بسم الله الرحمن الرحيم

پژوهشگاه مواد و انرژی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد- سرامیک

بهبود خواص مکانیکی و ریزساختار نانوکامپوزیت مولایت-سیلیکون کاربید به‌کمک فرایند سینتر دو مرحله‌ای

دانشجو:

سید سعید میرزایی

استاد راهنما:

دکتر اسماعیل صلاحی

استاد مشاور:

دکتر تورج عبادزاده

شهریور ماه ۱۳۹۰

«راستش را به ما نگفتند یا لااقل همه راست را به ما نگفتند»

گفتند: تو که بیایی خون به پا می‌کنی، جوی خون به راه می‌اندازی و از کشته، پشته می‌سازی و ما را از ظهور تو ترساندند.

درست مثل اینکه حادثه‌ای به شیرینی تولد را کتمان کنند و تنها از درد زادن بگویند.

ما از همان کودکی، تو را دوست داشتیم. با همه فطرتمان به تو عشق می‌ورزیدیم و با همه وجودمان بی‌تاب آمدنت بودیم.

عشق تو با سرشت ما عجین شده بود و آمدنت، طبیعی‌ترین و شیرین‌ترین نیازمان بود.

اما ... اما کسی به ما نگفت که چه گلستانی می‌شود جهان، وقتی که تو بیایی.

همه، پیش ازآنکه نگاه مهرگستر و دستهای عاطفه تو را توصیف کنند، شمشیر تو را نشانمان دادند.

آری، برای اینکه گل‌ها و نهال‌ها رشد کنند، باید علف‌های هرز را وجین کرد و این جز با داسی برنده و سهمگین، ممکن نیست.

آری، برای اینکه مظلومان تاریخ، نفسی به راحتی بکشند، باید پشت و پوزه ظالمان و ستمگران را به خاک مالید و نسلشان را از روی زمین برچید.

آری، برای اینکه عدالت بر کرسی بنشیند، هر چه سریر ستم‌آلوده سلطنت را باید واژگون کرد و به دست نابودی سپرد.

و اینها همه، همان معجزه‌ای است که تنها از دست تو برمی‌آید و تنها با دست تو محقق می‌شود.

اما مگر نه اینکه این‌ها همه مقدمه است برای رسیدن به بهشتی که تو بانی آنی.

آن بهشت را کسی برای ما ترسیم نکرد.

کسی به ما نگفت که آن ساحل امید که در پس این دریای خون نشسته است، چگونه ساحلی است؟!

کسی به ما نگفت که وقتی تو بیایی:

پرندگان در آشیانه‌های خود جشن می‌گیرند و ماهیان دریاها شادمان می‌شوند و چشمه‌ساران می‌جوشند و زمین چندین برابر محصول خویش را عرضه می‌کند (۱).

به ما نگفتند که وقتی تو بیایی:

دل‌های بندگان را آکنده از عبادت و اطاعت می‌کنی و عدالت بر همه جا دامن می‌گسترد و خدا به واسطه تو دروغ را ریشه‌کن می‌کند و خوی ستمگری و درندگی را محو می‌سازد و طوق ذلت و بردگی را از گردن خلایق برمی‌دارد (۲).

به ما نگفتند که وقتی تو بیایی:

ساکنان زمین و آسمان به تو عشق می‌ورزند، آسمان بارانش را فرو می‌فرستد، زمین گیاهان خود را می‌رویاند ..... و زندگان آرزو می‌کنند که کاش مردگانشان زنده بودند و عدل و آرامش حقیقی را می‌دیدند؛ و می‌دیدند که خداوند چگونه برکاتش را بر اهل زمین فرو می‌فرستد (۳).

به ما نگفتند که وقتی تو بیایی:

همه امت به آغوش تو پناه می‌آورند همانند زنبوران عسل به ملکه خویش. و تو عدالت را آنچنان که باید و شاید، در پهنه جهان می‌گستری و خفته‌ای را بیدار نمی‌کنی وخونی را نمی‌ریزی (۴).

به ما نگفته بودند که وقتی تو بیایی:

رفاه و آسایشی می‌آید که نظیر آن پیش از این نیامده است. مال و ثروت آنچنان وفور می‌یابد که هر کس نزد تو بیاید فوق تصورش را دریافت می‌کند (۵).

به ما نگفتند که وقتی تو بیایی:

اموال را چون سیل جاری می‌کنی و بخشش‌های کلان خویش را هرگز شماره نمی‌کنی (۶).

به ما نگفتند که وقتی تو بیایی:

هیچ کس فقیر نمی‌ماند و مردم برای صدقه دادن به دنبال نیازمند می‌گردند و پیدا نمی‌کنند. مال را به هر که عرضه می‌کنند، می‌گوید: بی‌نیازم (۷).

ای محبوب ازلی و ای معشوق آسمانی!

