

ساخت سرامیک آلمینا و کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا به روش ریخته گری ژله ای با استفاده از زیرکونیای پایدار شده با ایتریا

سید عیسی کرانیان^۱، مسعود گوهر گرانبها^۲، حسن توکلی^{۳*}

^۱ عضو هیئت علمی دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک و شیمی، دانشگاه امام علی (ع)

^۲ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک و شیمی، دانشگاه امام علی (ع)

^۳ عضو هیئت علمی دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک و شیمی، دانشگاه امام علی (ع)



دکتر سید عیسی کرانیان،
نویسنده اول مقاله، دانشگاه امام
علی (ع)

چکیده: ریخته گری ژله ای به عنوان روشی نوین و بهینه و آسان در ساخت سرامیک، با قابلیت شکل دهنده سرامیک به اشکال پیچیده در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این روش ترکیبی از شیمی پلیمر و فرآیند ریخته گری دوغایی است که در آن دوغاب غلیظی از پودر سرامیک و موونمرهای آلی داخل قالب ریخته شده و با گرفتن شکل قالب به خود، درجا به پلیمر تبدیل می شود. پژوهش های زیادی در رابطه با رثولوژی دوغاب های استفاده شده در روش ریخته گری ژله ای انجام یافته است اما نتایج چندانی در رابطه با خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت های آلمینا-زیرکونیای ساخته شده با این روش وجود ندارد. در این پژوهش نمونه سرامیک آلمینا (A100) با میزان ۴۵٪ حجمی پودر آلمینا در دوغاب و نمونه کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا (A90-Z10) با میزان ۴۵٪ حجمی از مخلوط پودرهای سرامیکی در دوغاب، که این میزان پودر مخلوط شامل ۹۰٪ حجمی آلمینا و ۱۰٪ حجمی زیرکونیای پایدار شده با ایتریا است، با استفاده از روش ریخته گری ژله ای ساخته شدند و نهایتاً قطعات در دمای ۱۶۵۰°C تف جوشی شدند. نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس حضور فاز تتراترونال زیرکونیا را در کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا A90-Z10 تأیید کرده است. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی رویشی ساختار یکنواختی را برای دو نمونه ساخته شده A100 و A90-Z10 نشان می دهد و برای نمونه A90-Z10 بیانگر توزیع نسبتاً یکنواخت ذرات زیرکونیا در زمینه آلمینا است. نتایج حاصل از خواص فیزیکی نشان داد که می توان با روش ریخته گری ژله ای به میزان چگالی نسبی مطلوبی برای ساخت کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا (۸۹/۷٪) دست یافت. نتایج حاصل از خواص مکانیکی نشان داد که با افزودن تقویت کننده زیرکونیا به قطعات آلمینایی، استحکام خمشی و چفرمگی قطعه کامپوزیت (A90-Z10) در برابر قطعه آلمینایی خالص (A100) به ترتیب در حدود ۱۳/۲۷٪ و ۲۸/۹۴٪ افزایش داشته است. از طرفی سختی قطعه کامپوزیت نسبت به قطعه آلمینایی خالص به میزان ۹/۷٪ کاهش داشته است.

کلمات کلیدی: ریخته گری ژله ای، سرامیک، کامپوزیت، آلمینا - زیرکونیا

۱- مقدمه

سرامیک های پیشرفتی دارای خصوصیات منحصر به فردی از جمله نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر اکسید شدن، سختی بالا، غیر مغناطیس بودن، پایداری شیمیایی و وزن پایین هستند و در کاربردهای مختلف صنعتی نسبت به فلز سطحی صافتر، سخت تر و دقت ابعادی بالاتری دارند. آلمینا از دسته سرامیک های پیشرفتی است که در بسیاری از کاربردهای نوین از جمله استخوان های مصنوعی، پردها و دیگر قطعات موتورها، عایق های حرارتی و الکتریکی، ابزارهای برش و تراشکاری صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد [۱]. برای افزایش چفرمگی و استحکام سرامیک های آلمینا از افزودن ذرات زیرکونیا در ساختار آلمینا استفاده می شود که به آن کامپوزیت آلمینایی چقرمه شده با زیرکونیا (ZTA) گفته می شود.

