

تأثیر فراسنج‌های اجرایی بر سنتز احتراقی کامپوزیت‌های نیتريد آلومینیوم - کاربرد سیلیسیم با

کاربرد منبع جامد نیتروژن به کمک میکروویو

زهرا عباسی^{1*}، محمد حسین شریعت² و سیروس جوادپور³

چکیده

سنتز کامپوزیت‌های نیتريد آلومینیوم- کاربرد سیلیسیم از روش واکنش احتراقی بین پودرهای آلومینیوم، کربن و نیتريد سیلیسیم (منبع جامد نیتروژن) مورد بررسی قرار گرفت. واکنش احتراق با شعله‌ور ساختن مخلوط پودری، درون یک فر خانگی بوسیله‌ی حرارت‌دهی میکروویوی، آغاز گردید و از این روش سرمایه‌یک مورد نظر در محصول سنتز، مشاهده شد. برای دستیابی به محصول بیش‌تر، چندین فراسنج در مراحل گوناگون سنتز، تغییر داده شد. این فراسنجه‌ها شامل زمان آسیاکاری، مقدار کربن موجود در مخلوط واکنش دهنده و جرم مخلوط واکنش دهنده‌ی فشرده شده، بود. تغییر دو فراسنج نخست، تأثیری چشم‌گیر بر افزایش میزان تولید نداشت، اما افزایش اندازه‌ی نمونه، احتراق کامل‌تر و میزان تبدیل بیش‌تری را امکان‌پذیر ساخت. دمای احتراق سیستم به گونه‌ی تئوری و تجربی بررسی گردید. ریز ساختار و نوع فاز محصولات به ترتیب به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی و پراش اشعه‌ی ایکس، مورد تحلیل قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: سنتز احتراقی، کامپوزیت، نیتريد آلومینیوم- کاربرد سیلیسیم، حرارت‌دهی میکروویوی، دمای احتراق.

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.

2- استاد بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.

3- استادیار بخش مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.

*- نویسنده‌ی مسئول: zahra_abbasi_1364@yahoo.com

پیشگفتار

نیتريد آلومینیوم¹ در سیستم دوتایی آلومینیوم و نیتروژن تنها ترکیب پایدار است. این ماده، به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد، از جمله رسانایی گرمایی و مقاومت الکتریکی بالا، ضریب انبساط حرارتی پایین، ویژگی‌های دی‌الکتریک مناسب و مقاومت خوب در برابر شوک حرارتی به عنوان یک ماده‌ی مهم صنعتی مورد تأیید می‌باشد [1]. این سرامیک هم‌چنین، دارای استحکام مکانیکی بالا، چگالی پایین و مقاومت خوب در برابر اکسیداسیون است [2]. در کاربردهای الکترونیکی به عنوان ماده‌ی زیر لایه بکار می‌رود و در قطعات سازه‌ای دما بالا از آن استفاده می‌شود [3]. هم‌چنین، برای ساخت مواد کامپوزیتی با رسانایی گرمایی بالا و انبساط‌های حرارتی بکار می‌رود.

کربید سیلیسیم²، سرامیکی نسوز است که سختی، چقرمگی و مقاومت در برابر خزش آن بالاتر از نیتريد آلومینیوم است [5]. این ماده دارای رسانایی گرمایی خوب و مقاومت شیمیایی عالی است [6] و بمنظور کاربردهای محیطی سخت، مانند مبادله‌کننده‌های حرارتی دما بالا و بوش‌های سیلندر³ برای موتورهای احتراقی آزمایشی بکار می‌رود [7].

محلول جامد نیتريد آلومینیوم-کربید سیلیسیم به دلیل ساختار مشابه و ویژگی‌های دما بالای هر دو سرامیک، ویژگی‌های مکانیکی بهینه‌ای از جمله بهبود استحکام خمشی و چقرمگی شکست، ایجاد می‌کند [8]. کامپوزیت‌های نیتريد آلومینیوم-کربید سیلیسیم نیز دارای ویژگی‌های مکانیکی جالبی هستند. آن‌ها ماده‌ای مناسب برای سرامیک‌های الکترونیکی دما بالا بشمار می‌روند. این کامپوزیت‌ها عملکرد عالی در تضعیف کنندگی میکروویو دارند [9].

سرامیک نیتريد آلومینیوم-کربید سیلیسیم در طی سال‌های گذشته، به وسیله‌ی روش‌های گوناگونی تولید شده است. عمده‌ی این روش‌ها، شامل احیای کربوترمال آلومینا و سیلیکا در اتمسفر نیتروژن [10]، پرس کاری گرم

مخلوط پودری نیتريد آلومینیوم و کربید سیلیسیم [11] و سنتز احتراقی [12] می‌باشد.

سنتز احتراقی یا سنتز دما بالای خود پیشرو⁴، بمنظور ساخت مقرون به صرفه‌ی نیتريد آلومینیوم-کربید سیلیسیم مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته است. سنتز احتراقی در مقایسه با سنتز واکنش حالت جامد مزایایی بسیار دارد که از آن جمله می‌توان به تولید انرژی مورد نیاز به وسیله‌ی خود فرآیند، سادگی آن، قیمت کم‌تر و خلوص بالاتر محصولات اشاره کرد [13].

