ساخت شیشه سرامیک تراشکاری شونده میکای فلوئور

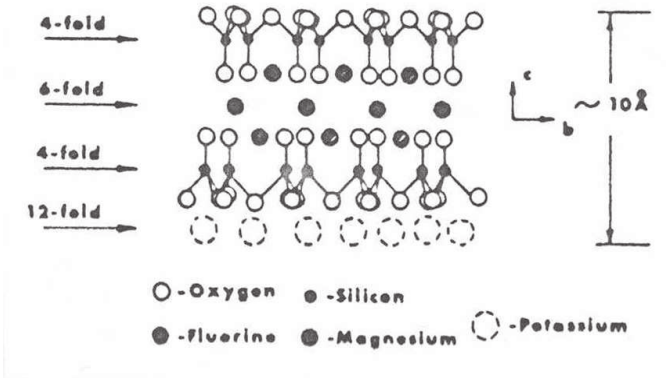
صدیقه خطیب‌زاده[۱]، بیژن افتخاری‌یکتا[۲]، ماندانا شیخانی[۳]، سیدبهزاد طباطبائی[۳]

[۱]پژوهشکده صنایع رنگ، [۲]دانشکده مواد دانشگاه علم و صنعت ایران، [۳]پژوهشگاه مواد و انرژی

چکیده: *در این پژوهش با انتخاب یک فرمول مبناء و تغییر درصد وزنی اجزای اصلی که در فاز بلوری میکای فلوئور شرکـــت دارند* (F^-, B^{+3},K^+) *ترکیب شیشه – سرامیک مناسب از نظر قابلیت تراشکاری و اســـتحکام حاصل شد. در این مسیر برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی قطعات شیشه – سرامیک از روش‌های آنالیز* PSA, SEM, XRD, DTA *و اندازه‌گیری استحکام خمشی و ریزسختی استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش میزان* K^+ *و* F^- *خواص شیشه – سرامیک بهبود می‌یابد. میانگین استحکام خمشی و ریزسختی ترکیب بهینه به ترتیب برابر* ۴۲MPa *و* ۲/۵Gpa *بود.*

۱- مقدمه

ساختمان ترکیبات مختلف میکای فلوئور شبیه به میکاهای طبیعی می‌باشد با این تفاوت که در این ساختمان یون‌های فلوئور جایگزین یون‌های هیدرواکسیل شده‌اند. پائولینگ فرمول عمومی $KX_nY_4O_{10}(OH,F)_2$ را برای ترکیبات مختلف میکا پیشنهاد کرده است [۱]. در این فرمول $2 \le n \le 3$ ، X نمایانگر کاتیون‌هایی با عدد کوردیناسیون ۶ و Y نمایانگر کاتیون‌هایی با عدد کوردیناسیون ۴ (به ویژه Si^{4+} و Al^{3+}) می‌باشد. با در نظر گرفتن این فرمول، برای ترکیبات میکای فلوئور فرمول عمومی $ZX_nY_4O_{10}F_2$ که در آن Z نشانگر کاتیون‌هایی با عدد کوردیناسیون ۱۲ (معمولاً K و در برخی از موارد Ca,Ba یا Na) می‌باشد، حاصل می‌گردد. شکل (۱) ساختمان میکای فلوئور تتراسیلیسیک ($K_2Mg_5Si_8O_{20}F_4$) را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ساختمان میکای فلوئور تتراسیلیسیک

این ساختمان از دو لایه چهار وجهی SiO_4 و یک لایه میانی هشت وجهی که عناصر سازنده آن دو یون F و چهار یون O می‌باشد و کاتیون‌های منیزیم در آن قرار دارد تشکیل شده است. در حقیقت دو لایه چهار وجهی بوسیله یون‌های منیزیم موجود در هشت وجهی محکم به یکدیگر متصل می‌شوند. یون‌های K موجود در کوردیناسیون ۱۲ تایی نیز دو ورقه مجاور را به یکدیگر متصل می‌کنند. مشخصهٔ کلیواژ صفحه‌ای کانی‌های میکا بین این ورقه‌ها قرار دارد.