¹ Zirconia Toughened Alumina

در این نوع کامپوزیت‌ها بر حسب کاربرد آن، میزان زیرکونیای موجود در ساختار آلومینا بین ۱۰٪^۱ تا ۲۰٪ حجمی متغیر است. وجود زیرکونیا در ساختار سرامیک آلومینا از رشد بیش از اندازه ذرات آلومینا ممانعت کرده و باعث افزایش چرمگی و استحکام خمی آن می‌شود [۲].

از طرفی در فرآیند ساخت سرامیک‌های آلومینای چرمده‌شده با زیرکونیا، در هنگام خنک‌سازی سرامیک ساخته شده، بعد از مرحله تفجوشی، زیرکونیا می‌تواند دچار تغییر فاز از حالت تتراترونال به مونوکلینیک شود که این تغییر فاز با افزایش حجم همراه است. این تغییر حجم می‌تواند باعث ایجاد ترک و غیر یکنواختی در ساختار سرامیک شود و در نهایت موجب شکست قطعه شود [۳]. به همین منظور برای جلوگیری از این تغییر فاز از افزودنی‌هایی مانند اکسید ایتریم (Y₂O₃) و اکسید سریم (Ce₂O₃) استفاده می‌شود تا زیرکونیای موجود در ساختار سرامیک در حالت فازی تتراترونال باقی بماند [۴]. ریخته‌گری ژله‌ای یکی از روش‌های شکل‌دهی سرامیک است که در اوایل سال ۱۹۹۰ ابداع شد [۵]. این روش برای فایق آمدن بر برخی از محدودیت‌های موجود در روش‌های شکل‌دهی اشکال پیچیده مانند ریخته‌گری تزریقی و ریخته‌گری دوغابی، توسط آزمایشگاه تحقیقاتی ORNL^۱ توسعه داده شد [۶]. در این روش دوغاب غلیظی از پودر سرامیک و مونومرهای آلی داخل قالب ریخته شده و با گرفتن شکل قالب به خود، درجا به پلیمر تبدیل می‌شود. این شبکه ماکرومولکولی پلیمری برای نگهداشتن ذرات سرامیک در کنار یکدیگر است که این روش ترکیبی از شیمی پلیمر با فرآیند ریخته‌گری دوغابی است. سادگی این روش در ساخت قطعات در اشکال پیچیده، عدم نیاز به تجهیزات گران قیمت، مقاومت بالای قطعه قبل از فرآیند سینترینگ و قابلیت ماشین‌کاری راحت‌تر آن نسبت به روش‌های دیگر و همگنی بالای چگالی در کل قطعه سرامیکی از مزیت‌های این روش است [۷]. در پژوهش‌های قبلی مرتبط با فرآیند ریخته گری ژله‌ای پارامترهای تاثیرگذار مرتبط با رئولوژی دوغاب، مانند تاثیر میزان پایدارکننده و میزان pH محلول اولیه بر روی ویسکوزیته دوغاب بررسی شده است [۸, ۶]. همچنین پارامترهای کنترل کننده فرآیند ریخته‌گری ژله‌ای مانند میزان مونومر، کاتالیزور و آغازکننده فرآیند ژل شدن نیز برای سرامیک آلومینا بررسی شده است [۹]. اما نتایجی در رابطه با ریزساختار و خواص فیزیکی و مکانیکی سرامیک‌های ساخته شده با این روش برای کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا به روش ریخته‌گری ژله‌ای و مقایسه برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها از جمله چگالی نسبی، سختی، استحکام خمی و چرمگی پرداخته شده است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

