

## تأثیر فعال سازی مکانیکی بر ریز ساختار سرمت TiB2-TiC- 15 wt % Ni سنتز شده به روش احتراقی

مهران شهبازی، سید علی طیبی فرد\*، منصور رضوی

پژوهشگاه مواد و انرژی

a\_tayebifard@yahoo.com

چکيده:	اطلاعات مقاله:
سنتز احتراقی به دلیل ویژه گیهای مطلوبی همچون نیاز به تجهیزات و هزینه کــم روش بــسیار کارآمـدی	دریافت: ۱۳۹۵/۶/۲۰
برای سنتز انواع مواد مهندسی میباشد. در این پژوهش تأثیر فعال سازی مکانیکی بر سنتز احتراقی سـرمت	پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۳۰
TiB2-TiC-Ni بصورت درجا حاوی % ۱۵ wt نیکل بررسی شد. بدین منظور مواد اولیه به مدت ۳ سـاعت	
توسط آسیای ماهوارهای تحت انتمسفر آرگون فعال سازی شدند. سپس پودرهای فعال شده به شکل قـرص	کلید واژه:
پرس سدید. فرایید سیبر درون خوره نیوبی و تخت جزیان کار ارجون در دمای ۲۰۰۰ انجام سـد. سایج الگوی براش اشعه ایکس نشان داد که فعال سانی مکانیک منجر به سنت محصدار جامی نانه با مرک ه ا	سينتز احتراقي، فعيال سيازي
شدو المحرف پردش الله با به من مسل الله و محال المراف المولي من من من به من من شده است. اندازه بلورکهای TiB2 و TiB محاسبه شده به روش ریتولد برای نمونه فعال شده به ترتیب ۶۸	مكانيكى، نــانو ســرمت، كامپوزيـت
و ۳۰ nm به دست آمد. همچنین تصاویر SEM سطح شکست نمونه پس از سنتز نشان داد که فعال سازی	TiB <sub>2</sub> -TiC، /فزودنی Ni
مکانیکی موجب ریز تر و یکنواخت تر شدن ریزساختار محصول شده است.	

۱– مقدمه

دی بورید تیتانیوم و کاربید تیتانیوم دارای خواص خوبی همچون نقطه ذوب بالا(به ترتیب ۳۲۲۵ و C<sup>o</sup> ۳۰۶۷)، سختی بالا (به ترتیب ۲۸ و GPa ۲۷) و مقاومت خوب در مقابل اکسید شدن و خوردگی میباشند. به واسطه همین خواص خوب کامپوزیتهای بوراید – کاربید گزینه مناسبی برای کاربرد در دماهای بالا و شرایط سخت کاری میباشند[۱]. چقرمگی و مقاومت به سایش کامپوزیتهای

TiB<sub>2</sub>-TiC نسبت به TiB<sub>2</sub> و TiC تک فاز بهتر میباشد و موجب جذابیت آنها برای استفاده به عنوان ابزار برشی، ابزار سایشی و پوششهای مقاوم به خوردگی می شود[۲،۳]. افزودن جزء فلزی به کامپوزیت (سرمت) موجب بهبود چقرمگی کامپوزیت خواهد شد. در سرمتها عموماً از اجزای فلزی همچون کامپوزیت خواهد شد. در سرمتها عموماً از اجزای فلزی همچون Cr ،Fe ،Ni و Co استفاده می شود. استفاده از نیکل در کنار TiB<sub>2</sub> و TiC به دلیل زاویه تر کنندگی کـم در C<sup>o</sup> ۱۴۵۰ رایج میباشد. به علاوه نیکل در مقایسه با دیگر اجزاء فلزی موجب بهبود مقاومت به سایش کامپوزیت



نیز خواهد شد [۴]. تحقیقات زیادی بر روی کامپوزیتهای TiB<sub>2</sub>-TiC توسط دیگر محققین انجام شده است [۱۰–۵]. در میان روشهای سنتز سرمتهای TiB<sub>2</sub>-TiC-Ni روش سنتز احتراقی (SHS) به دلیل اقتصادی بودن، نیاز به تجهيزات كم، آسان بودن و بازدهى بالا مورد توجه محققين مى باشد. به علاوه بواسطه دماى بالاى فرآيند احتراق ناخالصىها ورطوبت سطحى مواد اوليه تبخير مىشوند [۱۱]. افزودن جزء فلزى به دلیل تـ شکیل یوتکتیک باعـ ث كاهش دماى واكنش و همچنين افزايش سرعت واکنشهای سطحی می شود [۴]. Zou و همکارانش نشان دادند که با افزایش مقدار Co زمان شروع احتراق (t<sub>ig</sub>) ابتـدا کاهش و سپس افزایش پیدا می کند. بعلاوه بررسی های آنها نشان داد که افزایش کبالت موجب ریز تر شدن ساختار خواهد شد [۱۲]. Yang و همکارانش نیز سنتز احتراقی TiB2-TiC-Ni را بررسی کردند. آنها گزارش دادند که با افزایش مقدار نیکل زمان شروع احتراق (t<sub>ig</sub>)

