بسم الله الرحمن الرحيم

١٤٧٨٢٦-٢٠١٨٣٠٨

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مواد و متالورژی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد و متالورژی گرایش شناسایی و انتخاب مواد

سنتز احتراقی کامپوزیت سرامیکی Al_2O_3-TiB_2

استاد راهنما :

دکتر شهریار شرفی

استاد مشاور:

پروفسور محمد حسین شریعت

مؤلف:

رضا طاهرزاده موسویان

تیر ماه ۱۳۸۹

۱۳۸۹/۹/۲۸

۱۴۷۸۲۶

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی مواد ومتالورژی

دانشکده فنی ومهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : رضا طاهرزاده موسویان

استاد راهنما۱ : دکتر شهریار شرفی

استاد مشاور: دکتر محمد حسین شریعت

داور ۱ : دکتر رامین رئیس زاده

داور۲ : دکتر محمدرضا ایزدپناه

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع: مهندس محمد رنجبر

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر غلامرضا پور ابراهیم

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که وجودشان روشنی بخش حیاتمان، کلامشان راهگشای طریقتمان و مهرشان تسلای وجودمان است.

آنان که از جان خود مایه گذاشته و ما را در مشکلات و سختی‌های زندگی در پناه خود گرفتند تا اکنون شادیمان را در چنین روزی به تماشا بنشینند.

تشکر و قدردانی:

خدای بزرگ را شاکرم که در طول مدت تحصیل همواره یاری دهنده من بوده و به من صبر وشکیبایی در برابر مشکلات و ناملایمات عنایت فرمود.

در این رهگذر به رسم ادب خود را ملزم می دانم که با تواضع تام و از صمیم قلب تشکر و سپاس خالصانه خود را از:

اعضای خانواده ام، به خصوص **پدر و مادرم** که امکان ادامه تحصیل را برای من مشتاقانه فراهم کرده اند و دعای خیرشان همواره، همراه و پشتیبان من بود.

برترین سپاس ها را تقدیم اساتید ارجمند جناب **دکتر شهریار شرفی و** جناب **پروفسور محمد حسین شریعت** می نمایم که در انجام این پایان نامه صمیمانه مرا یاری فرمودند.

از تمامی **اساتید محترم بخش مواد و متالورژی** دانشگاه شهید باهنر کرمان که اینجانب افتخارشاگردیشان را داشته ام و خصوصاً از جناب آقای **دکتر محمدرضاایزدپناه** و جناب آقای **دکتر رامین رئیس زاده** که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده گرفته اند صمیمانه تشکر می نمایم.

از مسئولین محترم آزمایشگاه‌های بخش مهندسی مواد دانشگاه شهید باهنر کرمان سرکار خانم **مهندس بقایی** و سرکار خانم **مهندس دادگری‌نژاد** کمال تشکر را دارم.

در نهایت جا دارد که از دوستان گرامی آقایان محمد رضا روشن، مهدی خو اجه پور، محمد اسکندری، جمال صفری و مجید آریافر ودیگر برادران عزیزی که در طول دوره کارشناسی ارشد همواره مورد لطف ایشان بوده ام صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

رضا طاهرزاده موسویان

تیر ماه 89

چکیده

در این پژوهش امکان ساخت کامپوزیت سرامیکی Al_2O_3-TiB_2 به روش سنتز احتراقی و با استفاده از مواد واکنش دهنده آلومینیوم، اکسید تیتانیوم و اسید بوریک مورد بررسی قرار گرفت. به منظور افزایش واکنش پذیری واکنش دهنده ها، قبل از انجام فرایند سنتز احتراقی پودرهای واکنش دهنده تحت عملیات فعال سازی مکانیکی در آسیاب پرانرژی قرار گرفتند. نتایج بررسی های آنالیز فازی اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که استفاده از اسید بوریک به جای اکسید بور و هم چنین بکارگیری روش فعال سازی مکانیکی قبل از سنتز برای تولید این کامپوزیت سرامیکی به صورت درجا، موفقیت آمیز بوده و فعال سازی مکانیکی قبل از انجام سنتز احتراقی نقش بسزایی در تولید درجای این کامپوزیت داسته است. به کمک استفاده از روش آنالیز حرارتی اثر زمان و سرعت آسیاب کاری بر دمای شروع واکنش ها و همچنین شدت واکنش های سنتز احتراقی در مخلوط ترمیت Al-TiO_2-H_3BO_3 بررسی شد. نتایج حاصله از آنالیز حرارتی مخلوط پودرها نشان داد که پیش فعال سازی مکانیکی اثر قابل توجهی بر دمای شروع و شدت واکنش ها دارد. همچنین در این پژوهش امکان تولید کامپوزیت سرامیکی Al_2O_3-TiB_2 با ساختار نانو با استفاده از فرایند آسیاب کاری شدید به مدت 5، 10 و چهل ساعت، بعداز سنتز احتراقی هم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش آنالیز فازی اشعه ایکس و روش ویلیامسون-هال حاکی از آن بود که انجام آسیاب کاری شدید بعد از 10 ساعت و چهل ساعت به ترتیب موجب کاهش اندازه کریستالیت های آلومینا به 55و 33 نانومتر شده است. همچنین اثر فرایند ثانویه آسیاب کاری بر روی یکنواختی میکروساختار و اندازه و مورفولوژی ذرات حاصله نیز بررسی شده است.