ما بی آنکه مختصات آن بهشت موعود را بدانیم و مدینه فاضله حضور تو را بشناسیم تو را دوست می‌داشتیم و به تو عشق می‌ورزیدیم.

که عشق تو با سرشت‌ها عجین شده بود و آمدنت طبیعی‌ترین و شیرین‌ترین نیازمان بود.

ظهور تو بی‌تردید بزرگترین جشن عالم خواهد بود و عاقبت جهان را ختم به خیر خواهد کرد.

اللهم عجل لولیک الفرج

پی‌نوشتها:

۱- پیامبر اکرم صلی الله علیه و آله و سلم: مفعند ذلک تفرح الطیور فی اوکارها و الحیتان فی بحارها و تفیض العیون و تنبت الارض ضعف اکلها؛ ینابیع المودۀ، ج ۲، ص ۱۳۶.

۲- پیامبر اکرم صلی الله علیه و آله و سلم: یفرج الله بالمهدی عن الامه، بملا قلوب العباد عبادۀ و یسعهم عدله، به یمحق الله الکذب و یذهب الزمان الکلب و یخرج ذل الرق من اعناقکم؛ بحارالانوار، ج ۵۱، ص ۷۵.

۳- پیامبر اکرم صلی الله علیه و آله و سلم: یحبه ساکن الارض و ساکن السماء و ترسل السماء فطرها و تخرج الارض نباتها. لاتمسک منه شیئا، یعیش فیهم سبع سنین او ثمانیا او تسعا. یتمنی الاحیاء الاموات لیرو العدل و الطمانینه و ما صنع الله باهل الارض من خیره؛ بحارالانوار، ج ۵۱، ص ۱۰۴.

۴- پیامبر اکرم صلی الله علیه و آله و سلم: یاوی الی المهدی امته کمال تاوی النحل الی یعسوبها و یسیطر العدل حتی یکون الناس علی مثل امرهم الاول، لایوقظ نائما و لایهریق دما؛ منتخب الاثر، ص ۴۷۸.

۵- پیامبر اکرم صلی الله علیه وآله وسلم: تنعم امتی فی دنیاه نعیما لم تنعم مثله قط. البر منهم والفاجر والمال کدوس یاتیه الرجل فیحثوله؛ البیان، ص ۱۷۳.

۶- پیامبر اکرم صلی الله علیه وآله وسلم: یفیض المال فیضا و یحثو المال حثوا و لایعده عدا؛ صحیح مسلم، ج ۸، ص ۱۸۵.

۷- پیامبر اکرم صلی الله علیه وآله وسلم: یفیض فیهم المال حتی یهم الرجل بماله من یقبله منه حتی یتصدق فیقول الذی یعرضه علیه: لا ارب لی به؛ مسنداحمد، ج ۲، ص ۵۳۰.

تقدیم به:

پدر و مادر

و

خانواده‌ام

که در تمامی مراحل زندگی همراه و پشتیبان من بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می‌دانم از زحمات اساتید گرانقدرم در طول دوره کارشناسی ارشد به‌ویژه اساتید راهنما و مشاورم، جناب آقایان دکتر اسماعیل صلاحی و تورج عبادزاده که در انجام این پروژه از هیچ کمکی دریغ نکردند تشکر و قدردانی کنم.

همچنین از تمامی پرسنل پژوهشگاه مواد و انرژی، مسئولین آزمایشگاه‌ها و همکاران عزیزم و علی‌الخصوص جناب آقای دکتر رحیمی پور، ریاست محترم پژوهشکده سرامیک، که مساعدت لازم جهت حضور در آزمایشگاه را داشتند، کمال تشکر را دارم.

در نهایت از زحمات دوستان عزیزم جناب آقایان مهندس علی عسجدی و محمد حسن بارونیان و تمامی عزیزانی که به نحوی به بنده در اتمام این پروژه کمک کردند تشکر می کنم.

