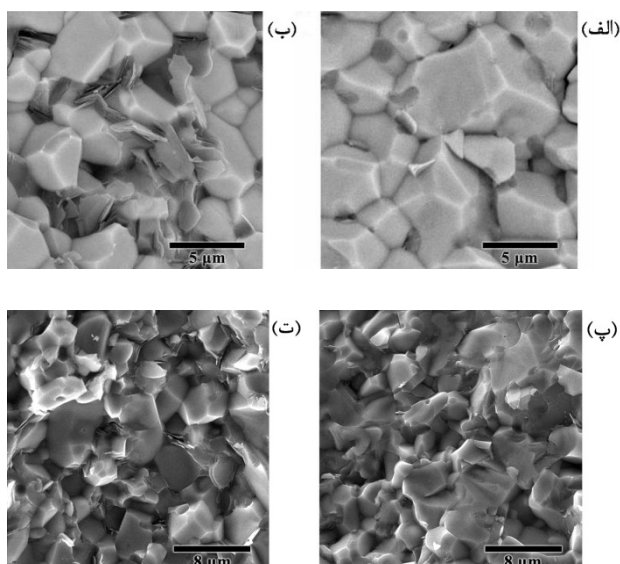


Fig. 2 SEM fractographs of (a) monolithic TiB_2 , (b) $TiB_2-Si_3N_4$, (c) TiB_2-SiC and (d) $TiB_2-SiC-Si_3N_4$

شکل 2 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطوح شکست: (الف) TiB_2 خالص، (ب) $TiB_2-Si_3N_4$ ، (پ) TiB_2-SiC و (ت) $TiB_2-SiC-Si_3N_4$

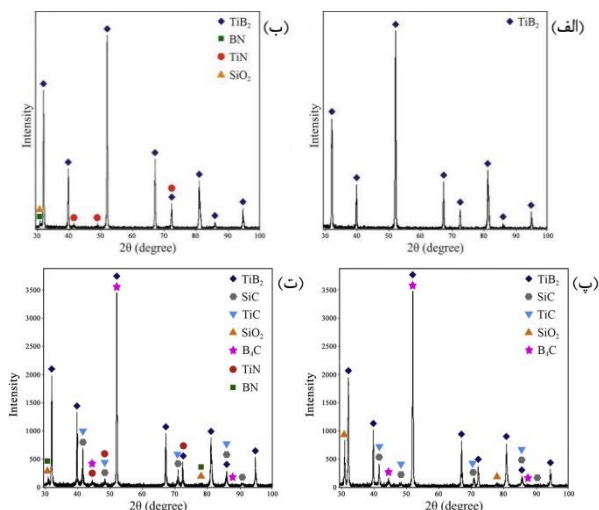


Fig. 3 XRD patterns of (a) monolithic TiB_2 , (b) $TiB_2-Si_3N_4$, (c) TiB_2-SiC and (d) $TiB_2-SiC-Si_3N_4$

شکل 3 الگوهای XRD نمونه های (الف) TiB_2 خالص، (ب) $TiB_2-Si_3N_4$ ، (پ) TiB_2-SiC ، (ت) $TiB_2-SiC-Si_3N_4$

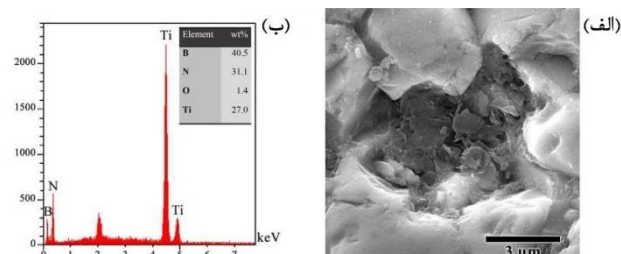


Fig. 4 (a) SEM image of $TiB_2-Si_3N_4$ ceramic showing the formation of TiN and BN surrounded by TiB_2 matrix and (b) EDS analysis of nitride compounds

شکل 4 (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سرامیک $TiB_2-Si_3N_4$ (نشان دهنده تشکیل TiN و BN که توسط زمینه TiB_2 احاطه شده اند) و (ب) آنالیز ترکیبات نیتريدی

2-4- بررسی کامپوزیت TiB_2-SiC

در مطالعه ای در مورد سرامیک ZrB_2 ، با افزودن 20 درصد حجمی SiC ، چگالی ZrB_2-SiC در مقایسه با نمونه خالص آن، اندکی بهبود یافته و به 93 درصد رسید [9].