تأثیر فعال سازی مکانیکی بر ریز ساختار سرمت ...

افزایش پیدا می کند بعلاوه افزایش نیکل از ۳۰ به ۵۰ درصد وزنی موجب ریزت ر شدن ساختار می شود [۱۳]. در روش سنتز احتراقی فعال شده مکانیکی (MASHS) مواد اولیه قبل از انجام فرآیند سنتز توسط آسیا فعال سازی می شوند. فرآیند فعال سازی تا قبل از تشکیل شدن هر گونه محصولی حین آسیا میتواند ادامه یابد [۱۴،۱۵]. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر فعال سازی مکانیکی بر پارامترهای سنتز احتراقی و ریز ساختار محصول نهایی سنتز سرمت TiB<sub>2</sub>-TiC-Ni حاوی % tw 10 نیکل، میباشد.

## ۲- فعالیتهای تجربی

TiB<sub>2</sub>-TiC-Ni مواد اوليه مورد استفاده جهت سنتز سـرمت TiB<sub>2</sub>-TiC-Ni در جـدول ۱ ارائـه شـده اسـت. مـواد اوليـه بـر اسـاس استوكيومترى و واكنش (۱) توزين شدند. استوكيومترى و واكنش (۱) توزين شدند. واكنش ۱)  $\rightarrow$  3Ti + B<sub>4</sub>C + 15 wt% Ni  $\rightarrow$ 

 $2TiB_2 + TiC + 15$  wt% Ni

Art.No	اندازه دانه	خلوص	سازنده	فرمول شيميايي	
1.12277	>\•µm	<٩٩/۵	Merk	Ni	نيكل
1.12379	<۱۵۰µm	>٩٨	Merk	Ti	تيتانيوم
235.111.5	- T · · mesh	>٩٨	Aldrich	B <sub>4</sub> C	کاربيد بور

جدول ۱ – مواد اولیه مورد استفاده

پودرها پس از اختلاط توسط آسیا سیارهای ( PM100 Retch) و با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱۰ به ۱ و تحت اتمسفر آرگون با خلوص ۹۹/۹۹۹ به مدت ۳ ساعت فعال شدند. جهت اختلاط مواد اولیه از کاپ ۲۵۰ mLit از جنس فولاد آلیاژی و گلولههای فولادی با سه قطر مختلف استفاده شد. پس از فعال سازی، مواد اولیه آسیا شده تحت

اتمسفر آرگون از کاپ خارج شدند. از مواد اولیه فعال شده و فعال نشده قرصهایی با قطر ۱۰ mm و ارتفاع ۳۰۳ ۶–۴ تحت فشار MPa توسط پرس تک محور تهیه شد. فرآیند سنتز درون کوره تیوبی با تیوب از جنس سیلیس ذوبی، تحت جریان گاز آرگون و در دمای C° ۱۰۰۰ انجام شد. برای اندازه گیری دمای احتراق نمونهها، از پیرومتر

**۱۶** دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵

استفاده شد. پیرومتر استفاده شده برای اندازه گیری دمای نمونههای سنتز شده در کوره از نوع پیرومترهای قابل حمل مدل AS101C ساخت شرکت طیف پردازان بود. فاصله مجاز نمونه تا پیرومتر ۲۵۰ متعداد پاسخها در واحد زمان ۲۰ داده در هر ثانیه و حداقل اندازه نمونه ۳۳۳ بود. مواد اولیه فعال شده و محصولات سنتز توسط دستگاه پراش شعه ایکس (PW3710 مدل PW3710 با ولتاژ V ۲۰ و جریان ۳۰ مرا مدل PW3710 با ولتاژ گرفتند. اندازه بلورکها نیز با استفاده از روش ریتولد و نرم افزار Tops بلورکها نیز با استفاده از روش ریتولد و نرم افزار Acpert محصولات سنتز نیز توسط میکروسکپ الکترونی (مدل محصولات سنتز نیز توسط میکروسکپ الکترونی (مدل (Philips(XL30)