وَ مِنَ اللهَ التّوفیق

میرزایی

چکیده

در این پروژه به بررسی امکان تهیه کامپوزیت مولایت- سیلیکون کاربید به‌روش سینتر دو مرحله‌ای و مقایسه آن با سینتر معمولی پرداخته شده است. بدین‌منظور برای سینتر معمولی، نمونه‌ها در دماهای گوناگون و به‌مدت ۵ ساعت در هر دما سینتر شده و برای سینتر دو مرحله‌ای، مرحله اول در شرایط حرارت دهی با سرعت ثابت به‌منظور دست‌یابی به چگالی اولیه بالا و مرحله دوم با نگهداری نمونه‌ها در دمایی پایین‌تر، جهت افزایش چگالی بدون رشد دانه، انجام شده است. آزمایش‌های انجام شده برای تعیین دماهای بهینه طراحی شده‌اند. مشخص شده است که دمای ۱۶۵۰ درجه سانتی‌گراد برای مرحله اول به‌دلیل بیشترین سرعت تراکم مناسب است. همچنین سینتر همدما در دمای ۱۵۵۰ درجه ساتتی‌گراد و در مدت زمان‌های گوناگون به‌منظور جلوگیری از نفوذ سطحی و بهبود چگالی انجام شد. میانگین اندازه دانه نمونه‌های تقریبا چگال (۹۵ درصد چگالی تئوری) تهیه شده به‌روش سینتر معمولی، با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، حدود ۴/۸ میکرومتر محاسبه شد. به‌هرحال، در فرایند سینتر دو مرحله‌ای، میانگین اندازه نهایی دانه (حدود ۱/۴۵ میکرومتر) ۳/۵ مرتبه نسبت به سینتر معمولی کاهش نشان می‌دهد. علاوه بر این، استحکام خمشی سه نقطه‌ای نمونه‌های سینتر شده به‌روش دو مرحله‌ای در چگالی یکسان ۹۵ درصد، به‌دلیل اندازه دانه کوچک‌تر، تاحدود ۱۵ درصد نسبت به سینتر معمولی و از ۵۲۰ به ۶۰۰ مگاپاسکال بهبود پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی: سینتر دو مرحله‌ای، مولایت، سیلیکون کاربید، استحکام مکانیکی

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل۱ مقدمه ۱

فصل۲ مروری بر منابع مطالعاتی ۴

۲-۱. مولایت ۵
۲-۲. ساختار بلورین مولایت ۸
۲-۳. ویژگی‌های ساختاری مولایت ۱۳
۲-۳-۱. ویژگی‌های کشسانی ۱۳
۲-۳-۲. رسانش گرمایی ۱۴
۲-۳-۳. ضریب انبساط حرارتی ۱۴
۲-۳-۴. رشد بلور، انحلال و خوردگی ۱۵
۲-۳-۵. ویژگی‌های مکانیکی ۱۶
۲-۴. کاربید سیلیسیم ۱۶
۲-۴-۱. تاریخچه ۱۷
۲-۵. برخی از ویژگی‌های کاربید سیلیسیم ۱۹
۲-۵-۱. ویژگی‌های مکانیکی ۱۹
۲-۵-۲. رسانش الکتریکی ۲۲
۲-۵-۳. رسانش گرمایی ۲۲
۲-۵-۴. ویژگی‌های شیمیایی ۲۳
۲-۵-۵. اکسید شدن سیلیکون کاربید ۲۴
۲-۶. کامپوزیت ۲۸
۲-۶-۱. طبقه‌بندی و ویژگی‌های مواد کامپوزیتی ۲۹
۲-۶-۲. کامپوزیت‌های زمینه مولایتی ۳۰
۲-۷. فرایند سینتر کردن ۳۲
۲-۷-۱. تئوری سینتر دو مرحله‌ای ۳۳
۲-۷-۲. سینتیک تراکم دو مرحله‌ای ۳۴
۲-۷-۳. معیار تعیین درجه حرارت سینتر ۳۷
۲-۷-۴. اثر سرعت گرمایش ۳۸
۲-۷-۵. اثر دماهای اولیه و ثانویه و زمان نگهداری در مرحله‌ی دوم ۳۹
۲-۷-۶. اثر ساختار بلورین ۴۱
۲-۷-۷. اثر ذرات فاز دوم ۴۲

فصل۳ فعالیت‌های تجربی ۴۴

۳-۱. مواد اولیه ۴۵
۳-۲. تهیه نمونه‌ها ۴۵
۳-۳. سنتز مولایت ۴۶

۳-۴. تهیه کامپوزیت مولایت – سیلیکون کاربید ۴۷
۳-۵. تعیین دمای اولیه سینتر (T_1) ۴۸
۳-۵-۱. تعیین چگالی نمونه‌ها به‌روش غوطه‌وری (ارشمیدس) ۴۸
۳-۶. تعیین دمای ثانویه سینتر (T_2) ۴۹
۳-۷. بررسی ویژگی‌های کامپوزیت ۴۹
۳-۷-۱. بررسی ریزساختار پس از عملیات حرارتی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۹
۳-۷-۲. تعیین متوسط اندازه دانه پودر و کامپوزیت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۰
۳-۷-۳. بررسی خواص مکانیکی نمونه‌ها ۵۰