کلمات کلیدی: آلومینا، دی بوراید تیتانیوم، سنتز احتراقی، فعال سازی مکانیکی، نانوساختار

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه ۱

فصل ۲- تئوری و مروری بر تحقیقات ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- معرفی مواد کامپوزیتی ۸

۲-۳- تعریف کامپوزیت ۹

۲-۴- طبقه بندی کامپوزیت ها بر اساس ساختار ۱۰

۲-۴-۱- کامپوزیت های ذره ای ۱۰

۲-۵- اجزاء یک ماده کامپوزیتی ۱۱

۲-۶- کامپوزیت های زمینه سرامیکی(CMC) ۱۱

۲-۶-۱- مواد زمینه ۱۴

۲-۶-۱-۱- آلومینا Al_2O_3 ..... ۱۵

۲-۷- روش های تولید کامپوزیت های پایه سرامیکی ۱۶

۲-۷-۱- روش های حالت جامد ۱۶

۲-۷-۱-۱- روش سنتز احتراقی ۱۹

۲-۷-۱-۱-۱- تاریخچه واکنش های سنتز احتراقی ۲۰

۲-۷-۱-۱-۲- کاربرد های روش سنتز احتراقی ۲۳

۲-۷-۱-۱-۳- مزایا و معایب روش سنتز احتراقی ۲۳

۲-۷-۱-۱-۴- انواع کلی روش سنتز احتراقی..... ۲۳

۲-۷-۱-۱-۵- ترمودینامیک روش سنتز احتراقی..... ۲۴

۲-۷-۱-۱-۶- پارامتر های مؤثر بر واکنش های سنتز احتراقی..... ۲۵

۲-۷-۱-۱-۷- دسته بندی واکنش های سنتز احتراقی..... ۲۹

۲-۷-۱-۱-۷-۱- دسته بندی فیزیوشیمیایی واکنش ها..... ۲۹

۲-۷-۱-۱-۷-۲- دسته بندی بر حسب نوع واکنش ۲۹

۲-۷-۱-۱-۷-۳- انواع دیگر فرآیند سنتز احتراقی..... ۳۳

۲-۷-۱-۱-۸- روش فعال سازی پودرها قبل از فرآیند سنتز احتراقی ۳۶

۲-۸- نانو کامپوزیت ها..... ۳۷

۲-۸-۱- تعریف نانو کامپوزیت ها..... ۳۷

۲-۸-۲- دسته بندی نانو کامپوزیت ها..... ۳۸

۲-۸-۳- بهبود خواص در نانو کامپوزیت ها..... ۳۸

۲-۸-۴- کاربرد نانو کامپوزیت ها..... ۳۹

۲-۸-۵- مزایا و معایب نانو کامپوزیت ها..... ۳۹

۲-۸-۶- روش های تولید نانو کامپوزیت ها در سنتز احتراقی..... ۴۰

۲-۹- مروری بر تحقیقات..... ۴۱

۲-۹-۱- مقدمه ۴۱

۲-۹-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده از سال ۱۹۹۷ تا کنون..... ۴۱