میکایی که در مواضع چهار وجهی آن فقط Si موجود باشد تتراسیلیسیک، میکایی که علاوه بر Si دارای Al نیز باشد و نسبت Si/Al در آن برابر ۳ باشد تری‌سیلیسیک و میکایی که در مواضع چهار وجهی آن تعداد یکسانی از Si و Al قرار گرفته باشد میکای دی‌سیلیسیک نامیده می‌شوند. لازم به ذکر است که در مواضع

[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]

هشت وجهی نیز علاوه بر Mg^{2+} کاتیون‌های دیگری همچون $Li^{+}, Ti^{4+}, Mn^{3+}, Mn^{2+}, Al^{3+}$ می‌توانند قرار گیرند.

شناخت و سنتز شیشه – سرامیکهای ماشینکاری شونده بر پایه میکای فلوئور به اوایل سال ۱۹۷۰ باز می‌گردد [۲]. ویژگی منحصر به فرد این شیشه – سرامیک‌ها آن است که می‌توان این قطعات را بوسیله ابزار آلاتی که برای ماشینکاری فلزات بکار می‌رود براحتی تراشکاری نمود. این قابلیت از توانایی کلیواژ ساختمان بلوری میکای فلوئور و ریز ساختاری که در آن ردیفی از بلورهای ورقه‌ای و درهم قفل شده میکا در یک زمینه ترد شیشه‌ای پراکنده می‌باشد نشأت می‌گیرد. وجود چنین ریزساختاری موجب می‌شود که به هنگام تراشکاری، ترک‌های ناشی از تراشنده پس از پیشروی در صفحات کلیواژ بلورهای میکا به بلورهای دیگری که صفحات کلیواژ آنها عمود بر جهت پیشروی تـــرک قرار دارند برخورد کرده، با تغییر مسیر در فصل مشترک بلور– شیشه به پیشروی خود ادامه دهند. چنین حالتی موجب می‌شود که قطعه را بدون آنکه تخریب شود بتوان تراشکاری نمود [۳]. میزان صافی سطح قطعه پس از عملیات تراشکاری تابعی از درصد حجمی ذرات بلوری میکای فلوئور، نسبت طول به ضخامت بلورها و میزان درهم قفل شدنشان می‌باشد [۳و۴].

شیشه – سرامیک‌های بر پایه میکای فلوئور از ضریب دی‌الکتریک بسیار بالایی [۵] برخوردار می‌باشند و به خاطر وجود ریزساختار یکنواخت و در هم قفل شده بلورهای میکای فلوئور، در برابر شوک حرارتی مقاوم هستند. این ویژگی‌ها همراه با قابلیت ماشینکاری و خواص مکانیکی مناسب آنها موجب شده است که این ماده کاربردهایی همچون انواع چرخ دنده، مقره‌های الکتریکی ولتاژ بالا ۴۰ KV/mm^2 ، نگهدارنده نمونه در میکروسکوپ‌های میدان یونی، بوبین‌های سیسموگراف، قاب تلسکوپ اشعه گاما، نگهدارنده‌های مرزی در شاتل فضایی، میکروویو و پایه در قطعات الکترونیک را به خود اختصاص دهد [۲و۵] . هدف از این مقاله تعیین درصد وزنی مناسب اجزاء تشکیل دهنده شیشه اولیه به منظور سنتز شیشه – سرامیک میکای فلوئور با خواص مکانیکی و قابلیت ماشینکاری مناسب می‌باشد.

۲- روش کار

جدول ۱ درصد وزنی آمیزهای انتخاب شده در این پژوهـــش را نشان می‌دهد. برای تامین اکسیدهای مذکور در هر آمیز به ترتیب از سیلیس ده حاجی اســیدشویی شده (با خلوص بیش از ۹۹ درصد) ، پودر آلومینای ژاپنی (با خلوص ۹۸ درصد)، کربنات منیزیم (با خلوص ۹۸ درصد) ، فلورید منیزیم (۹۸ درصد)، کربنات پتاسیم (۹۸ درصد) و اسیدبوریک صنعتی ترکیه (۹۸ درصد) استفاده شد.