تا کنون در این مورد، دو روش آزمایشی بکار گرفته شده است. در روش نخست، سنتز از راه واکنش بین پودرهای نیتريد سیلیسیم، آلومینیوم و کربن تحت تأثیر یک میدان الکتریکی انجام می‌شود. اگرچه واکنش بین این سه ماده، به شدت گرمازاست، اما بدون بکارگیری یک ولتاژ خارجی بالای مقدار آستانه، هیچ موج احتراقی خود پیشرو نمی‌تواند در این سیستم آغاز شود. بنابراین، محلول‌های جامد تنها هنگامی می‌توانند تشکیل شوند که بزرگی میدان اعمالی نسبتاً بالا باشد. در میدان‌های اعمالی کم‌تر، محصول، کامپوزیتی شامل فازهای غنی از نیتريد آلومینیوم و غنی از کربید سیلیسیم است که ترکیب شیمیایی آن‌ها به میدان اعمالی بستگی دارد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این سیستم منبع نیتروژن جامد بکار می‌رود [12 و 14].

در روش دوم، مخلوط‌های پودری آلومینیوم، سیلیسیم، کربن یا آلومینیوم و کربید سیلیسیم در یک اتمسفر نیتروژن در فشارهایی در محدوده‌ی 0/1 تا 10MPa مشتعل می‌شوند. در این شرایط، سنتز محلول جامد می‌تواند در مدت چند ثانیه انجام گیرد. در این روش از منبع نیتروژن گازی استفاده می‌شود و حرارت تولید شده به وسیله‌ی نیتريداسیون آلومینیوم، تشکیل فاز کربید سیلیسیم را تضمین می‌کند. اگرچه، بمنظور بدست آوردن محلول‌های جامد همگن، سنتز احتراقی باید تحت یک فشار نیتروژن بالا (تقریباً 6MPa) انجام گیرد [15].

در سنتز احتراقی اشتعال می‌تواند به وسیله‌ی جرقه‌ی الکتریکی، لیزر یا یک المان حرارتی ایجاد شود که این منابع می‌توانند انرژی را به‌گونه‌ای متمرکز درون قطعه

1- AlN

2- SiC

3- Cylinder Liners

4- Self-Propagating High-Temperature Synthesis

پودرهای بدست آمده به صورت نمونه‌های استوانه‌ای 0/5 گرمی با قطر 12 میلی‌متر با فشار کم، پرس سرد شدند. واکنش سنتز احتراقی نمونه‌های پرس شده، درون یک فر میکروویو خانگی (LF-5702NR, LG) با توان 900W (در اتمسفر خود فر با فشار هوا) انجام گردید. دمای واکنش بوسیله‌ی پیرومتر (VF-3000, Optex) که روی نمونه، متمرکز شده بود، اندازه‌گیری شد. نوع فاز و ریز ساختار محصولات به ترتیب با استفاده از دستگاه پراش اشعه‌ی ایکس (D8-Advance, Brucker) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (S-360, Oxford) تعیین گردید.

نتایج و بحث

شکل 1، الگوی پراش اشعه‌ی ایکس مربوط به محصول سنتز انجام شده را روی مخلوطی از آلومینیوم، Si_3N_4 (منبع جامد تامین‌کننده‌ی نیتروژن) و کربن نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، پس از سنتز، پیک‌های اصلی AlN با شدت بالا ایجاد گردیده است. AlN تولید شده دارای ساختاری مکعبی است. SiC نیز تا حدودی تشکیل شده است و در این‌جا ساختار آن هگزاگونال است. از سوی دیگر، مواد اولیه‌ی واکنش نداده نیز در محصول مشاهده می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که تولید سرامیک AlN-SiC از روش سنتز احتراقی به کمک میکروویو بدون حضور منبع گازی نیتروژن قابل انجام است، اما در این مسیر باید در پی راههایی برای حذف مواد اولیه از محصول بود. بر این اساس، چندین فراسنج تأثیرگذار بر سنتز تغییر داده شد تا اثرات آن‌ها بر محصول واکنش مورد بررسی قرار گیرد. این فراسنجه‌ها به ترتیب، زمان آسیاکاری سایشی، مقدار کربن موجود در مخلوط واکنش دهنده و جرم پودرهای فشرده شده می‌باشند.

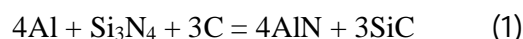
شکل 2، الگوی پراش اشعه‌ی ایکس مربوط به مرحله‌ای را نشان می‌دهد که در آن زمان آسیاکاری به ترتیب نصف و دو برابر شده است. به دلیل جزیی بودن میزان تغییرات از آوردن الگوی حالت پیش (زمان آسیاکاری 60 دقیقه) صرف‌نظر شده است. گفتنی است که آسیاکاری سایشی یک آسیاکاری پراثرژی می‌باشد که

بفرستند، اما راهی دیگر نیز برای ایجاد اشتعال حین سنتز احتراقی وجود دارد که آن اشتعال به وسیله‌ی میکروویو است. در این روش شیب حرارتی بر عکس روش‌های معمول است، بنابراین موج حرارتی به اجبار به سمت بیرون حرکت می‌کند و مواد اولیه‌ی سر راه خود را به محصول نهایی تبدیل می‌کند. در سنتز احتراقی به وسیله‌ی میکروویو، دمای اشتعال درون قطعه ایجاد می‌شود و با افزایش دمای درون، میزان جذب انرژی میکروویو نیز زیادتر می‌شود. زیرا گرمایش، هم به وسیله‌ی جذب میکروویو و هم به وسیله‌ی گرمای آزاد شده واکنش انجام می‌پذیرد و دمای احتراق بالاتری ایجاد خواهد شد [16].