فصل ۳- روش پژوهش ۴۹

۳-۱- مقدمه ۵۰

۳-۲- مواد مورد استفاده ۵۰

۳-۳- فرآیند مخلوط کردن و آسیا کاری ۵۰

۳-۴- فرآیند خشک کردن نمونه ها بعد از آسیاکاری ۵۱

۳-۵- فرآیند الک کردن پودرها بعد از خشک شدن در آون ۵۲

۳-۶- فرآیند پرس سرد قبل از سنتز احتراقی ۵۲

۳-۷- فرآیند سنتز احتراقی (انفجار حرارتی) در کوره ۵۳

۳-۸- آزمایشات انجام شده بر روی پودرهای آسیاب شده و سنتز شده ۵۳

۳-۸-۱- آزمایش آنالیز حرارتی (DSC) ۵۳

۳-۸-۲- آزمایش آنالیز فازی XRD ۵۴

۳-۸-۳- بررسی میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) ۵۴

۳-۹- ارزیابی اندازه کریستالیت های آلومینا به عنوان فاز زمینه به روش ویلیامسون-هال ۵۴

فصل ٤- ارائه نتایج ۵۶

۴-۱- مقدمه ۵۷

۴-۲- نتایج حاصل از آنالیز حرارتی پودرهای آسیاب نشده و آسیاب شده در شرایط آسیا کاری متفاوت ۵۷

۴-۳- نتایج حاصل از آنالیز فازی ۶۱

۴-۳-۱- آنالیز فازی پودرهای آسیاب شده قبل از فرآیند سنتز احتراقی ۶۱

۴-۳-۲- آنالیز فازی پودرهای حرارت دیده در دستگاه DSC ۶۳

۴-۳-۳- نتایج آنالیز فازی نمونه های سنتز شده در دستگاه DSC ۶۴

۴-۳-۴- آنالیز فازی نمونه های سنتز شده در کوره حرارتی..... ۶۵

۴-۳-۵- آنالیز فازی نمونه های شدید آسیاب شده بعد از سنتز احتراقی ۶۶

۴-۳-۶- تحلیل اندازه دانه کریستالیت های آلومینا به عنوان زمینه به روش ویلیامسون-هال و نرم افزار Sigma Plot..... ۶۸

۴-۴- بررسی های میکروسکوپ الکترونی..... ۶۹

فصل ۵- بحث، نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۷۹

۵-۱- مقدمه ۸۰

۵-۲- بحث و تحلیل نتایج..... ۸۰

۵-۲-۱- امکان استفاده از اسید بوریک به جای اکسید بور برای تولید کامپوزیت Al_2O_3-TiB_2..... ۸۰

۵-۲-۲- بررسی اثرات فرآیند پیش فعال سازی مکانیکی بر سنتز احتراقی کامپوزیت Al_2O_3-TiB_2..... ۸۱

۵-۲-۳- بررسی امکان ساخت کامپوزیت های Al_2O_3-TiB_2 با ساختار نانو..... ۸۵

۵-۳- نتیجه گیری کلی ۸۷

۵-۴- پیشنهادات..... ۸۸

فصل ٦- منابع..... ۹۰

فهرست جداول و اشکال

جدول ۲-۱- مقایسه چقرمگی ($Mpam^{1/2}$) سرامیک ها و مواد متخلخل..... ۱۳

جدول ۲-۲- خواص فیزیکی و مکانیکی مواد سرامیکی..... ۱۴

شکل ۲-۱- نتایج آنالیز حرارتی مربوط به کار تحقیقاتی انجام شده در موسسه تویوتای ژاپن..... ۴۷

جدول ۳-۱- مشخصات پودرهای استفاده شده..... ۵۰

جدول ۳-۲- شرایط آسیاب کاری برای هر کدام از نمونه های آسیاب شده..... ۵۱

شکل ۳-۱- قالب سنبه و ماتریس استفاده شده برای انجام پرس سرد..... ۵۳

شکل ۴-۱- منحنی های آنالیز حرارتی برای نمونه های : (الف) نمونه ی آسیا نشده، (ب) S_1، (ج) S_2، (د) S_3، (ه) S_4، (و) S_5،(ز) S_6..... ۶۰

شکل ۴-۲- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های آسیا شدهقبل از سنتز:S_1(a)، S_2(b)، S_3(c)، S_4(d)، S_5(e)..... ۶۲

شکل ۴-۳- الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه ی آسیا شده ی S_6 قبل از سنتز احتراقی..... ۶۳

شکل ۴-۴- الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه حرارت دیده شده S_1 تا دمای ۶۶۰ درجه سانتیگراد..... ۶۴