فصل ۴ نتایج و بحث **۵۲**

۴-۱. سنتز مولایت ۵۳
۴-۱-۱. واکنش‌های هنگام فرایند سل- ژل ۵۳
4-1-2. مطالعات آنالیز حرارتی هم‌زمان مولایت ۵۳
۴-۱-۳. بررسی الگوی پراش پرتو ایکس مولایت ۵۴
۴-۱-۴. نتایج میکروسکوب الکترونی روبشی مولایت ۵۵
۴-۲. نتایج مربوط به نانوکامپوزیت مولایت –سیلیکون کاربید پیش از انجام فرایند سینتر کردن ۵۷
۴-۲-۱. بررسی فشارهای مختلف پرس ۵۷
۴-۳. نتایج مربوط به نانوکامپوزیت مولایت –سیلیکون پس از انجام فرایند سینتر کردن ۵۸
۴-۳-۱. فرایند سینتر معمولی ۵۸
۴-۳-۲. فرایند سینتر دو مرحله‌ای ۶۴
۴-۳-۳. تعیین دمای اولیه سینتر (T_1) ۶۴
۴-۳-۴. تعیین دمای ثانویه سینتر (T_2) ۶۸
۴-۳-۵. اثر زمان نگهداری در دمای ثانویه (T_2) ۶۹
۴-۳-۶. بررسی سطح شکست کامپوزیت توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ۷۴
۴-۴. خواص مکانیکی ۷۵

فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادها **۷۸**

۵-۱. نتیجه گیری ۷۹
۵-۲. پیشنهادات ۸۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱- مولایت طبیعی. الف) تصویر سطح مقطع مولایت تشکیل شده در جزایر مال اسکاتلند. ب) تصویر SEM مولایت تشکیل شده به‌صورت هیدروترمال در کوه‌های ایفل در آلمان..... ۵
شکل ۲- ۲- تعداد انتشارات مرتبط با مولایت و سرامیک‌های مولایتی که در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ منتشر شده است..... ۶
شکل ۲- ۳- سرامیک‌های مولایتی. الف) تک‌بلورهای مولایتی رشد داده شده به‌روش چکرالسکی. ب) ریزساختار کاملا متراکم سرامیک‌های مولایتی بس‌بلورین..... ۷
شکل ۲- ۴- ساختار بلورین سیلیمانیت، الف) در جهت محور c، ب) در جهت محور a. دیده می‌شود که سیلیمانیت مدل ساده‌ای برای نشان دادن روابط ساختاری در مولایت است..... ۹
شکل ۲- ۵- ساختار بلورین مولایت به‌دست آمده از سیلیمانیت، الف) سیلیمانیت، ب) مولایت. فلش‌ها اصلاح ساختاری هنگام تبدیل سیلیمانیت به مولایت را نشان می‌دهد. فلش بزرگ جهت حرکت کاتیون‌های T را نشان می‌دهد، فلش ریز نقاط پل‌زنی اتم‌های اکسیژن را که در مولایت تبدیل به سه خوشه‌ای می‌شود را نشان می‌دهد. □= جای خالی اکسیژن، ج) الگوی پراش الکترونی مولایت ۲/۱ را نشان می‌دهد..... ۱۱
شکل ۲- ۶- ثوابت شبکه مولایت در مقابل مقدار آلومینا موجود در مولایت..... ۱۳
شکل ۲- ۷- فرآیند رشد سوزنی شکل مولایت موازی با محور C..... ۱۵
شکل ۲- ۸- نمایشی از کوره اچسون..... ۱۸
شکل ۲- ۹- تغییرات استحکام دما بالای سیلیکون کاربید..... ۲۰
شکل ۲- ۱۰- مقایسه استحکام دما بالای سیلیکون کاربید و سیلیکون نیترید..... ۲۱
شکل ۲- ۱۱- مقاومت به شوک پذیری سیلیکون کاربید..... ۲۲
شکل ۲- ۱۲- نمودار نمایشی سینتر دو مرحله‌ای..... ۳۴
شکل ۲- ۱۳پنجره سینتیکی برای رسیدن به تراکم کامل بدون رشد دانه. نقاط توپر شرایط دما و اندازه دانه مربوط به مرحله دوم سینتر ایتریا خالص می‌باشد. نقاط توخالی خارج از مرز بالایی، شرایط رشد دانه در مرحله دوم سینتر و نقاط توخالی زیر مرز پایینی شرایطی که تراکم کامل در مرحله دوم سینتراتفاق نمی‌افتد را نشان می‌دهند. مرزهای مشابه برای ایتریا دوپ شده با ۱٪ نیوبیوم (خط چین) و با ۱٪ منیزیم (نقطه چین) نشان داده شده است..... ۳۵
شکل ۲- ۱۴- رابطه آرنیوسی تحرک مرزدانه بدون مانع (Grain Boundary Mobility)، نفوذ مرزدانه‌ای، تحرک مرزدانه به همراه نقاط سه‌گانه (Junction Mobility)..... ۳۶
شکل ۲- ۱۵تفاوت سرعت تراکم و اندازه دانه در سینتر با سرعت حرارت‌دهی ثابت برای نمونه‌ی آلومینا و ۵٪ زیرکونیا ۳۷
شکل ۲- ۱۶منحنی سینتر دو مرحله‌ای آلومینا با سرعت‌های گرمایش متفاوت..... ۳۹
شکل ۲- ۱۷- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های سینتر شده (الف) ۱۲۵۰°C/0h، (ب) ۱۳۵۰°C/0h و (ج) ۱۲۵۰°C/4h. چگالی مربوط به هر نمونه در روی تصویر آورده شده است..... ۴۰
شکل ۲- ۱۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌های سینتر شده به‌روش معمولی و دو مرحله‌ای (الف) آلومینا (ب) ایتریا ۳٪ مولی زیرکونیا (ج) ایتریا ۸٪ مولی زیرکونیا..... ۴۱