جدول ۱– درصد وزنی آمیزهای مختلف

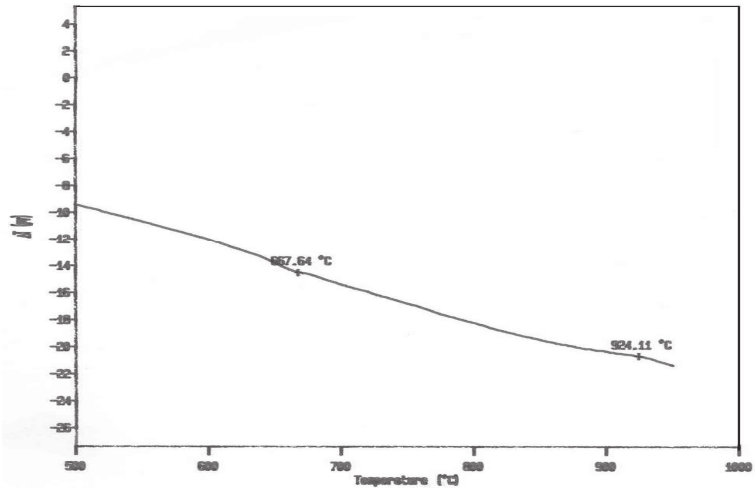
آنالیز شیمیایی (wt%)	GC.۱	GC.۲	GC.۳	GC.۴	GC.۵	GC.۶	GC.۷
K_2O	۴	۴/۰۹	۴/۱۷	۶	۸	۴/۰۸	۳/۹۱
B_2O_3	۷	۷/۱۶	۷/۳۱	۶/۸۴	۶/۶۸	۵	۹
SiO_2	۴۲	۴۲/۹۳	۴۳/۸۷	۴۱/۰۶	۴۰/۱۳	۴۲/۹۰	۴۱/۰۹
MgO	۲۰	۲۰/۴۴	۲۰/۸۹	۱۹/۵۵	۱۹/۱۱	۲۰/۴۳	۱۹/۵۶
Al_2O_3	۱۷	۱۷/۳۸	۱۷/۷۶	۱۶/۶۲	۱۶/۲۴	۱۷/۳۶	۱۶/۶۳
F	۱۰	۸	۶	۹/۷۷	۹/۵۵	۱۰/۲۱	۹/۷۸

هر آمیز پس از مخلوط شدن، در کورهٔ الکتریکی و در دمای ۱۴۰۰°C به مدت ۱ ساعت درون بوته زیرکنی ذوب شد. مذاب حاصله پس از آنکه درون قالب فولادی شکل داده شد در دمای ۶۰۰°C به مدت نیم ساعت تنش زدایی شد. عملیات حرارتی به منظور متبلور کردن شیشه در درون کوره الکتریکی و در دمای ۹۲۵°C به مدت ۸ ساعت، با سرعت گرم کردن ۵°C/min انجام شد. تعیین محدودهٔ دمای عملیات حرارتی و همچنین دمای تنش زدایی با استفاده از دستگاه آنالیز حرارتی DTA مدل STA-1640 ساخت شرکت Polymer

[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]

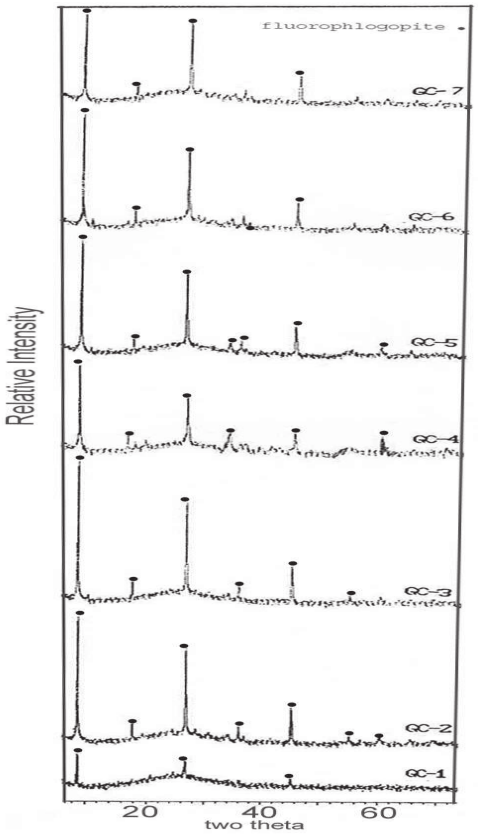
[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]

Labratories انجام شد. شکل (۲) نتیجه این آزمایش را نشان می‌دهد.
شناسایی نوع فاز یا فازهای بلورین ایجاد شده پس از عملیات حرارتی در قطعات شیشه – سرامیک با استفاده از دستگاه پراشگر پرتو ایکس (Siemens, D-500) انجام گرفت. در تمامی آزمایش‌ها وزن نمونه‌های آزمایش شده ۳ گرم و دانه‌بندی پودر بین ۴۵ الی ۶۰ میکرون انتخاب شد. شکل ۳ نتیجه حاصل از این آزمایش‌ها را برای شیشه‌های متبلور شدهٔ ۱ تا ۷ نشان می‌دهند.