در این پژوهش، هدف این است که از سنتز احتراقی به وسیله‌ی میکروویو بمنظور تولید سرامیک‌های نیتريد آلومینیوم- کربید سیلیسیم با بکارگیری منبع جامد نیتروژن، استفاده شود. در این‌جا هیچ میدان الکتریکی اعمال نخواهد شد. نخست سنتزها با حضور منبع جامد نیتروژن، یعنی نیتريد سیلیسیم در هوا انجام می‌گردد و سپس با تغییر زمان آسیاکاری، افزایش مقدار کربن موجود در مخلوط واکنش دهنده و افزایش جرم نمونه در سنتز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد خام استفاده شده در این پژوهش، شامل: پودرهای آلومینیوم، کربن و نیتريد سیلیسیم می‌باشد. این پودرها بر پایه‌ی نسبت استوکیومتری واکنش (1) توزین شدند و به مدت 1 ساعت درون آسیای سایشی¹ به وسیله‌ی گلوله‌های زیرکونیا در محیط اتانول مخلوط شدند. سپس مخلوط بدست آمده به مدت 2 ساعت در دمای 150 درجه‌ی سانتیگراد خشک شد و پس از گرانوله شدن به وسیله‌ی چسب PVA (بمنظور کمک به بهبود فشرده‌سازی)، از الک 250 μm عبور داده شد. ویژگی‌های پودرهای مورد استفاده، در جدول 1 آورده شده است.



¹- Attrition Milling

افزایش یافته است. پیک‌های AIN به گونه‌ی کامل تغییر کرده‌اند و تقریباً شدت بالایی دارند.

در گزارش‌های منتشر شده بیان شده است که زمانی که اندازه‌ی نمونه افزایش می‌یابد [19]، به ازای واحد سطح نمونه، حرارت بیش‌تری تولید می‌گردد و در نتیجه دمای نمونه را بالاتر می‌برد. چهار برابر کردن اندازه‌ی نمونه تغییری محسوس در محصول ایجاد نکرده است. بالا رفتن دما فقط در حدی بوده است که به گونه‌ای جزئی تجزیه‌ی Si_3N_4 و تشکیل AIN را افزایش دهد، اما در مورد شانزده برابر کردن جرم نمونه، نسبت حرارت به سطح افزایش یافته است. این افزایش حرارت در حدی است که Si_3N_4 را به گونه‌ی کامل تجزیه کرده است، به گونه‌ای که دیگر در محصول اثری از آن دیده نمی‌شود. بنابراین، شرایط برای تشکیل AIN و SiC بیش‌تر فراهم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در محصول، SiC بیش‌تری وجود دارد. با مطالعه‌ی ویژگی‌های نیتريد آلومینیوم در آنالیز پراش اشعه‌ی ایکس مشخص می‌شود که در موارد پیشین AIN ایجاد شده، دارای ساختار کریستالی مکعبی بوده، اما در این نمونه ساختار آن به ساختار هگزاگونال تبدیل شده، به همین دلیل مکان و شدت پیک‌های آن تغییر کرده است. تشکیل AIN و SiC سبب شده که از مقدار آلومینیوم و کربن باقی‌مانده کاسته گردد. زمانی که Si_3N_4 به گونه‌ی کامل تجزیه شده، مقداری هم سیلیسیم در محصول به جا گذاشته است که نتوانسته با کربن باقی‌مانده واکنش دهد. در گزارش‌ها اشاره شده است که راهکار حذف سیلیسیم باقی‌مانده در محصول، افزایش دمای احتراق و بالا نگه‌داشتن آن است [20].

بنابراین، نتیجه می‌شود که با افزایش اندازه‌ی نمونه می‌توان میزان مواد اولیه‌ی باقی‌مانده در محصول را به کم‌ترین حد رسانید و یا حتی آن را حذف کرد. ضمن این که از این روش می‌توان نیتريد آلومینیوم و کاربید سیلیسیمی بدست آورد که هر دو دارای ساختار هگزاگونال باشند.