شکل ۲- ۱۹- نسبت اندازه دانه‌ی به‌دست آمده از روش سینتر دو مرحله‌ای به سینتر معمولی در سرامیک‌هایی با ساختار متفاوت ۴۲
شکل ۲- ۲۰- ریزساختار آلومینای کاملاً متراکم تهیه شده از (الف) سینتر با سرعت حرارت دهی ثابت (۱۶۰۰ºC/0h) و (ب) سینتر دو مرحله‌ای (T_1=۱۴۵۰ºC، T_2=۱۳۵۰ºC/12h). داته‌های روشن که با فلش مشخص شده فاز زیرکونیا می‌باشد ۴۳

شکل ۳- ۱- فلوچارت سنتز کامپوزیت مولایت – سیلیکون کاربید ۴۶
شکل ۳- ۲- نمایش آزمون استحکام خمشی سه نقطه‌ای ۵۱

شکل ۴- ۱- نمودار آنالیز حرارتی هم‌زمان پودر مخلوط شده ژل پایه آلومینا و نانو سیلیس از دمای محیط تا دمای ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد ۵۴
شکل ۴- ۲- الگوهای پراش پرتو ایکس ژل پایه آلومینا و نانو سیلیس کلسینه شده به‌مدت ۲ ساعت در دماهای (الف) ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و (ب) ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ۵۵
شکل ۴- ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) پودر مولایت سنتز شده در دمای ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد (ب) پودر مولایت سنتز شده در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ۵۶
شکل ۴- ۴- نمودار فشار پرس بر حسب چگالی خام قطعات مولایت- سیلیکون کاربید ۵۷
شکل ۴- ۵- نمودار چگالی بر حسب دمای سینتر کردن کامپوزیت مولایت – ۵ درصد وزنی سیلیکون کاربید ۵۸
شکل ۴- ۶- نمودار چگالی بر حسب دمای سینتر کردن کامپوزیت مولایت – ۱۰ درصد وزنی سیلیکون کاربید ۵۹
شکل ۴- ۷- نمودار درصد تخلخل باز محاسبه شده به‌روش ارشمیدس بر حسب دمای سینتر ۶۰
شکل ۴- ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی کامپوزیت مولایت- ۵ درصد وزنی سیلیکون کاربید سینتر شده در دمای (الف) ۱۵۵۰، (ب) ۱۶۰۰، (ج) ۱۶۵۰، (د) ۱۶۸۰ و (ه) ۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد ۶۳
شکل ۴- ۹- تاثیر دمای سینتر بر چگالی و اندازه دانه کامپوزیت ۶۴
شکل ۴- ۱۰- تغییرات سرعت تراکم و اندازه دانه در حرارت دهی با سرعت ثابت ۶۵
شکل ۴- ۱۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و اندازه دانه مربوط به مرحله اول فرایند سینتر در دماهای (الف) ۱۵۰۰، (ب) ۱۵۵۰، (ج) ۱۶۰۰، (د) ۱۶۵۰ و (ه) ۱۶۸۰ درجه سانتی‌گراد ۶۸
شکل ۴- ۱۲- تاثیر دمای ثانویه بر چگالی و اندازه دانه نمونه‌ها ۶۹
شکل ۴- ۱۳- منحنی چگالی نسبی و اندازه دانه بر حسب زمان نگهداری در دمای ثانویه نمونه‌های سینتر شده دو مرحله‌ای ۷۰
شکل ۴- ۱۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به زمان نگهداری در دمای ثانویه. (الف) ۰، (ب) ۵، (ج) ۸، (د) ۱۰، (ه) ۱۵ و (و) ۲۰ ساعت ۷۳
شکل ۴- ۱۵- نمونه سطح شکست کامپوزیت مولایت – سیلیکون کاربید (الف) سینتر معمولی (ب) سینتر دو مرحله‌ای ۷۵
شکل ۴- ۱۶- منحنی استحکام خمشی بر حسب دمای سینتر برای نمونه‌های سینتر شده معمولی ۷۶
شکل ۴- ۱۷- منحنی استحکام خمشی بر حسب زمان نگهداری در دمای ثانویه برای نمونه‌های سینتر شده به روش دو مرحله‌ای ۷۶
شکل ۴- ۱۸- منحنی استحکام خمشی بر حسب چگالی نسبی نمونه‌های سینتر شده به دو روش معمولی و دو مرحله‌ای ۷۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲- ۱- ویژگی‌های ترمومکانیکی سرامیک‌های مولایتی و دیگر سرامیک‌های اکسیدی پیشرفته ۷
جدول ۲- ۲- اطلاعات ساختاری سیلیمانیت و مولایت‌های ۲/۱ و ۳/۲ ..... ۹
جدول ۲- ۳- ضرایب انبساط حرارتی مولایت آلاییده شده با Cr و مولایت خالص ۱۵
جدول ۲- ۴- ساختار بلوری و نحوه چیده شدن رایج لایه‌ها در سیلیکون کاربید ۱۷
جدول ۲- ۵- مقاومت خوردگی سیلیکون کاربید در برابر محلول‌های مختلف ۲۴
جدول ۲- ۶- خلاصه خصوصیات و ویژگی‌های کاربید سیلیسیم ۲۷
جدول ۲- ۷- چگالی و اندازه دانه‌ی نمونه‌های آلومینای سینتر شده تحت پارامترهای مختلف فرایند سینتر دو مرحله‌ای ۴۰