## ۳- نتایج و بحث

در فرآیند SHS بیشترین دمای ناشی از واکنش گرمازا که در شرایط آدیاباتیک و بدون هیچ اتلاف حرارتی به دست میآید دمای آدیاباتیک میباشد. با محاسبه دمای آدیاباتیک ( $T_{ad}$ ) میتوان به صورت نیمه کمی تعیین کرد که واکنش انجام شده میتواند بصورت خودانتشاری ادامه یابد یا خیر. انجام شده میتواند بصورت خودانتشاری ادامه یابد یا خیر. بصورت تجربی پیشنهاد شده است که درصورتی که K بصورت تجربی پیشنهاد شده است که درصورتی که ا بصورت تجربی پیشنهاد شده است که درصورتی که ا بصورت تجربی پیشنهاد شده است که درصورتی که ا بصورت تجربی پیشنهاد شده است که درصورتی که ا بصورت تجربی پیشنهاد شده است که درصورتی که ب بصورت تحربی پیشنهاد شده است که درصورتی که ب با استفاده از داده های ترمودینامیکی [۱۷] با توجه به معادله ۱ به دست میآید [۱۸]:

$$-\Delta H_{298}^{0} = \int_{t_0}^{T_{ad}} Cp \left( \arctan t \right) dt$$
 (۱)

در این معادله ۵۲<sup>0</sup><sub>298</sub> آنتالیی واکنش در ۲۹۸K و (محصولات) Cp ظرفیت گرمایی میباشند. T<sub>ad</sub> دمای واکنش در شرایط آدیاباتیک و T<sub>0</sub> دمای اولیه نمونه میباشد. دمای آدیاباتیک واکنش ۱ بر اساس دادههای ترمودینامیکی ۳۱۹۶ K محاسبه میشود. الگوی پراش اشعه ایکس نمونههای فعال نشده و فعال سازی شده پس از سه ساعت در آسیا در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از سه ساعت فعال سازی پیکها پهن تر شده و شدت پیکها کاهش پیدا کرده است که نشان دهنده ریز تر شدن دانه ها و کرنش حاصل از فرآیند آسیا کاری در ساختار میباشد [۲۰, ۱۹]. زمان افروزش (t<sub>ig</sub>) در سنتز احتراقی پارامتر بسیار مهمی مىباشد. لازم به ذكر است كه افزايش زمان افروزش موجب افزایش دمای احتراق شده که افزایش دمای احتراق رشد بیشتر بلورکها و دانهها را در پی دارد. زمان افروزش نمونه با زمان ۳ ساعت فعال سازی ۲۱۶ و این زمان برای نمونه بدون فعال سازی s ۵۲ بود. این کاهش در زمان افروزش نشان دهنده تأثیر فعال سازی بر سنتز احتراقی می باشد. قابل ذکر است که نمونه بدون نیکل در دمای °C سنتز نشد. افزودن جزء فلزی در فرآیند سنتز احتراقی موجب تسهيل فرآيند مي شود. نيكل با تشكيل يوتكتيكهاي -B Ni و Ni-Ti و مذاب حاصل از آن ها موجب انجام شدن فرآیند در دمای پایین تر می شود [۲۱].

دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵ 🔰



شکل ۱– الگوی پراش اشعه ایکس مواد اولیه الف) بدون فعال سازی و ب) پس از سه ساعت فعال سازی حاوی % wt wt نیکل و ج) نمونه فعال نشده پس از سنتز در ℃ ۱۰۰۰ و د) نمونه فعال شده پس از سنتز در ℃ ۱۰۰۰

در شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس مواد اولیه قبل و بعد از فعال سازی به مدت ۳ ساعت و پس از انجام فرآیند سنتز احتراقی نشان داده شده است. پس از فرآیند فعال سازی مکانیکی مواد اولیه پیک های مربوط ه پهن تر شده و از شدت پیک ها کاسته شده است که به دلیل ریز تر شدن شدت پیک ها کاسته شده است که به دلیل ریز تر شدن اندازه دانه ها و کرنش ایجاد شده ناشی از فرآیند فعال سازی میباشد. همچنین هیچ فاز جدیدی در کاپ آسیا تشکیل نشده است. همانطور که مشاهده می ود در هر دو نمونه فعال شده و فعال نشده پس از سنتز فازهای مطلوب TiB فعال شده و فعال نشده اند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده و TiT تشکیل شده اند. همانطور که در شکل ۲ مشاهده ترکیبات TiB و TiT دارای کمترین مقدار است [Tr].