ذرات در نمونه تفجوشی شده TiB_2-SiC کاملاً به هم متصل شده اند که نشان از قابلیت تفجوشی عالی در اثر افزودن SiC می باشد. همچنین حضور SiC و فازهای ثانویه تشکیل شده،

4-1- بررسی کامپوزیت $TiB_2-Si_3N_4$

پژوهشگران بسیاری نقش افزودنی های نیتريدی را بر روی مواد دی بوریدی (مثل ZrB_2 ، TiB_2 و ...) مطالعه کرده اند. گزارش شده است که با افزودن 5 درصد وزنی AlN به TiB_2 خالص به روش پرس گرم در دمای 1800 درجه سانتی گراد طی 60 دقیقه و فشار 30 مگاپاسکال چگالی نسبی 98 درصد به دست آمده است [5]. همچنین در نتیجه افزودن AlN به ZrB_2 ، به دلیل تشکیل فازهای کریستالی، حفره های بین ذرات پر گردید و چگالی بهبود یافت [6]. $SiAlON$ نیز به عنوان یک افزودنی اکسی نیتريدی، منجر به تولید سرامیک ZrB_2-SiC کاملاً چگال گردید [7].

آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) شکل 3 نشان داد که SiO_2 از واکنش Si_3N_4 با B_2O_3 و TiO_2 تشکیل می شود. همچنین ترکیبات نیتريدی TiN و BN نیز با توجه به واکنش Si_3N_4 با لایه های اکسیدی سطح TiB_2 (TiO_2 و B_2O_3) طبق واکنش (1) و (2) و یا به وسیله واکنش مستقیم TiB_2 با گاز N_2 (واکنش 3) به عنوان یک محصول جانبی از معادله تولید می گردد.

Si_3N_4 نه تنها سبب کاهش رشد دانه زمینه TiB_2 با استفاده از زدودن ناخالصی های اکسیدی از سطح ذرات TiB_2 می شود، بلکه به شکل گیری ترکیبات نیتريدی TiN و BN نیز منجر می شود که به عنوان مهار کننده رشد دانه ها عمل می کنند. در یک پژوهش دیگر، تأثیر TiN روی ریز ساختار سرامیک های پایه TiB_2 به روش پرس گرم بررسی و نشان داده شد که اندازه دانه

¹ X-Ray Diffraction

پودرهای TiB_2 ، همچنین Si_3N_4 نیز این امکان را دارد که با B_2O_3 و TiO_2 وارد واکنش شود [11]. طبق واکنش های (1) و (2)، واکنش شیمیایی Si_3N_4 با هر دو فیلم اکسیدی منجر به تشکیل SiO_2 می شود. همچنین TiN و BN در واکنش با Si_3N_4 با TiO_2 (واکنش 1) و B_2O_3 (واکنش 2) تشکیل می شود. آنجایی که هیچ یک از پیک های Si_3N_4 در شکل 3 یافت نشد به نظر می رسد که این افزودنی به طور کامل در فرآیند ساخت مصرف شده است در حالی که در روش پرس گرم طبق آنالیز XRD اندکی از افزودنی Si_3N_4 مشاهده شد [4]. آنالیز XRD نشان می دهد که چندین ترکیب سرامیکی طی تفجوشی TiB_2 - SiC - Si_3N_4 (شامل TiN ، B_4C ، SiO_2 و TiC) تشکیل می شود. شکل 6 برای بررسی دقیق تر سطح پرداخت کاری شده کامپوزیت فوق و به منظور ارزیابی بهتر تکامل ریزساختاری و فازی آورده شده است.