جدول ۴- ۱- چگالی مربوط به دماهای مختلف فرایند سینتر کردن. ۶۴

فصل۱

مقدمه

تهیه کامپوزیت‌ها به‌منظور بهبود خواص مواد انجام می‌شود. به‌طور کلی مواد نانوکامپوزیت را می‌توان به‌عنوان مواد مرکب از بیش از یک فاز جامد که در آن حداقل یکی از فازها دارای ابعادی در محدوده نانومتر باشد، تعریف کرد. در این کار، نانوکامپوزیت مولایت (به‌عنوان فاز زمینه) و سیلیکون کاربید (به‌عنوان فاز تقویت کننده) تهیه شده و از فرایند سینتر کردن دو مرحله‌ای برای دست‌یابی به چگالی بالا و اندازه دانه پایین استفاده شده است.

فرایند سینتر کردن در سرامیک‌ها به‌منظور دست‌یابی به تراکم و چگالی بالا انجام می‌پذیرد. رسیدن به این مقصود نیازمند افزایش دما و زمان در هنگام فرایند می‌باشد که این مسئله موجب ایجاد مشکلاتی مانند رشد افراطی دانه می‌شود. برای جلوگیری از رشد افراطی دانه در هنگام فرایند، راه‌های زیادی وجود دارد که یکی از جدیدترین و موثرترین آن‌ها فرایند سینتر دو مرحله‌ای است. در این روش ابتدا پودر مورد نظر تا دمای بالایی، که کمتر از دمای فرایند سینتر معمولی است، با سرعت ثابت گرم شده و پس از رسیدن به دمای مورد نظر (T_1) به‌سرعت به دمایی پایین‌تر (T_2) از آن سرد شده و در آن دما برای مدت زمان معینی نگه داشته می‌شود تا سیستم به چگالی مورد نظر برسد. در این روش با حفظ نفوذ مرزدانه‌ای از مهاجرت مرزدانه جلوگیری خواهد شد. بنابراین می‌توان به ریزساختاری با چگالی بالا و اندازه دانه‌ی پایین دست پیدا کرد.

مولایت و سیلیکون کاربید به‌دلیل ویژگی‌های مکانیکی دما بالا و مقاومت شیمیایی، دو ماده مهم در زمینه سرامیک‌های مهندسی محسوب می‌شوند. اما، هر دوی این مواد از چقرمگی شکست ضعیف رنج می‌برند که کاربرد آن‌ها را در زمینه‌های گوناگون محدود می‌کند. از آن‌جا که ضریب انبساط حرارتی مولایت و سیلیکون کاربید بسیار نزدیک به یکدیگر است (مولایت: $5/4\times10^{-6}$ /°C، سیلیکون کاربید: $4/7\times10^{-6}$ /°C)، می توان از این دو ماده برای تشکیل کامپوزیت استفاده کرد که چقرمگی شکست آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از هر دوی آن‌ها است. با این حال، ساخت کامپوزیت متشکل از سیلیکون کاربید و مولایت، تا حدی دشوار بوده و همچنین برای جلوگیری از اکسیداسیون سیلیکون کاربید باید همواره در اتمسفر خنثی باشد. فرایندهای متعارف تهیه این کامپوزیت شامل پرس گرم و پرس ایزواستاتیک گرم می‌باشد. در این پروژه از فرایند سینتر کردن دو مرحله‌ای برای بهبود ریزساختار و خواص مکانیکی نانوکامپوزیت مولایت – سیلیکون کاربید استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی و استحکام خمشی سه نقطه‌ای نشان می‌دهد که با