شکل ۲- گرمانگاشت DTA شیشه GC.۱

بررسی ریز ساختار و چگونگی توزیع ذرات بلورین در هر یک از قطعات شیشه – سرامیک با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل Stereo Scane 360 ساخت شرکت Leica Cambridge انجام شد. همچنین استحکام خمشی شیشه – سرامیک‌ها به صورت سه نقطه‌ای و با دستگاه Instron مدل ۱۱۹۶ انجام شد.ابعاد نمونه ها برای این آزمایش ۵۰×۵×۱۲میلی متر مکعب و تعداد نمونه اندازه گیری شده برای هر ترکیب پنج عدد بود.(با اعمال بار ۱۰۰g به مدت ۳۰ ثانیه).برای اندازه گیری سختی از دستگاه ریز سختی سنج ویکرز photoplan استفاده شد. قابلیت ماشینکاری شدن هر یک از قطعات شیشه – سرامیک با سوراخکاری آنها توسط مته معمولی (با قطر ۵ میلی‌متر) و سپس اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات پودر حاصل از ماشینکاری با اندازه‌گیری بزرگی ذرات با استفاده از پرتو لیزری و با دستگاه Analysette 22 ساخت شرکت Fritsch صورت گرفت.



شکل ۳- منحنی پراش XRD نمونه‌ها

۳- نتایج و بحث

همانطور که در بخش اول نیز بیان شد شیشه – سرامیک‌های تراشکاری شونده می‌توانند حاوی فازهای

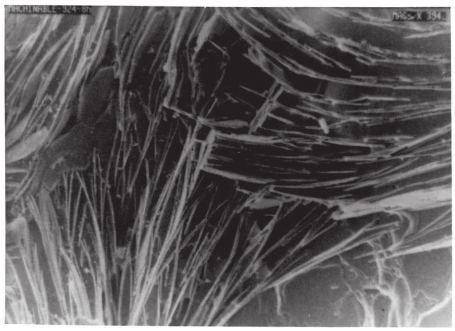
[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]

بلورین متفاوتی از خانواده میکا باشند. بدیهی است که نه تنها تفاوت در نوع میکای متبلور شده می‌تواند بر قابلیت تراشکاری قطعه و خواص مکانیکی آن موثر باشد [۳] بلکه ویژگی‌های دیگری همچون ترکیب و مقدار فاز شیشه باقیمانده و چگونگی رشد ذرات بلورین میکا (از نظر نسبت قطر به ضخامت) نیز می‌توانند بر این ویژگی‌ها تاثیر گذراند [۶]. گفته می‌شود که پارامترهایی از قبیل درصد حجمی زیاد فاز بلورین میکای فلوئور، کوچکی اندازه ذرات بلورین، نسبت قطر به ضخامت زیاد ورقه میکا و درهم قفل شدگی زیاد ذرات بلورین میکا در سهولت تراشکاری قطعه دخیل می‌باشند [۳و۴و۷]. پس هر عاملی که موجب شود ویژگی‌های مذکور در قطعه ایجاد گردد بر کیفیت آن اثر مثبت خواهد داشت. گفته شده است که برای رشد ورقه‌هایی با نسبت قطر به ضخامت زیاد می‌بایست الف) جوانه زنی فاز میکا را تا دمای نسبتاً بالا یعنی دمائی که رشد ناگهانی صورت می‌گیرد به تاخیر انداخت، ب) با محدود کردن غلظت پتاسیم (اتصال دهنده ورقه‌ها) رشد قطری را نسبت به رشد ضخامتی افزایش داد و ج) گرانروی شیشه باقیمانده را با افزایش B_2O_3 کاهش داد تا دیفوزیون سریعتر اجزاء به لبه‌های بلور امکان‌پذیر شود [۷]. انتخاب ترکیبات مختلف موجود در جدول (۱) نیز بر این اساس صورت گرفت. ترکیب G.C.۱ در این جدول فرمول مبناء بوده و با توجه به محدوده اعلام شده برای این نوع شیشه–سرامیکها در مرجع [۳]انتخاب گردید. و ترکیبات دیگر بر این اساس انتخاب شدند که بتوان تاثیر درصدهای وزنی متفاوتی از یون‌هایی همچون B^{3+},K^{+} و F^{-} را (با ثابت نگه داشتن درصد وزنی بقیه عناصر در هر فرمول) در شیشه – سرامیک‌ها مورد بررسی قرار داد. بر این اساس شیشه های GC۲ و GC۳ بر اساس تغییر فلوئورنسبت به فرمول مبنا یعنی GC1 یعنی، ترکیبات GC۴و GC ۷ بر اساس تغییر K_2O نسبت به فرمول مبنا وترکیبات GC۲ و GC۷ بر اساس تغییر B_2O_3 نسبت به فرمول مبنا تهیه شدند.