دمای احتراق آدیاباتیک (T_{ad}) یک مقیاس مناسب برای سنجش گرمایی واکنش و حالت فازهای گوناگون می‌باشد [21]. به شرط این که حالت خود پیشرو در دمای

افزون بر این، مخلوط‌سازی اندازه‌ی ذرات پودر را نیز کاهش می‌دهد. با افزایش زمان آسیاکاری اندازه‌ی ذرات پودر کوچک‌تر می‌شود و به دلیل افزایش مخلوط‌سازی، ذراتی که قرار است با هم واکنش دهند، بهتر در کنار یکدیگر توزیع می‌شوند. گزارش شده است که ریز شدن اندازه‌ی ذره، احتراق بهتری را نتیجه می‌دهد [17]، اما همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، تغییر زمان آسیاکاری از 30 تا 120 دقیقه، یعنی چهار برابر شدن آن بر خلاف انتظار، تأثیر بسیار جزئی روی محصول داشته است. بنابراین، در مورد این سیستم واکنشی، افزایش زمان آسیاکاری به این اندازه نمی‌تواند تأثیر مطلوبی روی کامل‌تر شدن احتراق و افزایش درجه تبدیل به محصول داشته باشد.

در مرحله‌ی بعد، مقدار کربن در مخلوط واکنش دهنده افزایش داده شده است. این مقدار به ترتیب دو و چهار برابر وزن استوکیومتری آن در نظر گرفته شده است. الگوی پراش اشعه ایکس این مرحله را می‌توان در شکل 3 مشاهده نمود. گزارش شده است که حضور کربن اضافی سبب بهبود خلوص و همگنی محصول می‌شود [18]. بنابراین، در این مرحله کربن اضافی بکار گرفته شد تا اثر آن روی محصول بدست آمده مورد بررسی قرار گیرد. در شکل 3، نشان داده شده که در این مرحله نیز افزودن کربن تأثیری روی محصول بدست آمده نداشته است و در این مقیاس این روش راه حل مناسبی برای بهبود شرایط نمی‌باشد.

در مرحله‌ی پایانی، تغییر جرم مخلوط واکنش دهنده‌ی فشرده شده مورد بررسی قرار گرفت، نخست این جرم چهار برابر و سپس شانزده برابر گردید. در شکل 4 بمنظور مقایسه، الگوی پراش اشعه‌ی ایکس این مرحله همراه الگوی مرحله‌ی نخست آورده شده است. با چهار برابر شدن جرم نمونه، جز افزایش جزئی در میزان AIN، تغییرات قابل ملاحظه‌ی دیگری در الگوی پراش اشعه‌ی ایکس مشاهده نمی‌شود. با شانزده برابر شدن جرم نمونه، پیک‌های Si_3N_4 به گونه‌ی کامل حذف شده و شدت پیک‌های آلومینیوم و کربن به شدت کاهش یافته است. افزون بر این، پیک‌های جدیدی از SiC مشاهده می‌شود. شدت پیک‌های موجود در الگوهای پیشین نیز در این الگو

را از هم جدا می‌کند. این نمودار در شکل 5 آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بالاتر از دمای 1960 درجه‌ی سانتیگراد، سیستم AIN-SiC در یک ناحیه‌ی محلول جامد پایدار هگزاگونال قرار دارد. چون بیش‌ترین دمای اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی پیرومتر در این پژوهش 1824 درجه‌ی سانتیگراد است و این دما، پایین‌تر از دمای بحرانی است، پس می‌توان نتیجه گرفت که محصول بدست آمده در این پژوهش، یک کامپوزیت از AIN و SiC است، اما به دلیل یکسان بودن ساختار هگزاگونال AIN و SiC در این مرحله و تسهیل تشکیل محلول جامد بین آن دو، می‌توان انتظار داشت که با افزایش بیش‌تر اندازه‌ی نمونه و در نتیجه افزایش دمای سیستم، بین این دو سرامیک یک محلول جامد پایدار هگزاگونال تشکیل شود.

در گزارش‌های منتشر شده تاکید شده است که برای رسیدن به سرامیک AIN-SiC از راه واکنش بین آلومینیوم، نیتريد سيليسيم و کربن، یا باید یک میدان الکتریکی قوی اعمال گردد و یا سنتز تحت اتمسفر نیتروژن انجام گیرد [23، 15 و 14]. در این پژوهش این فرآیند با استفاده از گرمایش میکروویو، بدون اعمال میدان الکتریکی و بدون بکارگیری اتمسفر نیتروژن با موفقیت انجام گرفت.

در شکل 6، تصاویر SEM مربوط به نمونه‌های 0/5 گرمی (a)، 2 گرمی (b) و 8 گرمی (c) سنتز شده مشاهده می‌شود. فاز سوزنی شکل به، Si_3N_4 که به صورت واکنش نداده در محصول باقی‌مانده است، مربوط می‌شود. با افزایش اندازه‌ی نمونه، از مقدار این فاز سوزنی کاسته می‌شود تا زمانی که در نمونه‌ی 8 گرمی به گونه‌ی کامل حذف گردد. اندازه‌ی ذرات موجود با افزایش اندازه‌ی نمونه، افزایش می‌یابد که دلیل آن رشد دانه با بالا رفتن دماست. در شکل 6a، می‌توان حضور چندین فاز را تشخیص داد، ولی با افزایش اندازه‌ی نمونه، افزایش دما و کاهش مواد اولیه‌ی باقی‌مانده در محصول، از این ناهمگنی کاسته شده است. بنابراین، در شکل 6c یک ریخت‌شناسی تقریباً یکنواخت دیده می‌شود که حضور فازهای کم‌تری در آن مشاهده می‌شود. در این فرآیند اگر شرایط افزایش دما، تشکیل محلول جامد و مصرف شدن تمامی سیلیسیم