شکل ۴-۵- الگوی پراش اشعه ایکس از نمونه های سنتز شده در دستگاه DSC، (a) نمونه ی آسیا نشده، (b) S_1، (c) S_2، (d) S_3، (e) S_4، (f) S_5، (g) S_6..... ۶۵

شکل ۴-۶- الگوی پراش اشعه ایکس از نمونه های سنتز شده در کوره حرارتی، (a) نمونه ی آسیا نشده، (b) S_1، (c) S_2، (d) S_3، (e) S_4، (f) S_5، (g) S_6..... ۶۶

شکل ۴-۷- الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های آسیا شده بعد از سنتز احتراقی، (a) نمونه ی سنتز شده، (b) نمونه ی ۵ ساعت آسیاب شده، (c) نمونه ی ۱۰ ساعت آسیاب شده، (d) نمونه ی ۴۰ ساعت آسیاب شده..... ۶۷

شکل ۴-۸- جابجایی دیده شده به سمت چپ در پیک های شکل (۴-۷)، (a) نمونه ی سنتز شده، (b) نمونه ی ۵ ساعت آسیاب شده، (c) نمونه ی ۱۰ ساعت آسیاب شده، (d) نمونه ی ۴۰ ساعت آسیاب شده..... ۶۸

شکل ۴-۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از پودرهای آسیاب شده: (الف) S_1، (ب) S_2، (ج) S_3، (د) S_5..... ۷۲

شکل ۴-۱۰- تصاویر SEM از محصولات سنتز شده در (الف) بزرگ نمایی پایین و (ب) بزرگ نمایی بالا..... ۷۴

شکل ۴-۱۱- مورفولوژی نمونه بالک سنتز شده ی S_1 در (الف) بزرگ نمایی پایین، (ب) بزرگ نمایی بالا..... ۷۶

شکل۴-۱۲- مورفولوژی پودرهای سنتز شده ای که دچار آسیاکاری شدید شده اند: (الف) بعد از ۵ ساعت آسیاکاری، (ب) بعد از ۱۰ ساعت آسیاکاری، (ج) بعد از ۴۰ ساعت آسیاکاری ۷۸

فصل اول

مقدمه

دی بورایدهای فلزات انتقالی به خصوص دی بوراید تیتانیوم، مواد پیشرفته و مهمی هستند که کاربردهای بسیاری در سلاح های سبک، نازل ها، پوشش های دمای بالا، ابزارآلات برشی، اجزای سایشی و کاربردهای دما بالا دارند. این مواد، دمای ذوب بالای ۳۰۰۰ درجه سانتی گراد و دانسیته نسبتاً کم حدود ۴/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب دارند. از جمله دیگر خواص آنها که باعث شده است کاربردهای بسیار مهمی داشته باشند سختی بالا، هدایت الکتریکی و حرارتی بالا و مقاومت بی نظیر در برابر سایش، پایداری شیمیایی بالا و مقاومت در برابر خوردگی می باشد. اضافه کردن آلومینا به عنوان یک سرامیک بسیار مناسب و پرکاربرد به دی بوراید تیتانیوم باعث افزایش بسیار محسوس استحکام خمشی، چقرمگی شکست، قابلیت زینتر شدن و مقاومت به ضربه می شود و موجب می شود که کامپوزیت حاصله به عنوان یک ماده بسیار ارزشمند برای کاربردهای دمای بالا و کاربردهای سایشی تبدیل شود.

از آنجا که دمای ذوب این سرامیک ها بسیار بالا می باشد، معمولاً این کامپوزیت ها به صورت درجا و به روش سنتز احتراقی ساخته می شوند. حسن بالای ساخت کامپوزیت به روش درجا این است که دیگر نیاز به بالا بردن دما به بالای ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد وجود ندارد. کامپوزیت های درجا را هم می توان به روش متالورژی پودر و هم به روش ریخته گری خصوصاً روش ریخته گری گردابی تهیه کرد. اما به دلیل اینکه در روش ریخته گری، مشکلاتی از قبیل ترشوندگی ضعیف آلومینیوم با سرامیک ها و هم چنین عدم توزیع یکنواخت واکنش دهنده ها در سیستم وجود دارد، بنابراین روش متالورژی پودر پرطرفدارتر می باشد. نکته حائز اهمیت این مسأله است که این روش قابلیت صنعتی شدن را نیز دارد. فرآیند سنتز احتراقی مدرن که بر اساس خاصیت واکنش های گرمازا (ترمیت) عمل می کند، روش جدید، اقتصادی و جالب جهت تولید محدوده وسیعی از مواد، نظیر سرامیک های پیشرفته، ترکیبات بین فلزی و کامپوزیت ها می باشد. حالت خاصی از فرآیند سنتز احتراقی، فرآیند انفجار حرارتی است که در آن تمامی نمونه تا دمای شروع احتراق (T_{ig}) گرم می شود و لذا واکنش در تمام نمونه در یک لحظه شروع می شود و در مدت کوتاهی حدود ۱ تا ۵ ثانیه خاتمه می یابد. با