در این پژوهش از پودر آلومینای تجاری شرکت هندی ایندال^۲ با میزان متوسط توزیع اندازه ذرات ۳ میکرون و پودر زیرکونیای پایدارشده با ایتریای ۴ درصد مولی از شرکت ایرانی رابکا صنعت افرند با میزان توزیع اندازه ذرات ۳۰۰ نانومتر استفاده شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای فرآیند ریخته‌گری ژله‌ای، شامل دو مونومر آلی واکنش‌دهنده به نام‌های مونومر تک عاملی اکریل آمید^۳ و مونومر دوعلایی (پیونددهنده عرضی) متیلن بیس اکریل آمید^۴ است. این دو مونومر برای ساخت محلول آبی اولیه در داخل آب یون‌زدایی شده حل می‌شوند. این محلول اولیه در حضور ماده آغازگر واکنش به نام آمونیم پرسولفات فرآیند پلیمریزاسیون وینیلی رادیکال آزاد را طی می‌نماید که سرعت واکنش با افزودن کاتالیزور تترامتیل اتیلن دی‌آمین^۵ و افزایش دما در حالت بهینه تنظیم می‌شود. برای پایدارسازی پودرهای سرامیکی در محلول آبی از پایدارکننده محلول ۴۰٪ وزنی آمونیم پلی‌اکریلات با نام تجاری داروان^۶ A-۸۲۱ ساخت شرکت واندریلیت^۷ استفاده شد. همچنین برای تنظیم pH محلول اولیه از محلول آبی ۱/۰

¹ Oak Ridge National Laboratory

² Indal Co.

³ Acrylamide (AM)

⁴ Methylenebisacrylamide (MBAA)

⁵ Tetramethylethylenediamine (TEMED)

⁶ DARVAN 821-A

⁷ Vanderbilt Co

مولار سدیم هیدروکسید استفاده شد.

۲-۲-روش ساخت قطعات سرامیکی

در ابتدا مونومرهای آکریل آمید و متیلن بیس آکریل آمید در داخل آب یون زدایی شده توسط میکسر مکانیکی حل شدند. میزان مجموع دو مونومر حل شده در محلول آبی اولیه برابر ۱۵٪ وزنی کل محلول است که نسبت مونومر تک عاملی به مونومر دو عاملی در آن ۲۴ به ۱ است. پس از حل شدن مونومرها در آب pH محلول توسط محلول سدیم هیدروکسید در ۱۰ تنظیم شد. سپس پایدارکننده پودرهای سرامیکی (داروان A-۸۲۱) به میزان ۱٪ وزنی از کل پودر مورد استفاده به داخل محلول اولیه اضافه شد. سپس پودرهای سرامیکی مورد نظر به داخل محلول اولیه به صورت تدریجی اضافه شدند. در این پژوهش دو نوع دوغاب از جنس آلومینا و آلومینا - زیرکونیا ساخته شد که میزان پودرهای سرامیکی موجود در هر دو دوغاب ۴۵٪ حجمی می باشند. دوغاب اول تنها حاوی پودر سرامیکی آلومینا است و در دوغاب دوم از کل میزان پودرهای استفاده شده، ۹۰٪ حجمی آن را آلومینا و ۱۰٪ حجمی آن را زیرکونیای پایدار شده با ایتریا تشکیل می دهند. در ساخت کامپوزیت های آلومینایی چقرمه شده با زیرکونیا به روشهای مختلف، عموما بر حسب کاربرد آن میزان زیرکونیای موجود در ساختار آلومینا بین ۱۰٪ الی ۲۰٪ حجمی متغیر است [۲]. در روش ریخته گری ژله ای، دوغابها رفتار سیال غیر نیوتونی از نوع سیال روان برشی را از خود نشان می دهند. در این روش باید گران روی دوغاب در حدی باشد که بتوان آن را به راحتی داخل قالب مورد نظر، قالب ریزی کرد و در صورتی که به دلیل بالا بودن میزان جامد در دوغاب و یا بالا بودن نسبت زیرکونیا به آلومینا در آن، گران رویی دوغاب بالا باشد، در حدی که دوغاب به صورت خمیری شکل شود، دیگر قابلیت قالب ریزی را نخواهد داشت و قطعه نهایی بدست آمده استحکام مناسب را نخواهد داشت [۶]. در این پژوهش با وجود افزایش میزان پایدارکننده، با افزایش میزان ذرات جامد در دوغاب به بیش از ۴۵٪ حجمی و همچنین با افزایش میزان زیرکونیا به بیش از ۱۰٪ حجمی، گران روی دوغاب های ساخته شده افزایش پیدا کرد و دوغابها قابلیت قالب ریزی را از دست داد، به همین منظور افزایش میزان ذرات جامد در دوغابها به بیش از ۴۵٪ حجمی و همچنین افزایش میزان زیرکونیا به بیش از ۱۰٪ حجمی امکان پذیر نشد. دلیل این امر می تواند درشت بودن ذرات آلومینایی استفاده شده در این تحقیق و برهم کنش ذرات آلومینا و زیرکونیا باشد.