آنالیز عنصری نشان داد که نقطه های A، B و C مشابه کامپوزیت TiB_2 - SiC بدون Si_3N_4 است. نقطه D نمایگر دیگر فازهای تشکیل شده به واسطه افزودن Si_3N_4 است که غنی از عناصر تیتانیوم، بور و نیتروژن بوده و ممکن است مربوط به TiN و BN باشد. همان طور که این منطقه توسط زمینه TiB_2 احاطه شده است، شکل گیری TiN و BN ممکن است به علت واکنش Si_3N_4 با ناخالصی های اکسیدی سطح TiB_2 طبق واکنش (1) و (2) باشد. غلظت بالای عناصر بور، کربن و نیتروژن در نقطه E این نقطه را مخلوطی از فازهای B_4C و BN پیشنهاد می دهد. شکل گیری موضعی B_4C و BN به ترتیب به دلیل واکنش B_2O_3 با SiC (واکنش 5) و Si_3N_4 (واکنش 1) رخ می دهد.

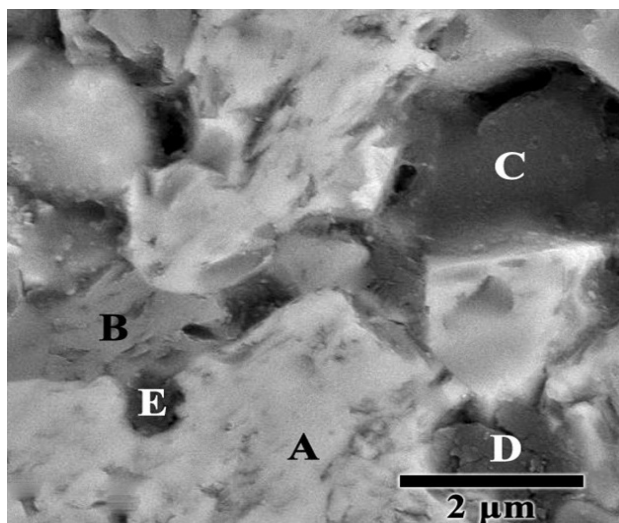


Fig. 6 Closer view of polished surface of TiB_2 - SiC - Si_3N_4 composite
شکل 6 نمای نزدیک از سطح پرداخت کاری شده کامپوزیت TiB_2 - SiC - Si_3N_4

مانع از رشد دانه ها شده است که عاملی مهم در دستیابی به کامپوزیت با ریزساختارهای مناسب به شمار می رود [10، 11].

طبق آنالیز XRD علاوه بر وجود SiC و TiB_2 ، پیک های TiC ، SiO_2 و B_4C به عنوان فازهای بلوری در کامپوزیت TiB_2 - SiC مشاهده شد که افزودن SiC منجر به ظهور SiO_2 و تشکیل TiC و B_4C به عنوان محصولات واکنش شد. اعتقاد بر این است که فیلم اکسیدی ضعیفی از TiO_2 و B_2O_3 روی ذرات TiB_2 تشکیل می شود که با افزودن SiC طبق واکنش (4) با TiO_2 واکنش می دهد و منجر به تشکیل TiC و SiO_2 می شود که آنالیز XRD نیز آن را تایید می کند (شکل 3).

B_2O_3 بخاطر خلا نسبی در دمای پایین تر از 1600 درجه سانتی گراد تبخیر می شود. تبخیر B_2O_3 با SiC واکنش داده (واکنش 5) و منجر به تشکیل B_4C و فازهای گازی می شود که تشکیل B_4C با نتایج XRD نیز همخوانی دارد. با بررسی سطح پرداخت کاری شده TiB_2 - SiC در تصویر الکترونی روبشی (SEM) سه فاز مجزا با رنگ های متفاوت (خاکستری روشن، خاکستری متوسط و خاکستری تیره) مشاهده می شود که طبق شکل 5، فاز خاکستری روشن (A) به عنوان TiB_2 زمینه، خاکستری متوسط (B) که غنی از سیلیسیم/کربن است، به عنوان ذره SiC و خاکستری تیره (C) متعلق به فاز TiC تشکیل شده است.