اتاق (298 درجه‌ی کلون) بدون هیچ گونه پیش‌گرمی آغاز گردد، مقدار T_{ad} می‌تواند بر مبنای رابطه‌ی زیر محاسبه گردد [19]:

$$\Delta H(298) + \int_{298}^{T_{ad}} \sum n_j C_p(P_j) dT + \sum n_j L(P_j) = 0 \quad (2)$$

که در این رابطه $\Delta H(298)$ آنتالپی واکنش در 298 درجه‌ی کلون، $C_p(P_j)$ و $L(P_j)$ به ترتیب ظرفیت گرمایی و گرمای نهان تغییر فاز محصول (البته اگر محصول یک تغییر فاز انجام دهد، مانند جامد به مایع یا مایع به گاز) می‌باشند. آنتالپی واکنش با استفاده از آنتالپی تشکیل هر کدام از اجزا قابل محاسبه می‌باشد [22]. در این حالت مقدار $\Delta H(298)$ بدست آمده برای واکنش 1 در دمای اتاق برابر با $-729/5$ کیلوژول می‌باشد. حال با توجه به این که محصول، شامل 4 مول نیتريد آلومینیوم و 3 مول کاربید سیلیسیم می‌باشد، رابطه‌ی (2) به شکل رابطه‌ی زیر در می‌آید:

$$-\Delta H(298) = \int_{298}^{T_{ad}} [4C_p(AIN) + 3C_p(SiC)] dT \quad (3)$$

با استفاده از داده‌های ترمودینامیکی دمای آدیاباتیک بدست آمده از رابطه‌ی (3) برابر با $2043/2$ درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد [22]. برای این سیستم دمای بیشینه‌ی اندازه‌گیری شده به وسیله‌ی پیرومتر برابر با 1027 درجه‌ی سانتیگراد است. تفاوت بین دمای احتراق واقعی و دمای آدیاباتیک، یک امر طبیعی است. دلیل آن این است که واکنش‌های سنتز احتراقی معمولاً در شرایط غیر آدیاباتیک انجام می‌شوند و حین فرآیند، اتلاف حرارت به خارج از سیستم وجود دارد [19] و از سوی دیگر، کامل نشدن واکنش در کم‌تر شدن دما اثرگذار است. بنابراین، دمای احتراق در کل کم‌تر از دمای احتراق آدیاباتیک تئوری بیشینه می‌باشد. دمای بیشینه‌ی اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ی 8 گرمی، مقدار 1824 درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد که خود گویای این است که در این سیستم احتراقی بهتر و کامل‌تر رخ داده است.

برای سیستم AIN-SiC یک نمودار فازی تجربی وجود دارد [6] که وجود یک دمای بحرانی حدود 1960 درجه‌ی سانتیگراد را نشان می‌دهد. این دمای بحرانی، ناحیه‌ی محلول جامد پایدار و ناحیه‌ی شبه پایداری که تمایل دارند به فازهای غنی از AIN و SiC تقسیم شوند

داده شد. تغییر زمان آسیاکاری و افزایش مقدار کربن تأثیر بسزایی روی محصول سنتز نداشت، اما در مورد افزایش جرم مخلوط پودری فشرده شده، نتیجه چشم‌گیرتر است. افزایش اندازه‌ی نمونه، سبب افزایش دمای سیستم گردید و احتراقی کامل‌تر را ایجاد کرد. شانزده برابر کردن اندازه‌ی نمونه، میزان مواد اولیه‌ی باقی‌مانده را به کم‌ترین حد رسانید و دمای احتراق اندازه‌گیری شده را به شدت افزایش داد. در این شرایط نیتريد آلومینیوم بدست آمده، ساختار هگزاگونال از خود نشان داد که با افزایش بیش‌تر دما می‌توانست با کاربید سیلیسیم، محلول جامد پایدار تولید کند.

منابع

- 1- T.J.Mroz Jr, "Annual Materials Review: Aluminum Nitride", Am. Ceram. Soc. Bull, Vol. 71[5], pp. 782-786, 1992.
- 2- L.M. Sheppard and M. Laurel, "Aluminum Nitride: A Versatile but Challenging Material", Am. Ceram. Soc. Bull, Vol. 69[11], pp. 1801-1812, 1990.
- 3- Y. Kurokawa, K. Utsumi and H. Takamizawa, "Development and Micro-structural Characterization of High-Thermal-Conductivity Aluminum Nitride Ceramics", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 71[7], pp. 588-594, 1988.
- 4- Z.C. Jou and A.V. Virkar, "High-Temperature Creep and Cavitation of Polycrystalline Aluminum Nitride", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 73[7], pp. 1928-1935, 1990.
- 5- C.K. Unni and D.E. Gordon, "Mechanical Properties of Monolithic AlN and SiC_w/AlN Composites", J. Mater. Sci, Vol. 30, pp. 1173-1179, 1995.
- 6- A. Zangvil and R. Ruh, "Phase Relationship in the Silicon Carbide-Aluminum nitride System", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 71, pp. 884-890, 1988.
- 7- R.N. Katz, "High Temperature Structural Ceramics", Science, Vol. 208, pp. 841-847, 1980.
- 8- K. Itatani, R. Tsukamoto, A.C.A. Delsing, H.T. Hintzen and I. Okada, "Preparation of Aluminum Nitride-Silicon Carbide Nanocomposite powder by the Nitridation of

و کربن باقی‌مانده، آماده گردد، انتظار می‌رود که یک ریخت‌شناسی یکنواخت و همگن با حضور یک فاز هگزاگونال بوجود آید.