پس از اضافه شدن پودرهای سرامیکی، هر دو دوغاب به مدت ۱۲ ساعت در حالت چرخش توسط میکسر مکانیکی باقی ماندند. در مرحله بعد تترامتیل اتیلن دی آمین به عنوان عامل تسريع کننده واکنش ژل شدن به دوغابها اضافه شد. میزان عامل تسريع کننده برابر ۵ میلی لیتر در هر ۱ لیتر از محلول اولیه است. این ماده علاوه بر نقش کاتالیزور به پایدارسازی و روان سازی دوغاب نیز کمک می کند [۶]. سپس ماده آمونیم پرسولفات که نقش آغازگر واکنش ژل شدن را دارد به میزان ۰/۳ گرم به ازای هر ۱ لیتر از محلول اولیه به داخل دوغابها اضافه شد. سپس دوغابها با استفاده از دستگاه تبیخیر کننده چرخان گاز زدایی شدند و پس از آن دوغابها به داخل قالب های مورد نظر در ابعاد ۱۲۰ میلی متر در ۱۲۰ میلی متر و به ارتفاع ۱۵ میلی متر ریخته شدند. پس از انجام فرآیند ریخته گری، قالب های حاوی دوغاب به داخل خشک کن گرمایشی انتقال یافتهند، تا در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد واکنش ژل شدن در مدت زمان حدودی یک ساعت انجام شود. پس از اتمام فرآیند ژل شدن، قطعات ژل شده از داخل قالبها خارج شدند و به داخل خشک کن انتقال داده شدند تا فرآیند خشک شدن بر روی آنها انجام شود. پس از خشک شدن، قطعات خام^۱ حاصل شده در یک کوره حرارتی الکتریکی شامل اتمسفر هوا مرحله تفجوشی را در دمای ۱۶۵۰ درجه سانتی گراد با ماندگاری ۵ ساعت طی کردند. قطعات سرامیکی ساخته شده از جنس آلومینا و آلومینا - زیرکونیا به ترتیب به نامهای A100 و A90-Z10 کدگذاری شدند که ابعاد قطعات نهایی در حدود ۱۰۰ میلی متر در ۱۰۰ میلی متر و به ارتفاع ۱۰ میلی متر هستند.

۲-۳-روش های تعیین مشخصات

در این تحقیق برای تایید جنس قطعات ساخته شده از آلومینا و آلومینا - زیرکونیا و همچنین تشخیص فازهای آنها، از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شد. برای بررسی ریز ساختاری و مورفولوژی سرامیک های ساخته شده از میکروسکوپ الکترونی

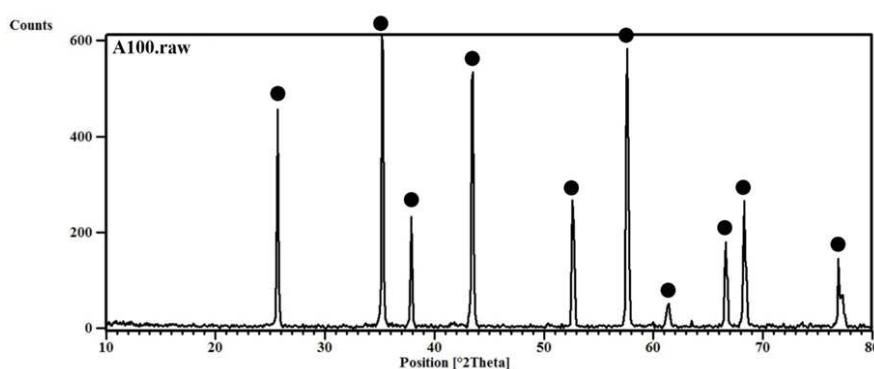
^۱ Green Body

روبیشی با آشکارساز الکترون‌های برگشتی استفاده شد. برای تعیین میزان چگالی نسبی نمونه‌های ساخته شده از اصل ارشمیدس توسط آب خالص استفاده شد. برای تعیین خواص مکانیکی نمونه‌ها، برای تعیین میزان سختی از سختی سنج ویکرز، برای تعیین میزان استحکام خمی از آزمون استحکام خمی به صورت بارگذاری سه نقطه‌ای و برای تعیین چقرومگی نمونه‌ها از آزمون چقرومگی شکست (KIC) با استفاده از نمونه خمی دارای تک شیار لبه‌ای^۱ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