بنابراین TiC، TiB<sub>2</sub> و Ni در فرآیند سنتز احتراقی سیستم Ti-Ni-B<sub>4</sub>C فازهای پایدار هستند. علاوه بر آنها نیز ترکیبات Ti-Ni-G و Fe<sub>2</sub>B نیز شناسایی شدهاند. با توجه به اینکه در آنالیز XRD مواد اولیه فاز آهن شناسایی نشد میتوان نتیجه گرفت که فاز Fe<sub>2</sub>B تشکیل شده پس از فرآیند سنتز ناشی از ورود ناخالصی آهن در مرحله فعال سازی میباشد. آهن وارد شده ناشی از سایش فاز سخت B<sub>4</sub>C در مواد اولیه، گلوله ها و کاپ آسیا میباشد. تشکیل فاز Tim و Fe<sub>2</sub>B را میتواند به علت زمان کم ماندگاری نمونه در دمای احتراق (To) نسبت داد. بعبارت دیگر نمونه در این دما زمان کافی جهت رسیدن به ترکیب تعادلی را نخواهد داشت.

🚺 دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵

علم و مهندسی سرامیک





شکل ۲- انرژی آزاد محصولات حاصل از سنتز

اندازه بلورکهای  $TiB_2$  و TiC و TiB با روش ریتولد و با استفاده از نرم افزار X-Pert High Score Plus محاسبه شد. در این روش برای محاسبه تطبیق مقطع پیک، پهن شدگی پیک به علت ریز شدن دانهها و پهن شدگی پیکها به علت پیک به علت ریز شدن دانهها و پهن شدگی پیکها به علت کرنش از فرمولهای ۲ تا ۵ استفاده می شود.  $G_{ik}$  تابع کرنش از فرمولهای ۲ تا ۵ استفاده می شود.  $H_k$  پهنای پیک در

$$G_{ik} = \gamma \frac{C_0^{\frac{1}{2}}}{H_k \pi} \left[ 1 + C_0 X_{ik}^2 \right]^{-1} + (1 - \gamma) \frac{C_1^{\frac{1}{2}}}{H_k \pi^{\frac{1}{2}}} \exp \left[ -C_1 X_{1k}^2 \right]$$
(Y

$$D_{i} = \left(\frac{180}{\pi}\right) \frac{\lambda}{\left(W_{i} - W_{std}\right)^{0}} .5$$
(Y

$$\eta_{i} = \left[ \left( U_{i} - U_{std} \right) - \left( W_{i} - W_{std} \right) \right]^{0} \cdot \frac{5}{\frac{1}{100} \left[ \frac{180}{\pi} \right]^{2} 4 (2 \ln 2)^{0} \cdot 5}$$
(\*

$$\mathbf{H}_{k} = \left(\mathbf{U}\tan\theta^{2} + \mathbf{V}\tan\theta + \mathbf{W}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{(a)}$$

۱- اندازه بلورکهای نمونه فعال شده محاسبه شده به روش ریتولد	جدول '
------------------------------------------------------------	--------

	زمان افروزش	دمای احتراق	اندازه بلورک (nm)		
	(S)	(°C)	TiB <sub>2</sub>	TiC	Goodness of Fit
فعال سازی شدہ	۲۱	1840	۶۸	۳۰	١/४٩٣۶٨
فعال سازی نشدہ	۵۲	۱۸۹۰	-	-	1/19804



احتراق نمونه ۲۰۵۰ می باشد که توسط پیرومتر ثبت شده است. دمای احتراق نمونه فعال شده حدود ۲۰۰۰ بیشتر از نمونه فعال شده می باشد. اختلاف زیاد بین دمای احتراق و دمای آدیاباتیک محاسبه شده ناشی از این است که در عمل شرایط آدیاباتیک فراهم نیست و اتلاف حرارتی و خطاهای ناشی از کالیبراسیون پیرومتر موجب این اختلاف می شود. همانطور که از پروفایل دمایی مشاهده می شود با شروع واکنش، سنتز در مدت کوتاه و بسیار سریعی انجام می شود.