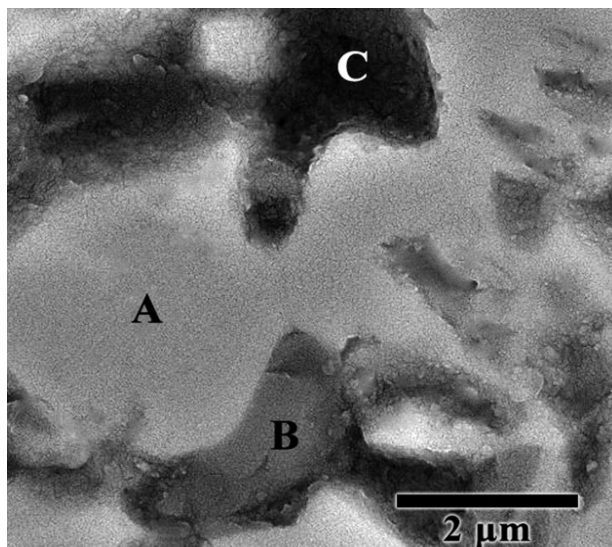
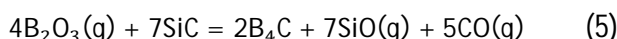


Fig. 5 Closer view of polished surface of TiB_2 - SiC composite
شکل 5 نمای نزدیک از سطح پرداخت کاری شده کامپوزیت TiB_2 - SiC

3-4- بررسی کامپوزیت TiB_2 - SiC - Si_3N_4

علاوه بر واکنش SiC با ناخالصی های اکسیدی موجود در سطح

- [3] M.S. Jensen, M.-A. Einarsrud, T. Grande, The effect of surface oxides during hot pressing of TiB_2 , *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 92, No. 3, pp. 623–630, March 2009.
- [4] J.-H. Park, Y.-H. Koh, H.-E. Kim, C. S. Hwang, and E. S. Kang, Densification and mechanical properties of titanium diboride with silicon nitride as a sintering aid, *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 82, No. 11, pp. 3037–3042, Dec. 2004.
- [5] L.-H. Li, H.-E. Kim, and E. Son Kang, Sintering and mechanical properties of titanium diboride with aluminum nitride as a sintering aid, *J. Eur. Ceram. Soc.*, Vol. 22, No. 6, pp. 973–977, Jun. 2002.
- [6] Z. Ahmadi, B. Nayebi, M. Shahedi Asl, and M. Ghassemi Kakroudi, Fractographical characterization of hot pressed and pressureless sintered AlN-doped ZrB_2 -SiC composites, *Mater. Charact.*, Vol. 110, pp. 77–85, Dec. 2015.
- [7] M. Shahedi Asl, B. Nayebi, Z. Ahmadi, P. Pirmohammadi, and M. Ghassemi Kakroudi, Fractographical characterization of hot pressed and pressureless sintered SiAlON-doped ZrB_2 -SiC composites, *Mater. Charact.*, Vol. 102, pp. 137–145, Apr. 2015.
- [8] M. Gu, C. Huang, B. Zou, and B. Liu, Effect of (Ni, Mo) and TiN on the microstructure and mechanical properties of TiB_2 ceramic tool materials, *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 433, No. 1–2, pp. 39–44, Oct. 2006.
- [9] I. Farahbakhsh, Z. Ahmadi, and M. Shahedi Asl, Densification, microstructure and mechanical properties of hot pressed ZrB_2 -SiC ceramic doped with nano-sized carbon black, *Ceram. Int.*, Vol. 43, No. 11, pp. 8411–8417, Aug. 2017.
- [10] M. Shahedi Asl, Z. Ahmadi, S. Parvizi, Z. Balak, and I. Farahbakhsh, Contribution of SiC particle size and spark plasma sintering conditions on grain growth and hardness of TiB_2 composites, *Ceram. Int.*, Vol. 43, No. 16, pp. 13924–13931, Nov. 2017.
- [11] M. Dashti Germi, Z. Hamidzadeh Mahaseni, Z. Ahmadi, and M. Shahedi Asl, Phase evolution during spark plasma sintering of novel Si_3N_4 -doped TiB_2 -SiC composite, *Mater. Charact.*, Vol. 145, pp. 225–232, Nov. 2018.
- [12] Z. Ahmadi, B. Nayebi, M. Shahedi Asl, M. Ghassemi Kakroudi, and I. Farahbakhsh, Sintering behavior of ZrB_2 -SiC composites doped with Si_3N_4 : A fractographical approach, *Ceram. Int.*, Vol. 43, No. 13, pp. 9699–9708, Sep. 2017.
- [13] Z. Hamidzadeh Mahaseni, M. Dashti Germi, Z. Ahmadi, and M. Shahedi Asl, Microstructural investigation of spark plasma sintered TiB_2 ceramics with Si_3N_4 addition, *Ceram. Int.*, Vol. 44, No. 11, pp. 13367–13372, Aug. 2018.