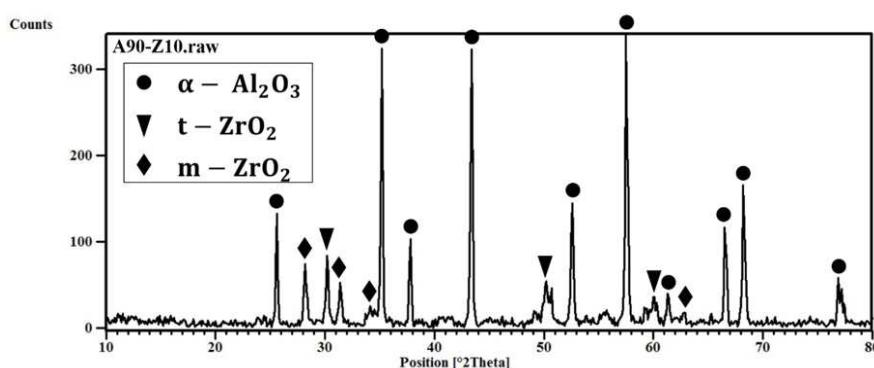
۳-۱- بررسی فازی و ریزساختاری

شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به سرامیک آلمینای خالص ساخته شده (A100) را نشان می‌دهد. با توجه به این الگو تمامی پیک‌های مربوط به فاز آلفا (α) آلمینا کاملاً مشخص است و شدت بالای پیک‌های ظاهرشده بلورینگی مناسب آلمینا را نشان می‌دهد.



شکل ۱- الگوی XRD نمونه سرامیک آلمینای خالص ساخته شده (A100)، پیک‌های شاخص آلفا آلمینا با علامت (●) مشخص شده است.

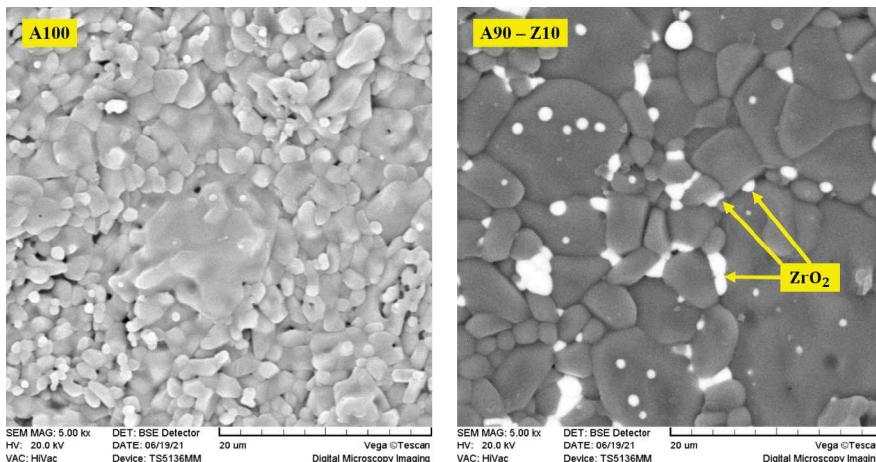
شکل ۲ الگوی XRD مربوط به کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا (A90-Z10) را نشان می‌دهد. با توجه به این الگو فازهای مربوط به آلفا آلمینا و زیرکونیای مونوکلینیک و زیرکونیای تتراتagonal قابل مشاهده هستند. دلیل کم بودن شدت پیک‌های زیرکونیا نسبت به آلمینا، کم بودن میزان حجمی آن در قطعه سرامیکی نسبت به آلمینا است. دلیل ظهرور پیک‌های مربوط به فاز مونوکلینیک عملیات تفجوشی بدون فشار است که در آن احتمال رشد بیش از حد دانه‌های زیرکونیا وجود دارد و این رشد شرایط وقوع استحاله تتراتagonal به مونوکلینیک را تا حدی امکان‌پذیر می‌سازد اما بیشتر بودن شدت پیک‌های مربوط به فاز تتراتagonal زیرکونیا نسبت به فاز مونوکلینیک آن، نشان‌دهنده پایداری نسبتاً مناسب زیرکونیا در فاز تتراتagonal است.