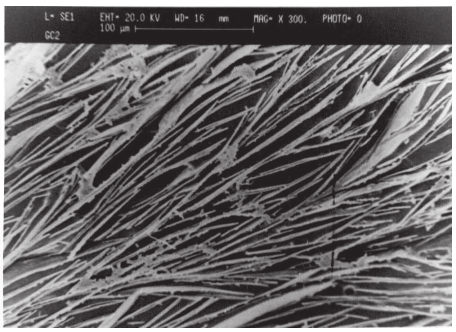
جدول ۲– نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه‌ها

خواص بررسی شده	GC.۱	GC.۲	GC.۳	GC.۴	GC.۵	GC.۶	GC.۷
شدت نسبی صفحه (۰۰۱)فاز میکا(%)	۹/۵	۷۹	۱۰۰	۴۰/۷	۶۵/۵	۶۵	۷۹
قابلیت تراشکاری	بد	خوب	خوب	خوب	بسیار خوب	متوسط	متوسط
فازبلورین	فلوگوپیت	فلوگوپیت	فلوگوپیت	فلوگوپیت	فلوگوپیت	فلوگوپیت	فلوگوپیت
d_{50}(μm) ناشی از تراشکاری	<۸/۵۸	<۸/۷۷	<۷/۷۱	<۵/۴۳	<۴/۸۶	<۷/۹۷	<۸/۸۵
استحکام MPa	۲۵/۵	۱۶/۵	۷/۵	۱۴	۴۲	۹	۵/۵
سختی GPa	۴/۰۸	۴/۴۶	۳/۲۵	۳/۰۳	۲/۵۱	۲/۹۲	۴/۵۱

جدول (۲) ماحصل آزمایش‌های XRD، استحکام خمشی، ریزسختی ،قابلیت تراشکاری و چگونگی توزیع اندازه ذرات پودرهای ناشی از تراشکاری هر یک از این شیشه – سرامیک‌ها را نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول (۲) دیده می‌شود در میان این ترکیبات سه ترکیب GC۲، GC۳ و GC۴ از قابلیت تراشکاری خوب ،دو ترکیب GC۶، GC۷ از قابلیت تراشکاری متوسط،ترکیب۱ GC از قابلیت تراشکاری بد و ترکیب GC۵ از قابلیت تراشکاری خیلی خوب برخوردار بودند.



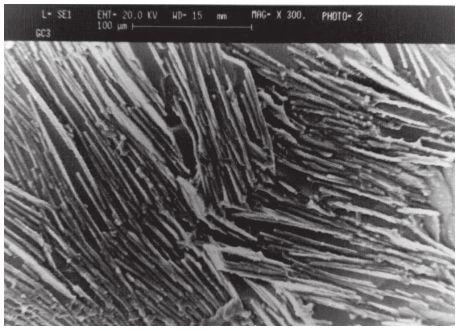
شکل ٤– ریز ساختار نمونه GC.۱ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)



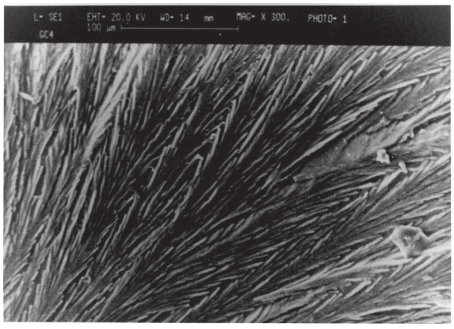
شکل ۵– ریزساختار نمونه GC.۲ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)