نتیجه گیری

در این پژوهش، امکان سنتز کردن کامپوزیت‌های سرامیکی نیتريد آلومینیوم - کاربید سیلیسیم به وسیله‌ی واکنش سنتز احتراقی از روش مشتعل ساختن مخلوط پودری آلومینیوم، نیتريد سیلیسیم و کربن در فر میکروویو مورد بررسی قرار گرفت. این سنتز با موفقیت بدون نیاز به اعمال میدان الکتریکی و استفاده از اتمسفر نیتروژن انجام شد. در این پژوهش برای رسیدن به محصولی با کیفیت بالاتر، چندین فراسنج در مراحل گوناگون سنتز، تغییر

- Aluminum Silicon Carbide", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 85[7], pp. 1894-1896, 2002.
- 9- L. Mei and J.T. Li, "Synthesis of AlN-SiC Solid Solution Through Nitrating Combustion of Al-C-Si₃N₄ in Air", Acta Mater, Vol. 56, pp. 3543-3549, 2008.
 - 10- I.B. Cutler, P.D. Miller, W. Rafaniello, H.K. Park, D.P. Thompson and K.H. Jack, "New Materials in the Si-C-Al-O-N and Related Systems", Nature, Vol. 275[5679], pp. 434-435, 1978.
 - 11- R. Ruh and A. Zangvil, "Composition and Properties of Hot-Pressed SiC-AlN Solid Solution", J. Am. Ceram. Soc, Vol. 65[5], pp. 260-265, 1982.
 - 12- H. Xue and Z.A. Munir, "The Synthesis of Composites and Solid Solutions of α -SiC-AlN by field-Activated Combustion", Scr. Mater, Vol. 35, pp. 979-982, 1996.
 - 13- J. Subrahmanyam and M. Vijaykumar, "Review, Self-Propagating High-Temperature Synthesis", J. Mater. Sci., Vol. 27, pp. 6249-6273, 1992.
 - 14- H. Xue and Z.A. Munir, "Synthesis of AlN-SiC Composites and Solid Solution by Field-Activated Self-Propagating Combustion", J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 17, pp. 1787-1792, 1997.
 - 15- M. Ohyanagi, N. Balandina, K. Shirai, M. Kiozumi and Z.A. Munir, "Synthesis of AlN-SiC Solid Solution by Combustion Nitridation", pp. 3-12 in Ceramic Transactions, Vol. 94, 1998.

16- D.E. Clark, I. Ahmad and R.C. Dalton, "Microwave Ignition and Combustion Synthesis of Composites", Mater. Sci. Eng., Vol. A144, pp. 91-97, 1991.

17- J.J. Moore and H.J. Feng, "Combustion Synthesis of Advanced Materials: Part I . Reaction Parameters" , Prog. Mater. Sci., Vol. 39, pp. 243-273, 1995.

18- R.C. Juang, C.C. Chen, J.C. Kuo, T.Y. Huang and Y.Y. Li, "Combustion Synthesis of Hexagonal AlN-SiC Solid Solution Under Low Nitrogen Pressure", J. Alloys Compd., Vol. 480, pp. 928-933, 2009.

19- E. Hagen, T. Grande, M.A. Einarsrud, "Preparation and Properties of Porous Aluminum Nitride-Silicon Carbide Composite Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 87[7], pp. 1200-1204, 2004.

20- C. Kexin, J. Haibo, H.P. Zhou and J.M.F. Ferreira, "Combustion Synthesis of AlN-SiC Solid Solution Particles", J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 20, pp. 2601-2606, 2000.

21- P. Shen, W. Sun, B. Zou, L. Zhan and Q. Jiang, "Al Content Dependence of Reaction Behaviors and Mechanism in Combustion Synthesis of TiB₂-AlN-Based Composites", Chem. Eng. J., 150: 261-268 (2009).