۱۵ wt% نیکل تهیه شده توسط پیرومتر

در شکل ۳ دمای احتراق نمونه حاوی % wt نیکل نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود دمای



شکل ۴– تصاویر SEM سطح شکست نمونههای

الف و ج) فعال نشده و ب و د) فعال شده به مدت ۳ ساعت پس از سنتز در  $^{
m oc}$ 

در شکل ۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) سطح شکست نمونه فعال سازی شده و فعال سازی نـشده نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود کاهش

اندازه دانه های نمونه فعال شده نسبت به نمونه بدون فعال سازی کاملاً مشهود می باشد. همچنین فعال سازی مکانیکی ساختاری یکنواخت تر را حاصل کرده است.

♦¥ دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵



مراجع

- D. Vallauri, and F. A. Deorsola, "Synthesis of TiC–TiB2–Ni cermets by thermal explosion under pressure," *Materials Research Bulletin*, vol. 44, no. 7, pp. 1528-1533, 7/1/, 2009.
- [2] S. Bhaumik, C. Divakar, A. K. Singh, and G. Upadhyaya, "Synthesis and sintering of TiB 2 and TiB 2–TiC composite under high pressure," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 279, no. 1, pp. 275-281, 2000.
- [3] G. Wen, S. Li, B. Zhang, and Z. Guo, "Reaction synthesis of TiB 2–TiC composites with enhanced toughness," *Acta Materialia*, vol. 49, no. 8, pp. 1463-1470, 2001.
- [4] N. Durlu, "Titanium carbide based composites for high temperature applications," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 19, no. 13, pp. 2415-2419, 1999.
- [5] D. Vallauri, V. A. Shcherbakov, A. V. Khitev, and F. A. Deorsola, "Study of structure formation in TiC–TiB2–MexOy ceramics fabricated by SHS and densification," *Acta Materialia*, vol. 56, no. 6, pp. 1380-1389, 4//, 2008.
- [6] J. Song, C. Huang, B. Zou, H. Liu, and J. Wang, "Microstructure and mechanical properties of TiB2–TiC–WC composite ceramic tool materials," *Materials & Design*, vol. 36, no. 0, pp. 69-74, 4//, 2012.
- [7] M. Rafiei, M. Salehi, M. Shamanian, and A. Motallebzadeh, "Preparation and oxidation behavior of B4C–Ni and B4C– TiB2–TiC–Ni composite coatings produced by an HVOF process," *Ceramics International*, vol. 40, no. 8, Part B, pp. 13599-13609, 9//, 2014.
- [8] M. Singh, K. Rai, and G. Upadhyaya, "Sintered porous cermets based on TiB 2 and TiB 2–TiC–Mo 2 C," *Materials chemistry and physics*, vol. 67, no. 1, pp. 226-233, 2001.

کاهش اندازه دانه ها می تواند به علت کاهش در زمان افروزش باشد. با توجه به اینکه فرآیند سنتر در مد انفجاری می باشد زمان ماندگاری نمونه درون کوره تا شروع فرآیند (زمان افروزش) بسیار حائز اهمیت می باشد [۱۹, ۱۷]. بدین صورت که نمونه قبل از انجام فرآیند یک پیش گرمایش را درون کوره تجربه می کند. به همین واسطه دمای احتراق (۲۰) افزایش یافته که موجب افزایش رشد دانه ها می شود. دلیل دیگر که موجب کاهش اندازه دانه می شود تشکیل عیوب و مراکز تمرکز تنش ناشی از فعال سازی می باشد که با افزایش مراکز جوانه زنی موجب کاهش اندازه دانه ها می شود [۲۴].

## ۴– نتیجهگیری

در این پژوهش سرمت Ni % Ni -TiB2-TiC با روش MASHS با موفقیت سنتز شد. نتایج XRD نشان دهنده تشکیل فاز جدیدی درون آسیا نبود و فقط پیکهای مربوط به مواد اولیه به واسطه ریز تر شدن و کرنش شبکه پهن تر شده و از شدت آنها کاسته شده است. همچنین الگوی شده و از شدت آنها کاسته شده است. همچنین الگوی TiB2 نمونه پس از سنتز نشان داد که فازهای TiB2 JiB2 با موفقیت سنتز شدهاند. اندازه بلورکهای فازهای TiB2 و TiT نیز که با روش ریتولد محاسبه شد نیز به TiB2 و TiT نیز که با روش ریتولد محاسبه شد نیز به نشده در مقیاس نانو نبود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشده در مقیاس نانو نبود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی اندازه دانهها و یکنواخت تر شدن ساختار سرمت شده است که به علت کاهش دمای احتراق و افزایش عیوب و مراکز تمرکز تنش ناشی از فعال سازی میاشد.