[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]

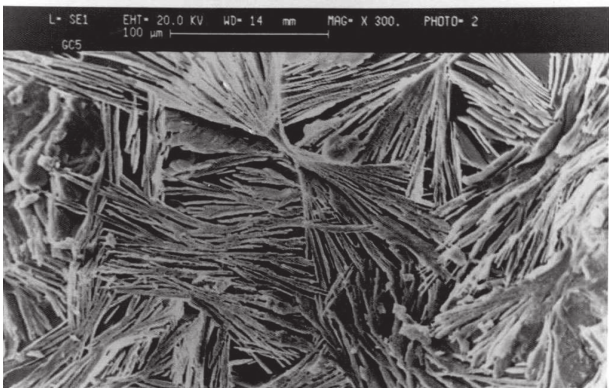


شکل ٦- ریز ساختار نمونه GC.۳ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)



شکل ۷- ریزساختار نمونه GC.۴ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)

علت ویژگی تراشکاری بد در شیشه – سرامیک GC۱، با توجه به شدت پیک پراش پرتو ایکس صفحه (۰۰۱) فاز فلوگوپیت در این شیشه سرامیک، را می‌توان به میزان تبلور اندک در شیشه مذکور مربوط دانست. اما برای درک تفاوت قابلیت تراشکاری بین ترکیبات دیگر مجدداً می‌بایست تفاوت‌های ریزساختاری بین آنها را مورد ارزیابی قرار داد. تصاویر ۴ تا ۱۰ به ترتیب ریز ساختار شیشه سرامیک‌های G.C.۱ تا G.C.۷ را که توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده‌اند نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود



شکل ۸- ریز ساختار نمونه GC.۵ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)

ریزساختار شیشه – سرامیک GC۵ از نظر کوچکی خوشه‌های بلورین و میـــزان درهم قفل شدن آنها از ریز ساختار بقیه شیشه – سرامیک‌ها کاملاً متمایز و اندازه ورقه های میکا در آن کوچکتر از صد میکرون می باشد. بنابراین همانگونه که محققین دیگر نیز قبلاً گزارش کرده‌اند در این مورد وجود چنین ریز ساختاری موجب برخورداری شیشه – سرامیک GC۵ از قابلیت تراشکاری بسیار زیاد و همچنین استحکام بیشتر نسبت به نمونه‌های دیگر می‌باشد [۴و۸]. شیشه – سرامیک مذکور از نظر متوسط اندازه ذرات پودر حاصل از سوراخکاری و همچنین سختی نیز با دیگر قطعات مورد بررسی متفاوت می‌باشد. از جدول (۲) می‌توان مشاهده کرد که متوسط اندازه ذرات پودر حاصل از سوراخکاری این شیشه سرامیک و همچنین سختی آن نسبت به شیشه – سرامیک‌های دیگر از کمترین مقدار برخوردار می‌باشد. گفته می‌شود ابعاد پـــودر حاصل از تراشکاری به ابعاد ورقه‌های بلورین میکا در قطعه شیشه – سرامیک بستگی دارد [۹]. بنابراین همانطور که از تصاویر میکروسکپی نیز مشاهده گردید، می‌توان نتیجه گرفت که ورقه‌های بلورین فلوگوپیت در شیشه – سرامیک GC۵ ابـــعاد کوچکتری نسبت به شیشه – سرامیک‌های دیگر دارند. این ابعاد ریز استحکام زیاد این شیشه سرامیک را نیز در مقایسه به دیگر شیشه – سرامیک‌ها توجیه می‌نماید زیرا گفته شده است زمانی که ابعاد ورقه‌های بلورین میکا بزرگتر از ۴/۵ میکرون باشد استحکام قطعه با توان یکم قطر ورقه نسبت عکس خواهد داشت [۳و۸]. گفته می‌شود این حالت به تمرکز تنش در فصل مشترک بلور – شیشه، ناشی از عدم تطابق ضرایب انبساط حرارتی فاز میکا با زمینه شیشه مربوط می‌شود که با بزرگتر شدن ابعاددرات