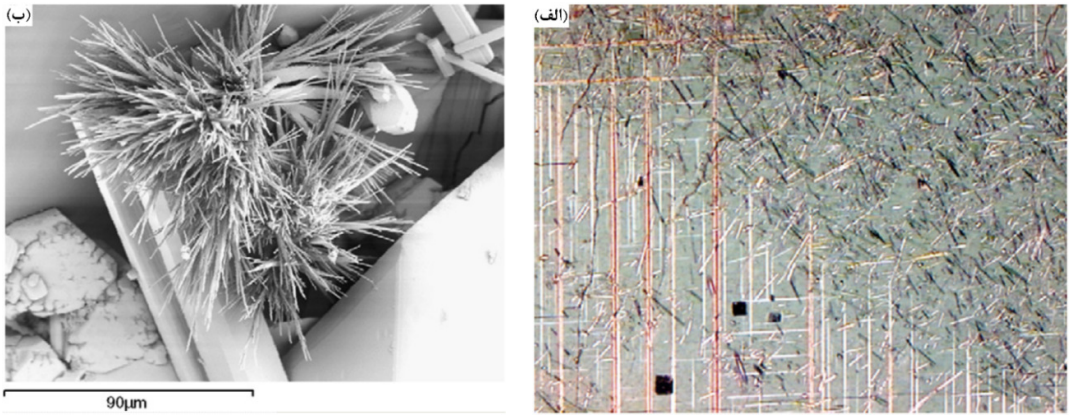
به‌کارگیری این روش، علاوه بر کاهش اندازه دانه و بهبود رفتار سینتر کردن نسبت به سینتر معمولی، استحکام مکانیکی کامپوزیت نیز بهبود یافته است.

فصل۲

مروری بر منابع مطالعاتی

۲-۱. مولایت

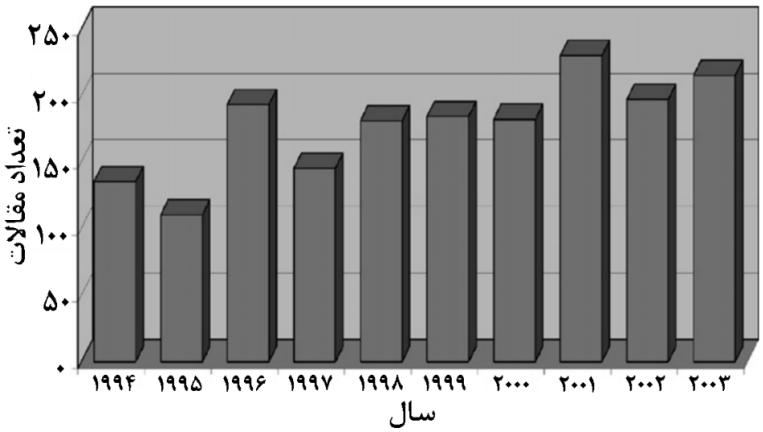
به‌علت دمای بالا و شرایط تشکیل در فشار پایین، مولایت به‌ندرت در طبیعت یافت می‌شود. بدین جهت آن را مولایت نامیدند که نخستین بار در جزیزه مول[1] واقع در شمال کشور اسکاتلند مقادیری از آن یافت شد [۱]. در آنجا مخلوط شدن ماگمای[2] مذاب با خاکسترهای غنی از آلومینا باعث تشکیل مواد مولایت مانندی شده است [۲]. در شکل ۲-۱ مولایت‌هایی که به‌صورت طبیعی به وجود آمده است دیده می‌شود.



شکل ۲- ۱- مولایت طبیعی. الف) تصویر سطح مقطع مولایت تشکیل شده در جزایر مال اسکاتلند. ب) تصویر SEM مولایت تشکیل شده به‌صورت هیدروترمال در کوه‌های ایفل در آلمان [۳]

برخلاف تشکیل اندک مولایت به‌صورت صخره‌های طبیعی، این ماده شاید یکی از مهم‌ترین فازها در ساخت سرامیک‌های سنتی و پیشرفته باشد. اهمیت مولایت و سرامیک‌های مولایتی توسط تعداد انتشاراتی که در سال‌های اخیر چاپ شده است، به اثبات می‌رسد (شکل ۲-۲).