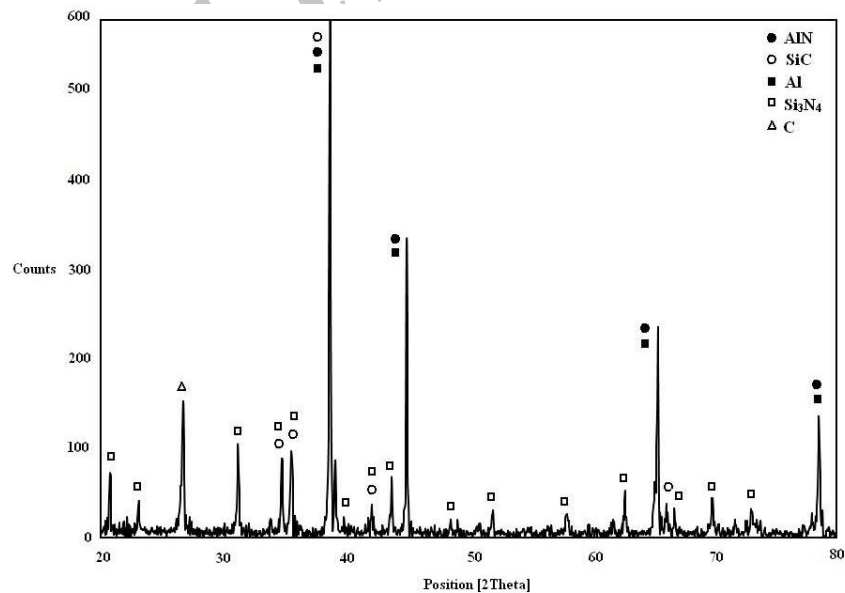
22- O. Knacke, O. Kubaschewski and K. Hesselman, "Thermodynamical Properties of Inorganic Substances", 2nd ed., Springer-Verlag, 1991.

23- D. Kata, K. Shirai and M. Ohyanagi, "Formation Mechanism of AlN-SiC Solid Solution by Combustion Nitridation in Si₃N₄-Si-Al-C System", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 84[4], pp. 726-732, 2001.

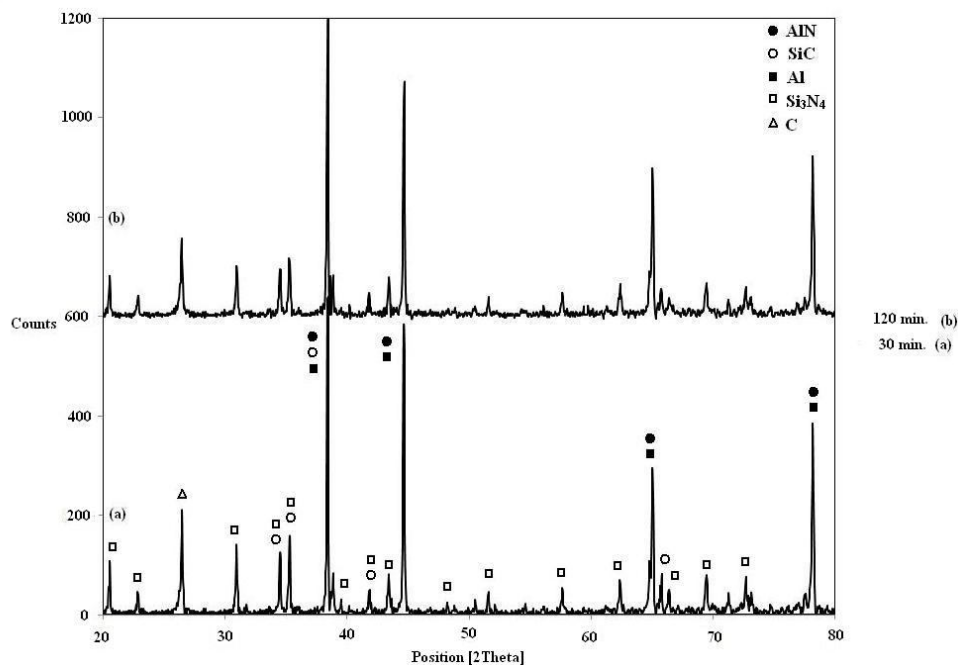
پیوست‌ها

جدول 1- ویژگی‌های مواد خام مورد استفاده.

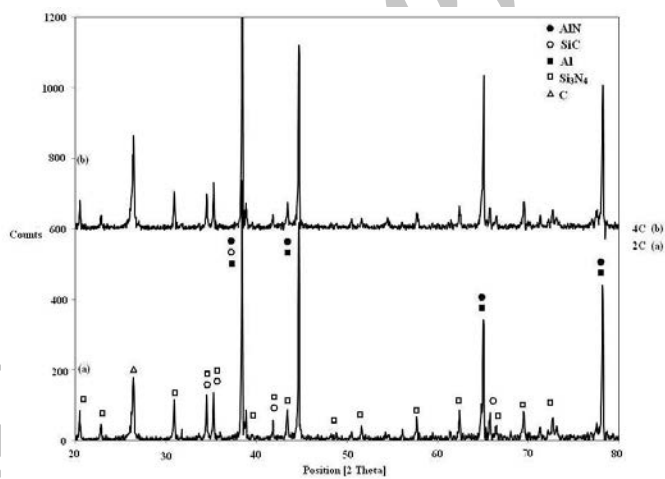
تولید کننده	اندازه (میکرون)	خلوص (%جرمی)	مواد خام
متالورژی پودر خراسان	45	99	آلومینیوم
اسکای اسپرینگ، هوستن	0/5 - 1/0	99/5	نیتريد سيليسوم
-	90	99	کربن