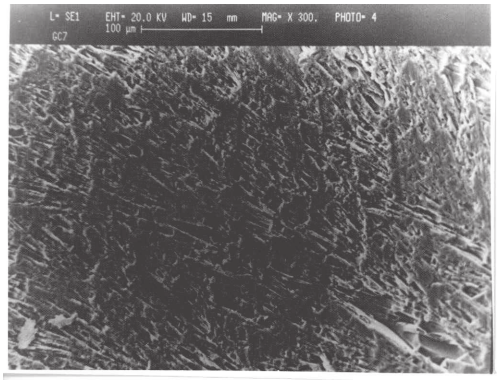
[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]

بلورین، بزرگتر شدن تنش‌های ایجاد شده،که گاه با ایجاد ریز ترک همراه است و در نتیجه کاهش استحکام را به همراه خواهد داشت [۳و۴و۸]. باید توجه داشت که سختی ماده فاکتور دیگری است که در قابلیت تراشکاری شیشه – سرامیک اثر دارد. واضح است که موادی که سختی کمتری دارند از قابلیت تراشکاری بیشتری نیز برخوردار باشند.

نکته دیگری که از دیدگاه علم مواد قابل توجه است، مغایرتی است که در وهله اول به نظر می رسد نتیجه حاصل از روند افزایش میزان کاتیون K^+ بر ویژگی تراشکاری قطعه شیشه – سرامیک با اکثریت منابع علمی دیگردارا می‌باشد. همانطور که قبلاً ذکر شد برخی از محققین معتقدند که به منظور بهبود قابلیت تراشکاری شیشه – سرامیک‌های میکای فلوئور (از طریق افزایش نسبت قطر به ضخامت ورقه‌های میکا) می‌بایست تا حد امکان غلظت K^+ را در شیشه کاهش داد [۷و۸] . اما Chyung و همکارانش معتقدند که کاهش غلظت K^+ در شیشه می‌تواند کاهش احتمال جوانه‌زنی بلورهای میکا را نیز در پی داشته باشد [۸]. با تائید این نظر و با توجه به تصویر (۸) به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر افزایش غلظت K^+ در شیشه اولیه موجب افزایش قابلیت جوانه‌زنی فاز بلوری میکا و از سوی دیگر کاهش نسبت قطر به ضخامت بلورهای میکا (از طریق افزایش سرعت رشد ضخامتی) را به همراه داشته است .گفته شده است که نسبت قطر به ضخامت برابر با ۱۲،بیشترین میزان استحکام را به همراه دارد و نسبتهای بزرگتر از آن تاثیری بر افزایش استحکام ندارد[۱۰].بنابراین به نظر می‌رسد کاهش استحکام ناشی از تنش‌ها و احتمالا ترکهای ناشی از عدم تطابق ضرایب انبساط حرارتی دو فاز شیشه باقی مانده و بلور میکا که با رشد قطری رابطه مستقیم دارد نقش مهمی را در کاهش استحکام نمونه های حاوی K_2O کم ایفا می‌نماید.

شکل ۹- ریزساختار نمونه GC.۶ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)



شکل ۱۰- ریزساختار نمونه GC.۷ پس از عملیات حرارتی (بزرگنمایی ۳۰۰)

کاهش تدریجی فلوئور از ۱۰ به ۶ درصد وزنی، کاهش استحکام و همچنین کاهش سختی قطعات شیشه – سرامیک را به ترتیب از ۲۵/۵ MPa و ۴/۰۷GPa (در ترکیب GC۱) به ۷/۵MPa و ۳/۲۵GPa (در ترکیب GC۳) به دنبال داشت. با توجه به نقش کمک ذوب گونهٔ فلوئور در ترکیب شیشه [۱۱] انتظار می‌رفت که کاهش این ماده افزایش خواص مکانیکی را به همراه داشته باشد اما با توجه به آنکه ماده اولیه تامین کننده فلوئور در این پژوهش MgF_2 بود، نتایج مذکور معقول به نظر می‌آید. زیرا گفته می‌شود که MgF_2 در ترکیب این نوع شیشه‌ها به عنوان عامل جوانه‌زای فازهای بلورین عمل می‌کند [۸و۱۲و۱۳]. با توجه به این موضوع می‌توان انتظار داشت که کاهش درصد وزنی MgF_2 کاهش تعداد مراکز جوانه‌زنی و در نتیجه افزایش بیش از حد قطر ورقه‌های میکا را در پی داشته باشد که این حالت خود اثر سوء بر استحکام و سختی قطعه خواهد داشت.