شکل ۲- الگوی XRD نمونه کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا (A90-Z10)

¹ Single Edge Notch Beam (SEN-B)

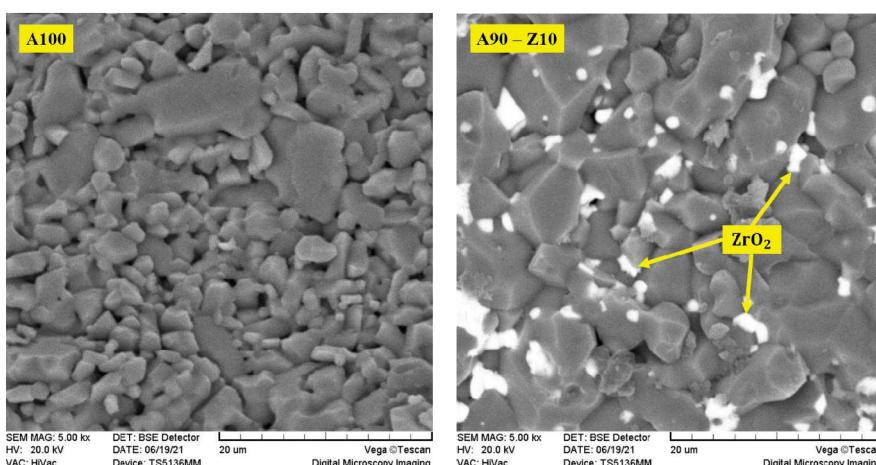
شکل ۳ تصاویر SEM مربوط به سطح قطعات سرامیکی آلمینا (A100) و کامپوزیت آلمینا - زیرکونیا (A90-Z10) را نشان می‌دهد. همانطور که در این دو تصویر مشاهده می‌شود هر دو نمونه دارای ریزساختار یکنواخت در سطح قطعات هستند. در تصویر SEM مربوط به نمونه A100 مشاهده می‌شود به دلیل اینکه سرامیک از جنس آلمینای خالص است رشد بی‌رویه دانه‌های آلمینا در فرآیند تفجیشی اتفاق افتاده است که این امر به بالا بودن سختی و پایین بودن چرمگی سرامیک آلمینا منجر می‌شود.



شکل ۳- تصاویر SEM از سطح سرامیک‌های ساخته شده آلمینا (A100) و آلمینا - زیرکونیا (A90-Z10)

با استفاده از آشکارساز الکترون‌های برگشتی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، ذرات حاوی عناصر با عدد اتمی کوچک‌تر تیره و ذرات حاوی عناصر با عدد اتمی بزرگ‌تر روشن‌تر روش‌دیده می‌شوند. با توجه به اینکه عنصر Zr دارای عدد اتمی بالاتری نسبت به عنصر Al است، بنابراین در تصاویر SEM مربوط به A90-Z10، مناطق روشن‌رورش مربوط به ذرات زیرکونیا هستند و مناطق خاکستری رنگ مربوط به ذرات آلمینا هستند. در شکل ۳ در تصویر SEM مربوط به سطح نمونه A90-Z10 مشاهده می‌شود که حضور زیرکونیای پایدار شده تا حدود زیادی از رشد بی‌رویه دانه‌های آلمینا جلوگیری کرده است که این امر می‌تواند سبب افزایش چرمگی سرامیک شود. همچنین مشاهده می‌شود که رشد دانه‌ای آلمینا در برخی نقاط تا حدودی بیش از اندازه است و بزرگی ذرات آلمینا به ۲۰ میکرون نزدیک شده است، که دلیل آن می‌تواند کم بودن میزان زیرکونیا در داخل دوغاب و یا خوب پخش نشدن کامل دانه‌های زیرکونیا در تمام نقاط دوغاب در هنگام ساخت قطعه باشد.