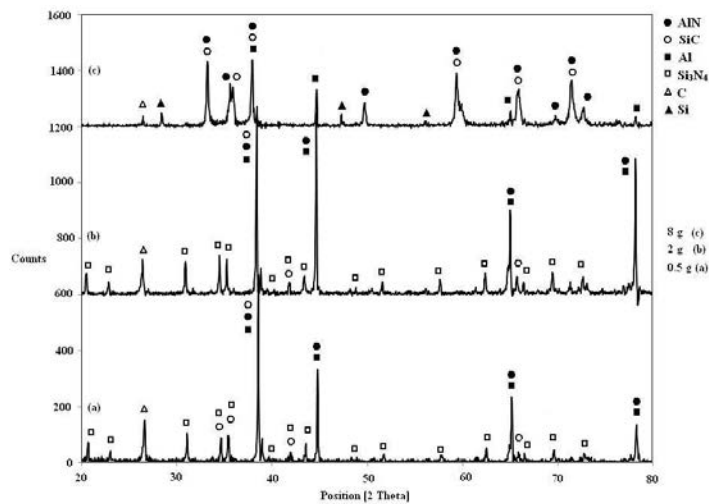
شکل 1- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس محصول سنتز مخلوط پودری آلومینیوم، نیتريد سيليسيم و کربن.



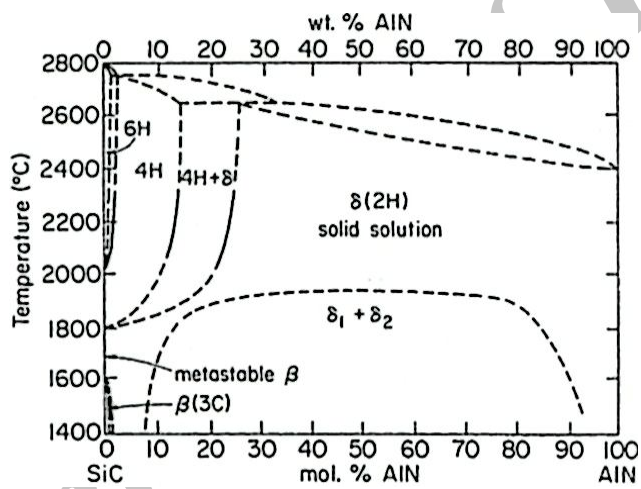
شکل 2- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس مربوط به تغییر زمان آسیا کاری.



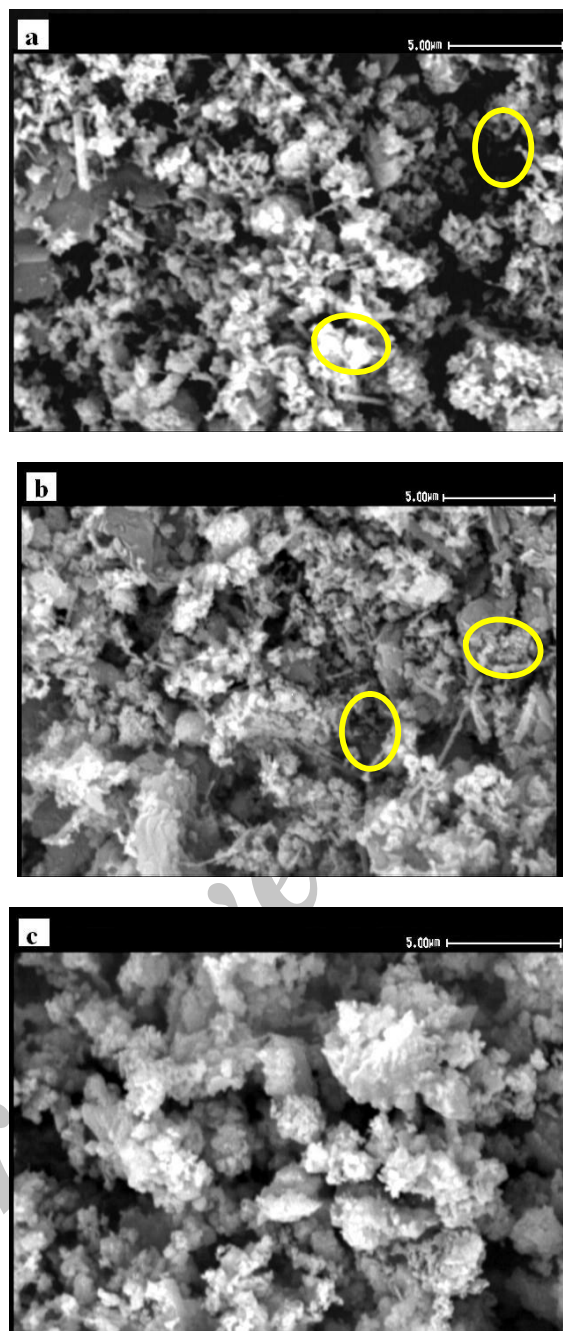
شکل 3- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس مربوط به تغییر مقدار کربن از حالت استوکیومتری.



شکل 4- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس مربوط به تغییر وزن مخلوط پودری فشرده شده.



شکل 5- دیاگرام فازی سیستم AlN-SiC [6].



شکل 6- تصاویر SEM مربوط به اثر افزایش اندازه‌ی نمونه: (a) نمونه‌ی 0/5 گرمی، (b) نمونه‌ی 2 گرمی، (c) نمونه‌ی 8 گرمی (در هر کدام از شکل‌های a و b برای نمونه، دو مورد از فاز سوزنی نشان داده شده است).