شکل 7 یک نانوگراف SEM با بزرگنمایی بالا از سطح شکست TiB_2 -SiC- Si_3N_4 را نشان می‌دهد. شکل‌گیری چندین نانو ورقه BN با ضخامت کمتر از 100 نانومتر به وضوح در شکل دیده می‌شود. این فازهای گرافن مانند، ناشی از رشد دوبعدی بلورهای هگزائگونال نیتريد بور هستند، همانند مشاهداتی که در سرامیک‌های پایه TiB_2 و ZrB_2 گزارش شده است [12، 13].

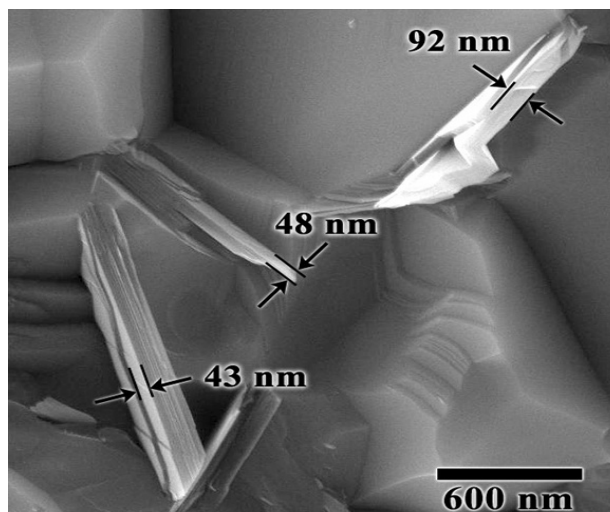


Fig. 7 SEM image showing the formation of BN nano-platelet in the TiB_2 -SiC- Si_3N_4 composite

شکل 7 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از تشکیل نانو ورقه BN در کامپوزیت TiB_2 -SiC- Si_3N_4

5- نتیجه‌گیری

تأثیر افزودن هم‌زمان Si_3N_4 و SiC بر روی ریزساختار و دگرگونی‌های فازی سرامیک‌های پایه TiB_2 به روش SPS مورد بررسی قرار گرفت. در هر سه نمونه (TiB_2 -SiC، TiB_2 - Si_3N_4 و TiB_2 -SiC- Si_3N_4) چگالی نسبی در مقایسه با سرامیک TiB_2 خالص بهبود یافت و قابلیت تفجوشی پذیری با سازوکار تفجوشی فاز مایع، در نتیجه تشکیل فاز مایع SiO_2 افزایش پیدا کرد. از بین بردن ناخالصی‌های اکسیدی سطح ذرات و تشکیل فازهای ثانویه مختلف، سبب تکامل ریزساختاری و فازی سرامیک‌های پایه TiB_2 شد.

6- مراجع

- [1] J. Castaing, P. Costa, Properties and uses of Diborides, in: Boron and Refractory Borides, Springer, Berlin, Heidelberg, 1977, pp. 390–412.
- [2] Z. Ahmadi, B. Nayebi, M. Shahedi Asl, I. Farahbakhsh, and Z. Balak, Densification improvement of spark plasma sintered TiB_2 -based composites with micron-, sub-micron- and nano-sized SiC particulates, *Ceram. Int.*, Vol. 44, No. 10, pp. 11431–11437, Jul. 2018.