توجه به سرعت زیاد انجام واکنش، راندمان تولید در این روش بالاست و همچنین به دلیل بالا بودن دمای جبهه احتراق (T_{com}) بسیاری از ناخالصی ها تبخیر شده و از محیط خارج می شوند، لذا محصول نهایی دارای درجه خلوص بالاتری نسبت به روش های دیگری است که در این راستا می تواند روش مناسبی برای تولید این نوع کامپوزیت ها مد نظر قرار گیرد.

برای تولید کامپوزیت سرامیکی Al_2O_3-TiB_2 به روش سنتز احتراقی، از آلومینیوم به عنوان عامل احیاء کننده به طور ثابت استفاده می شود. محققین بسیاری با استفاده از آلومینیوم و دیگر مواد لازم موفق به ساخت این کامپوزیت با ارزش شده اند. آنها از تیتانیوم و یا اکسید تیتانیوم (TiO_2) که یک ماده ارزان تر است به عنوان منبع وجود تیتانیوم در سیستم استفاده کرده اند. همچنین عنصر بور موجود در سیستم یا با استفاده از بور خالص یا با استفاده از اکسید بور (B_2O_3) فراهم می شده است [۹-۱]. اخیراً آقای وانگ دکینگ [۱۰] در سال ۲۰۰۹ موفق به تولید این کامپوزیت با استفاده از اسید بوریک (H_3BO_3)، اکسید تیتانیوم و آلومینیوم شده است. در واقع ایشان ارزان ترین مواد قابل استفاده در ساخت این کامپوزیت گران و با ارزش را به کار برده اند.

تاکنون محققان زیادی [۲۵-۱۱] در کارهای تحقیقاتی خود اثر انرژی مکانیکی وارد شده به پودرها را قبل از سنتز بررسی کرده اند و تقریباً نتایج مشابهی گرفته اند. آنها به این نتیجه رسیده اند که با افزایش انرژی مکانیکی وارد شده به پودرها شدت واکنش های سنتز بیشتر شده و در دمای شروع واکنش ها تغییرات محسوسی به وجود می آید. اما در مورد کامپوزیت Al_2O_3-TiB_2 تاکنون هیچ گزارشی یافت نشده است که اثر انرژی مکانیکی را بر رفتار سنتز احتراقی این کامپوزیت بررسی کند. در این پروژه برای اولین بار این مهم، به کمک استفاده از آنالیز حرارتی پودرها و دستگاه DSC به طور کامل بررسی شده است. نکته حائز اهمیت این است که نه تنها برای این ماده، بلکه حتی برای مواد دیگر هم تحقیقات انجام شده در زمینه اثر انرژی مکانیکی وارد شده به پودرها قبل از سنتز احتراقی، کافی نبوده و این پژوهش نسبت به کار هایی که تا کنون انجام شده دارای مشخصات منحصر بفردی است. معمولاً در پژوهش های دیده شده در این زمینه سوای ماده مورد بحث، تمرکز و توجه محققین بیشتر روی اثر

انرژی مکانیکی بر روی خواص نهایی و نوع محصولات حاصله بوده است و اگر هم این اثر روی دما و شدت واکنش ها بررسی شده باشد، آن بررسی به کمک آنالیز حرارتی نبوده و به طور دقیق تغییرات صورت گرفته در مکانیزم سنتز و ویژگی های سنتز بررسی نشده است. نکته دیگر این است که در مقالات مربوطه به طور معمول به اثر مدت زمان آسیاکاری اشاره می شود و کمتر دیده شده است که اثر سرعت آسیاکاری مورد بررسی قرار گیرد.