شکل ۴ تصاویر SEM مربوط به سطح شکست قطعات A100 و A90-Z10 است. با توجه به تصاویر در هر دو نمونه تعداد کمی تخلخل در بدنه سیتر شده مشاهده می‌شود و ریز ساختارهای بدست آمده از یکنواختی مطلوبی برخوردار هستند.



شکل ۴- تصاویر SEM از سطح شکست سرامیک‌های ساخته شده آلمینا (A100) و آلمینا - زیرکونیا (A90-Z10)

۲-۳- بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی برای هر دو قطعه سرامیکی آلومینا (A100) و آلومینا - زیرکونیا (A90-Z10) در جدول ۱ مشاهده می‌شود. با توجه به چگالی نسبی گزارش شده برای نمونه‌ها، پایین بودن چگالی نسبی به دلیل بزرگ بودن سایز دانه‌های آلومینای استفاده شده در این کار است. پارامتر چگالی نسبی یکی از مهمترین پارامترها در کنترل میزان سختی و استحکام قطعات سرامیکی است و با افزایش میزان چگالی نسبی، میزان سختی و استحکام قطعات نیز افزایش می‌یابد [۲]. همچنین با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزودن زیرکونیا به ساختار آلومینا میزان چگالی نسبی و به تبعیت از آن میزان سختی قطعه در مقایسه با قطعه آلومینای خالص، کاهش و میزان استحکام خمثی و چقرمگی آن افزایش پیدا کرده است. این نتایج با نتایج حاصل از تصاویر SEM مربوط به این دو نمونه هم‌خوانی دارد و می‌تواند توجیهی بر ممانعت رشد بیش از اندازه دانه‌های آلومینا بر اثر وجود زیرکونیای پایدار شده در ساختار قطعه سرامیکی باشد که این امر باعث افزایش میزان چقرمگی و استحکام خمثی در قطعه سرامیکی می‌شود. علاوه بر تاثیر پارامتر چگالی نسبی در میزان سختی قطعات، با توجه بر اینکه سختی زیرکونیا نسبت به آلومینا کمتر است، می‌تواند دلیل دیگری بر کاهش میزان سختی نمونه A90-Z10 نسبت به A100 باشد.

جدول ۱- چگالی نسبی، سختی، استحکام خمثی و چقرمگی سرامیک‌های ساخته شده آلومینا (A100) و آلومینا - زیرکونیا (A90-Z10)

نام نمونه	چگالی نسبی (%)	استحکام خمثی (GPa)	استحکام خمثی (MPa)	چقرمگی (K _{IC}) (MPa.m ^{1/2})
A100	۹۰/۱	۱۳/۸۱	۳۲۴±۳۳	۳/۸
A90-Z10	۸۹/۷	۱۲/۴۷	۳۶۷±۴۶	۴/۹