[1] Mull
[2] Magma



شکل ۲- ۲- تعداد انتشارات مرتبط با مولایت و سرامیک‌های مولایتی که در سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ منتشر شده است [۳]

اهمیت قابل توجه تکنیکی و علمی مولایت عبارتند از:

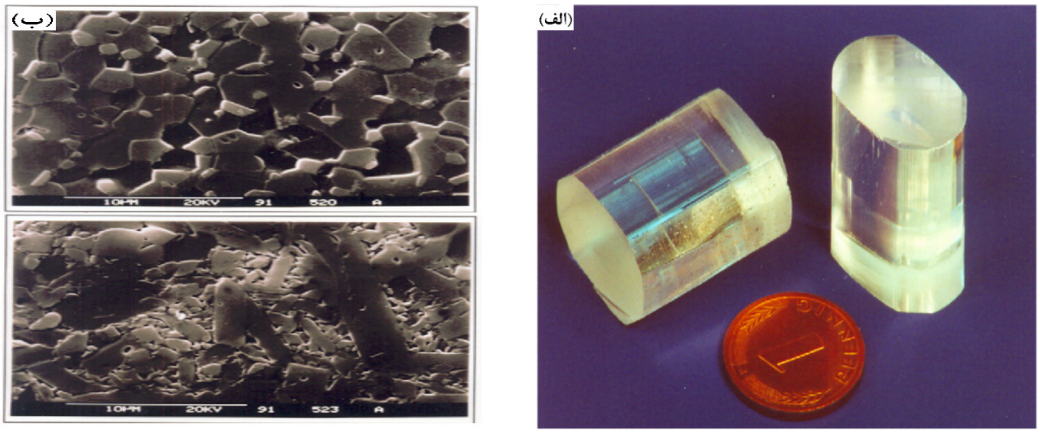
- پایداری گرمایی بالای آن و ویژگی‌های مطلوبی مانند ضریب انبساط حرارتی پایین و رسانش گرمایی کم [۴]، مقاومت خزش بالا [۵] و مقاومت به شوک حرارتی عالی [۶] همراه با استحکام و چقرمگی مناسب [۷]، پایداری شیمیایی و حرارتی خوب [۸]. برخی از ویژگی‌های مولایت در مقایسه با سایر اکسیدهای سرامیکی در جدول ۲-۱ آورده شده است.
- مواد اولیه مورد نیاز جهت تولید مولایت (مانند آلفا آلومینا و سیلیس، آلومینوسیلیکات‌های ترکیب‌های Al_2SiO_5، سیلیمانیت، آندالوزیت[1]، کیانیت[2] و مواد دیگر) در مقادیر زیاد بر روی زمین در دسترس هستند.
- توانایی تشکیل بلورهای مخلوط در محدوده وسیعی از نسبت Al_2O_3/SiO_2 و جا دادن انواع زیادی از کاتیون‌ها در ساختار بلورین.

[1] Andalusite
[2] Kyanite

جدول ۲- ۱- ویژگی‌های ترمومکانیکی سرامیک‌های مولایتی و دیگر سرامیک‌های اکسیدی پیشرفته [۳]

ماده	واحد		تیالیت	اسپینل	آلومینا	زیرکونیا	مولایت
ترکیب			$Al_2O_3.TiO_2$	$MgO.Al_2O_3$	Al_2O_3	ZrO_2	$3Al_2O_3.2SiO_2$
دمای ذوب	°C		۱۸۶۰	۲۱۳۵	۲۰۵۰	۲۶۰۰	~۱۸۳۰
چگالی	$g.cm^{-1}$		۳/۶۸	۳/۵۶	۳/۹۶	۵/۶۰	~۳/۲
انبساط حرارتی خطی	$°C\times10^{-6}$	۲۰-۱۴۰۰°C	~۱	۹	۸	۱۰	~۴/۵
رسانش گرمایی	$Kcal\ m^{-1}\ h^{-1}.°C^{-1}$	۲۰°C	۱/۵-۲	۱۳	۲۶	۱/۵	۶
		۱۴۰۰°C	۲/۵	۴	۴	۲	۳
استحکام	MPa		۳۰	۱۸۰	۵۰۰	۲۰۰	~۲۰۰
چقرمگی شکست	$MPa.m^{0.5}$				~۴/۵	~۲/۴	~۲/۵

مولایت و سرامیک‌های مولایتی تنوع زیادی، از تک بلورهای رشد یافته از روش چکرالسکی تا سرامیک‌های بس‌بلورین[1] و چندفازی و از محصولات بسیار بزرگ دیرگداز تا اجزای بسیار ریز مهندسی با خلوص و همگنی بالا (شکل ۲-۳)، دارند. به‌طور کلی سرامیک‌های مولایتی را به سه نوع سرامیک‌های مولایتی یکپارچه[2]، پوشش‌های مولایتی[3] و کامپوزیت‌های زمینه مولایتی[4] تقسیم‌بندی می‌کنند [۳].



شکل ۲- ۳- سرامیک‌های مولایتی. الف) تک‌بلورهای مولایتی رشد داده شده به‌روش چکرالسکی.
ب) ریزساختار کاملا متراکم سرامیک‌های مولایتی بس‌بلورین [۳]

[1] Polycrystalline
[2] monolithic mullite ceramics
[3] mullite coatings
[4] mullite matrix composites