تولید نانو کامپوزیت های ساخته شده به روش سنتز احتراقی کار بسیار دشواری است چراکه دمای فرآیند در این روش بسیار بالا می رود و احتمال درشت شدن دانه ها بسیار زیاد است. اما روش هایی برای رسیدن به نانو ساختارهای کامپوزیتی وجود دارند که سنتز احتراقی همراه با آسیاکاری شدید و سنتز احتراقی همراه با اکتیواسیون مکانیکی از جمله آنها می باشند. تا آنجا که گزارش شده است تاکنون ساخت نانو کامپوزیت سرامیکی Al_2O_3-TiB_2 در هیچ کجا گزارش نشده است. نکته بسیار مهمی که در این باب باید مطرح شود این است که ساخت نانو کامپوزیتها به روش آسیاکاری مکانیکی (مکانوشیمیایی) روش بسیار معمول و راحتی است و ممکن است که این مسأله مطرح شود که این نانو کامپوزیت ها به راحتی به روش مکانوشیمیایی می توانند ساخته شوند و نیازی به انجام سنتز و سپس آسیاب وجود ندارد. اما لازم است که تفاوت های مهم روش مکانوشیمیایی با روش انجام شده در این پژوهش مطرح شود. نقطه عطف این پروژه که ارزش اقتصادی بسیار بالایی دارد استفاده از ماده بسیار ارزان قیمت اسید بوریک به جای عنصر بور و یا اکسید بور می باشد. قیمت هر کیلو بور خالص محصول شرکت مرک آلمان ۶/۵ میلیون تومان و هر کیلو اکسید بور با خلوص بالا ساخت شرکت مرک آلمان ۲۸۰ هزار تومان است. این در حالی است که قیمت هر کیلو اسید بوریک خریداری شده در این پروژه تنها ۶ هزار تومان بوده است. بنابراین در صورت دستیابی به این کامپوزیت ارزشمند با استفاده از اسید بوریک به جای بور یا اکسید بور می توان قیمت نهایی این کامپوزیت را بسیار پایین آورد. اما نکته ی مهم این است که در محفظه آسیاب و حین روش مکانوشیمیایی نمی توان رطوبت موجود در اسید بوریک را گرفت و هر چقدر هم که دما بالا رود باز

مقدار بسیار زیادی رطوبت در سیستم موجود می باشد که نه تنها راندمان تولید را پایین می آورد بلکه موجب افت شدید خواص مکانیکی نهایی می شود. اما در حین سنتز احتراقی طبق محاسبات ترمودینامیکی انجام شده دمای آدیاباتیک به بالای ۲۳۰۰ درجه سانتیگراد می رسد و در کمتر از چند دهم ثانیه کل رطوبت موجود در سیستم خارج می شود. نکته دیگر این است که در روش مکانوشیمیایی در حین آسیاکاری، آلودگی ناشی از عامل کنترل کننده فرآیند (PCA) و همچنین آلودگی ناشی از آهن و دیگر ناخالصی های موجود در سیستم باعث افت بسیار شدید خواص شده و خلوص محصول نهایی را به شدت پایین می آورد. اما شاید بتوان مطرح کرد که اصلی ترین امتیاز استفاده از روش سنتز احتراقی تولید محصولاتی با خلوص بسیار بالا است [۲۷و۲۶] چرا که دما بسیار بالا رفته و ناخالصی ها به شکل گاز و بخار از سیستم خارج می شوند. در واقع مهم ترین دلیلی که باعث می شود که محصولات سنتز احتراقی متخلخل شوند همین مسأله است. نکته دیگر که تفاوت های تکنولوژیکی بین نانو کامپوزیت های تولید شده به روش انجام شده در این پژوهش را با نانوکامپوزیت های ساخته شده احتمالی در روش مکانوشیمیایی نشان می دهد بحث زمان فرآیند است. در این پژوهش همانطور که در قسمت نتایج مطرح شده است تنها در عرض کمتر از ۳۰ ثانیه کامپوزیت سرامیکی مزبور در کوره های سنتی، سنتز شده است و با انجام تنها ۱۰ ساعت آسیاکاری شدید اندازه کریستالیت های آلومینا به ۵۵ نانو متر رسیده است. این در حالی است که در حین بررسی اثر مقدار انرژی مکانیکی داده شده به پودرها قبل از سنتز احتراقی مشخص شد که بعد از ۲۵ ساعت آسیاکاری تنها ترکیبات بین فلزی Al-Ti و Al-B تولید شده اند و هیچ اثری از تشکیل دی بورایدتیتانیوم دیده نشد. حتی به فرض اینکه رطوبت اسید بوریک بتواند از آسیاب خارج بشود و دی بورایدتیتانیوم هم تشکیل شود باز زمان زیادی باید به سیستم داده شود تا اندازه کریستالیت ها به مقیاس نانو برسد. بنابراین صرف نظر از دیگر مسائل مطرح شده، زمان رسیدن به این کامپوزیت با ساختار نانو با روش صورت گرفته در این پروژه بسیار کوتاه تر از روش مکانوشیمیایی در آسیاب است.