نحوه تغییر استحکام و سختی قطعات شیشه – سرامیک با تغییر درصد وزنی B_2O_3 از روند خاصی تبعیت نکرد و نتایج حاصل با توجه به داده‌ها و اطلاعات موجود غیر قابل توضیح می‌باشد.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]

٤- نتیجه‌گیری

- از انجام این پژوهش نتایج ذیل حاصل گردید:
- بـــا افزایش درصد K_2O در تـــرکیب شیشه قابلیت تراشکاری، سختی و استحکام قطعه شیشه – سرامیک افزایش می‌یابد.
- با توجه به تصاویر میکروسکوپی SEM و نتایج XRD، به نظر می‌رسد که بهبود خواص شیشه – سرامیک (ناشی از بیشتر شدن درصد K_2O) از افزایش درصد حجمی، ریزتر شدن و بی‌نظمی بیشتر در نحوه آرایش خوشه‌های بلوری فاز میکای فلوئور سرچشمه می‌گیرد.
- افزایش K_2O در ترکیب شیشه از طریق کاهش نسبت قطر به ضخامت بلورهای ورقه‌ای میکای فلوئور و در نتیجه کاهش تنش ناشی از عدم انطباق ضرایب انبساط حرارتی فاز بلوری و زمینه شیشه، موجب افزایش استحکام ترکیب GC۵ نسبت به ترکیبات دیگر می‌گردد.
- به نظر می‌رسد کاهش میزان F، از طریق کاهش میزان MgF_2، موجب کاهش مقدار مراکز جوانه‌زنی و در نتیجه رشد افراطی قطر ورقه می‌شود. این حالت کاهش استحکام و سختی را در پی خواهد داشت.

مراجع

1. Daniels,W.H. & Moore,R.E., "Crystallization of a Tetrasilicic Fluoromica Glass", J.Am.Ceram.Soc,58: 217-221(1975).
2. Beall,G.H., "Design of Glass-Ceramic", Reviews of Solid State Science,World Scientific Publishing Company, 3: 333-354(1989).
3. Grossman,D.G., "Machining a Machinable Glass-Ceramic", Vacuum,28: 55-61(1977).
4. Grossman,D.G., "Machinable Glass-Ceramic Based on Tetrasilicic Mica", J.Am.Ceram.Soc,55: 446-449(1972).
5. Strand,Z, "Glass-Ceramic Materials", Glass Science and Technology,Elsevier, New York,PP: 107-110(1986).
6. Rothenberg,B.G., "Glass Technology",Noyes Data Corporation,New Jersey,PP: 233-235(1976).
7. Meyers,R.A., "Encyclopedia of Physical Science and Technology,Academic Press,New York,Volume 7,PP: 450-455(1987).
8. Chyung,C.K. Beall,G.H. and Grossman,D.H., "Microstructure & Mechanical Properties of Mica Glass-Ceramic", in Tenth International Congress on Glass,Part II,Edited by Kunugi,M., Tashiro,M. and Saga,N.,The Ceramic Society of Japan,Kyoto,Japan,PP: 14.33-14.47(1974).
9. Saraswati.,V., "Development of a Machinable Glass-Ceramic", Advanced Ceramic,PP: 193-197(1990).
10. Wachtman,John B, "Mechanical Properties of Ceramics", John Wiley & Sons,New York(1996).
11. Likitvanichkul,S. and Lacourse,W.C., "Effect of Fluorine Content on Crystallization of Canasite Glass-Ceramics", J.Mat.Sci.,30: 6151-6155(1995).
12. Hamasaki,T.,Katsuya,Eguchi.,Yoshinori,Koyanagi.,Matsumoto,A.,Utsunomiya,T. and Koba,K., "Preparation and Characterization of Machinable Mica Glass-Ceramic by the Sol-Gel Process", J.Am.Ceram.Soc.,71[12]: 1120-1124(1988).
13. Dalal,K.H. and Davis,P.F., "Beta Spodomene-Mica Glass-Ceramic I,Phase Evolution and Microstructure", Ceramic Bulletin,56: 991-997(1977).

[Downloaded from jicers.ir on 2026-10-08]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1384.1.1.4.3]