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نمونه سرامیک آلومینا (A100) با میزان ۴۵٪ حجمی پودر آلومینا در دوغاب و نمونه کامپوزیت آلومینا - زیرکونیا (A90-Z10) با میزان ۴۵٪ حجمی از مخلوط پودرهای سرامیکی در دوغاب، که این میزان پودر مخلوط شامل ۹۰٪ حجمی آلومینا و ۱۰٪ حجمی زیرکونیای پایدار شده با ایتریا است، با استفاده از روش نوین ریخته‌گری ژله‌ای ساخته شدند. قطعات سرامیکی حاصل از این روش دارای سطحی صاف و یکنواخت و بدون اعوجاج پس از گذراندن فرآیند تفجوشی هستند و با استفاده از این روش می‌توان به آسانی اشکال پیچیده مورد نیاز را قالب‌بریزی و تهیه کرد. نتایج حاصل از الگوی XRD حضور فازهای آلفا آلومینا و زیرکونیای تراگونال را در نمونه کامپوزیتی (A90-Z10) تایید می‌نماید. همچنین حضور اندکی زیرکونیای مونوکلینیک به دلیل رشد دانه‌های زیرکونیا در فرآیند تفجوشی را توجیح می‌نماید. نتایج حاصل از تصاویر SEM یکنواختی مناسب ریزساختار در هر دو نمونه آلومینا (A100) و آلومینا-زیرکونیا (A90-Z10) را نشان می‌دهد. همچنین تصاویر SEM حاصل از کامپوزیت آلومینا - زیرکونیا (A90-Z10) نشان دهنده توزیع مناسب ذرات تقویت کننده زیرکونیا در بین ذرات آلومینا است که این امر از رشد ذرات آلومینا ممنوعت کرده است، اما در برخی نقاط عدم حضور زیرکونیا باعث رشد بیش از اندازه ذرات آلومینا شده است و می‌توان این انتظار را داشت که افزایش میزان زیرکونیا در داخل دوغاب در فرآیند ریخته‌گری ژله‌ای از رشد بیش از اندازه ذرات آلومینا جلوگیری نماید. نتایج حاصل از چگالی نسبی نشان داد با استفاده از روش ریخته‌گری ژله‌ای می‌توان به میزان چگالی‌های بالا در ساخت قطعات سرامیکی دست یافت و می‌توان این انتظار را داشت که با استفاده از پودرهای سرامیکی با اندازه ذرات ریزتر به دوغاب یکنواخت‌تر و در نتیجه به قطعات سرامیکی چگال‌تر دست یافت. نتایج حاصل از خواص مکانیکی نمونه‌ها نشان داد که با این روش می‌توان به قطعات سرامیکی و کامپوزیتی با میزان خواص مکانیکی مطلوب دست یافت. از طرفی این نتایج نشان داد که با افزودن تقویت کننده زیرکونیا به داخل ذرات آلومینا استحکام خمثی و چقرمگی قطعه کامپوزیتی (A90-Z10) در برابر قطعه سرامیک آلومینای خالص (A100) به ترتیب به میزان ۱۳/۲۷٪ و ۲۸/۹۴٪ افزایش یافته است اما از طرفی به دلیل سختی پایین این تقویت کننده نسبت به آلومینا، سختی نهایی قطعه کامپوزیتی (A90-Z10) در مقایسه با نمونه آلومینای خالص (A100) به میزان ۹/۷٪ کاهش یافته است.

مراجع

- [1] R. B. Heimann, "Classic and advanced ceramics: from fundamentals to applications". John Wiley & Sons, 2010 .
- [2] H. Tuan, R. Z. Chen, T. C. Wang, C. H. Cheng, and P. S. Kuo, "Mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ composites", Journal of the European Ceramic Society, vol. 22, no. 16, pp. 2827-2833, 2002 .
- [3] P. Platt, P. Frankel, M. Gass, R. Howells, M. Preuss, "Finite element analysis of the tetragonal to monoclinic phase transformation during oxidation of zirconium alloys", Journal of Nuclear Materials, vol. 454, issues 1-3, pp. 290-297, 2014 .
- [4] J. Wang, R. Stevens, "Zirconia-toughened alumina (ZTA) ceramics", Journal of Material Science, vol. 24, pp. 3421-3440, 1989 .
- [5] K. T. Faber, N. O. Shanti, "Gelcasting of ceramic bodies", in: The American Ceramic Society, John Wiley & Sons, Inc., Eds., pp. 199-234, 2012 .
- [6] C. Young, O. O. Omatete, M. A. Janney, P. A. Menchhofer, "Gelcasting of alumina", Journal of the American Ceramic Society, vol. 74, no. 3, pp. 612-618, 1991 .
- [7] O. O. Omatete, M. A. Janney, S. D. Nunn, "Gelcasting: from laboratory development toward industrial production", Journal of the European Ceramic Society, vol. 17, pp. 407-413, 1997 .
- [8] Barati, M. Kokabi, M. H. N. Famili, "Forming alumina parts using acrylamide gels", Iranian Polymer Journal, vol. 12, no. 2, pp. 127-138, 2003 .
- [9] Babaluo, M. Kokabi, A. Barati, "Chemorheology of alumina-aqueous acrylamide gelcasting systems", Journal of the European Ceramic Society, vol. 24, pp. 635-644, 2004.