بنابراین در این پروژه ۳ هدف مهم مورد بررسی قرار گرفته شده است: ۱- بررسی امکان ساخت کامپوزیت مزبور با استفاده از ماده ارزان قیمت اسید بوریک. ۲- بررسی اثر انرژی مکانیکی وارد شده به پودرهای واکنش دهنده قبل از فرآیند انفجار حرارتی. ۳- بررسی امکان ساخت کامپوزیت مزبور با ساختار نانو با استفاده از ترکیبی از روش های اول و دوم ذکرشده در بالا.

این پایان نامه شامل ۵ فصل می باشد. فصل اول شامل مقدمه و معرفی کلی این پژوهش و بررسی اهداف مورد نظر است. در فصل دوم مروری اجمالی بر روش های ساخت کامپوزیت های سرامیکی و بالاخص روش سنتز احتراقی و همچنین مروری بر کارهای انجام شده صورت گرفته است. در فصل سوم روش تحقیق و در فصل چهارم نتایج حاصله از انجام آزمایشات ارائه شده است. در نهایت در فصل پنجم نتیجه گیری عمده و پیشنهاداتی برای ادامه این کار مطرح شده است.

فصل دوم

تئوری و مروری بر

تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

بیش از چند دهه است که مواد کامپوزیتی، پلاستیک ها و سرامیک ها به عنوان مواد برتر شناخته شده اند. حجم کاربرد مواد کامپوزیت به طور پیوسته رشد پیدا کرده و در بازارهای جدید نفوذ و تسخیر زیادی داشته است [۲۸-۳۲]. از جمله مهمترین دسته های مواد کامپوزیتی، کامپوزیت های زمینه سرامیکی[۱](CMC) هستند. این کامپوزیت ها را می توان به صورت درجا و به روش های گوناگونی نظیر روش سنتز احتراقی که از زیرشاخه های روش متالورژی پودر است تولید کرد. در این فصل مطالبی در مورد کامپوزیت های پایه سرامیکی و روش های تولید آنها ارائه می شود و به طور مفصل در مورد روش سنتز احتراقی که موضوع اصلی این پایان نامه است بحث خواهد شد. سپس مطالبی در مورد نانوکامپوزیت ها و نحوه تولید آنها در فرآیند سنتزاحتراقی ارائه می شود.

۲-۲- معرفی مواد کامپوزیتی

بسیاری از نیازهای صنعتی مانند صنایع فضایی، راکتور سازی، الکترونیکی، ساختمان سازی، الکتریکی، حمل و نقل و غیره...نمی توانند با استفاده از مواد معمولی برآورده شوند و نیاز به تغییر گسترده خواص دارند. از طرف دیگر در کاربردهای مهندسی اغلب تلفیق خواص، مورد نیاز است. به عنوان مثال در صنایع هوافضا، کاربردهای زیرآبی، حمل و نقل... امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص مورد نظر را فراهم نماید وجود ندارد. در این صنایع به موادی نیاز است که ضمن داشتن استحکام بالا، سبک باشند و همچنین مقاومت سایشی و مقاومت به ضربه خوبی داشته باشند. بنابراین استفاده از کامپوزیت ها در بسیاری از موارد تنها راه حل مشکل است [۲۸-۳۲].

مطمئناً، استفاده از کامپوزیت ها بیشتر از فلزات باعث صرفه جویی در هزینه و وزن می گردد. موارد متعددی از این نوع صرفه جویی در موتورها اعمال شده است. انحنای ظریف و پخ های مناسب با استفاده از مواد کامپوزیتی به جای قسمتهای فلزی جوشکاری شده در سیلندرها، تیوپ ها، لوله های

---

[۱] .Ceramic Matrix Composite