Downloaded from ijcse.ir at 9:57 +0430 on Monday September 11th 2017

"Self-propagating exothermic reactions: The synthesis of high-temperature materials by combustion," *Materials Science Reports*, vol. 3, no. 6, pp. 279-365, 1989/01/01, 1989.

- [17] Y. Liang, and Y. Che, "Notebook of thermodynamic data of inorganic," *East-North University Press, Shen Yang*, 1996.
- [18] J. J. Moore, and H. J. Feng, "Combustion synthesis of advanced materials: Part I. Reaction parameters," *Progress in Materials Science*, vol. 39, no. 4–5, pp. 243-273, //, 1995.
- [19] J. Li, F. Li, K. Hu, and Y. Zhou, "TiB2/TiC nanocomposite powder fabricated via high energy ball milling," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 21, no. 16, pp. 2829-2833, 12//, 2001.
- [20] H. Wang, W. Wu, S. Sun, X. Bian, and G. Tu, "Characterization of the structure of TiB2/TiC nanocomposite powders fabricated by high-energy ball milling," *Ceramics International*, vol. 37, no. 7, pp. 2689-2693, 9//, 2011.
- [21] Y. Yang, H. Wang, Y. Liang, R. Zhao, and Q. Jiang", Effect of nickel addition on the exothermic reaction of titanium and boron carbide," *Journal of materials research*, vol. 22, no. 01, pp. 169-174, 2007.
- [22] L. Huang, H. Wang, Q. Li, S. Yin, and Q. Jiang, "Effect of Ni content on the products of Ni–Ti–B system via self-propagating high-temperature synthesis reaction," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 457, no. 1, pp. 286-291, 2008.
- [23] H. Rietveld, J. Appl. Crystallogr. 2 (1969) 65–71.
- [24] P. Mossino, "Some aspects in selfpropagating high-temperature synthesis," *Ceramics International*, vol. 30, no. 3, pp. 311-332, 2004.

- [9] W.-J. Kim, D.-H. Kim, E. Kang, D. Kim, and C. Kim, "Two-step sintering of a TiB2-Ni cermet," *Journal of Materials Science*, vol. 31, no. 21, pp. 5805-5809, 1996/11/01, 1996.
- [10] B. Zou, C. Huang, W. Ji, and S Li, "Effects of Al2O3 and NbC additives on the microstructure and mechanical properties of TiB2–TiC composite ceramic cutting tool materials," *Ceramics International*, vol. 40, no. 2, pp. 3667-3677, 3//, 2014.
- [11] M. Eslamloo Grami, and Z. A. Munir, "Effect of nitrogen pressure and diluent content on the combustion synthesis of titanium nitride," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 73, no. 8, pp. 2222-2227, 1990.
- [12] B. Zou, J. Xu, Y. Wang, S. Zhao, X. Fan, Y. Hui, X. Zhou, W. Huang, X. Cai, S. Tao, H. Ma, and X. Cao, "Selfpropagating high-temperature synthesis of TiC–TiB2-based Co cermets from a Co–Ti–B4C system and fabrication of coatings using the cermet powders," *Chemical Engineering Journal*, vol. 233, no. 0, pp. 138-148, 11//, 2013.
- [13] Y. F. Yang, and Q. C. Jiang, "Reaction behaviour, microstructure and mechanical properties of TiC-TiB2/Ni composite fabricated by pressure assisted self-propagating high-temperature synthesis in air and vacuum," *Materials* & *Design*, vol. 49, no. 0, pp. 1.
- [14] B. A. Kia, "Simultaneous synthesis of TiB2-TiC nanocomposites by using of the MASHS process and investigation of effect of activation of starting materials on the final microstructure," *Materials and Energy Reaserch Center*, 2011.
- [15] F. Adibpur, "The In situ Synthesis of ZrB2-ZrC Nanostructured Powder by Mechanically Activated Self-Propagating High-temperature Synthesis (MASHS)," *Materials and Energy Research Center*, 2012-2013.
- [16] Z. A. Munir, and U. Anselmi-Tamburini,

۲۲ دورهی ۵ شمارهی ۲ تابستان ۱۳۹۵