## Archive of SID



# بررسی برخی ویژگیهای گرمایی کامپوزیتهای شیشه- سرامیک دارای سامانه عی فرایند سینترینگ تقویت شده با ذرات آلومینیم تیتانات SiO<sub>2</sub>-CaO-Na<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-WO<sub>3</sub>

آتوسا احمدی<sup>۱</sup>، مریم کارگر راضی<sup>۲و\*</sup> و پروین علیزاده<sup>۳</sup>

۱ – کارشناس ارشد شیمی معدنی، دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران ۲– استادیار شیمی معدنی، گروه شیمی، دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران ۳– دانشیار مهندسی مواد، گروه مواد و سرامیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت: آبان ۱۳۹۱، بازنگری اول: دی ۱۳۹۱، بازنگری دوم: اسفند ۱۳۹۱، پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۲

چکیده: ویژگیهای گرمایی شیشههای سامانه SiO<sub>2</sub>-CaO-Na<sub>2</sub>O که به روش سینترینگ و با افزایش برخی افزودنیها مانند Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> و WO ساخته شده بود نسبت به یک شیشه مبنای انتخابی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، فریتهای بهدست آمده از سرمایش سریع مذابهای شیشه پس از آسیاکاری به پودر ریز تبدیل شدند که برای تعیین دمای تبلور شیشه – سرامیکها استفاده شد، از روش تجزیه گرمایی افتراقی (DTA) شیشه پس از آسیاکاری به پودر ریز تبدیل شدند که برای تعیین دمای تبلور شیشه – سرامیکها استفاده شد، از روش تجزیه گرمایی افتراقی (DTA) برای تعیین دمای تبلور شیشه – سرامیکها استفاده شد، از روش تجزیه گرمایی افتراقی (DTA) برای تعیین دمای تبلور شیشه – سرامیک ها استفاده شد، از روش تجزیه گرمایی افتراقی (DTA) برای تعیین دمای تبلور شیشه پس از آسیاکاری به پود ویژگیهای گرمایی کامپوزی شیشهها به وسیله پراش پرتو ایکس (XRD) بررسی شد. برای بهبود ویژگیهای گرمایی، تأثیر فرایند سینترینگ و ویژگیهای گرمایی گرمایی مورد بررسی قرار گرفت. ترای زمای دمای تبلور شیند می تبلور شیشها استفاده شد. ساختار بلوری شیشهها به وسیله پراش پرتو ایکس (XRD) بررسی شد. برای بهبود ویژگیهای گرمایی، تأثیر فرایند سینترینگ و ویژگیهای گرمایی تعیین دمای تبلور شیشها استفاده شد. ساختار بلوری شیشه سرامیک حاوی مقدارهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی ذرات آلومینیم تیتانات مورد بررسی قرار گرفت. قرار گرفت. قرار گرفت. قرار گرفت. از گرفت. وایز درفت. سیکروسکوپ الکترونی روبشی افزایش حرارت اسامی ترکیبها در گستره دمایی ترار گرفت. دمامی ترکیبها در گستره دمایی باده به کمک الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و ساختار آنها با میکروسکوپ الکترونی روبشی فازهای بلوری موجود در کامپوزیتهای بهدست آمده به کمک الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و ساختار آنها با میکروسکوپ الکترونی روبشی فازهای برسی شد. ضریبهای انبساط گرمایی کامپوزیتهای بهدست آمده در دما و زمان بهینهاندازه گیری شد و با شیشه – سرامیکهای پایه مد.

نتیجههای بررسیهای الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) نشان داد که فازهای بلوری درکامپوزیتهای شیشه– سرامیک افزونبر فاز ولاستونیت شامل آلومینیم تیتانات و به مقدارهای جزیی حاوی آلومینیم اکسید و روتیل است. همچنین مشخص شد که افزایش ۱۵ درصد وزنی ذرات آلومینیم تیتانات سبب افزایش دانسیته نسبی و کاهش ضریب انبساط گرمایی (<sup>۱</sup>-۴ K<sup>-۱</sup> × ۱۹۵۵م-۶) در مقایسه با کامپوزیتهای انتخاب شده میشود که در بهبود ویژگیهای گرمایی مؤثر است.

واژههای کلیدی: سینترینگ، کامپوزیت، ضریب انبساط گرمایی، ریزساختار

#### مقدمه

سرامیکهای پیشرفته، گروهی از مواد جدید هستند که به دلیل برخورداری از ویژگیهایی چون پایداری در دماهای بالا، استحکام زیاد و مقاومت بالا در برابر خوردگی، ویژگیهای الکتریکی ویژه

و منحصر به فرد در بسیاری از صنایع در لیست مواد بسیار مهم قرار گرفتهاند این مواد با توجه به کاربرد، ارزش افزوده و پیچیدگی فناوری، تقسیم بندی های متفاوتی دارند. رایج ترین دسته بندی سرامیکهای پیشرفته براساس کاربرد

> m\_kargarrazi@iau-tnb.ac.ir عهدهدار مكاتبات www.SID.ir

دارد، سبب ساخت مواد سرامیک جالب با این ویژگیها می شود. بنابراین، در صورت استفاده از چنین شیشه- سرامیکی به عنوان فاز بستر در کامپوزیت آلومینیم تیتانات / شیشه- سرامیک، می توان اثر اختلاف ضریب انبساط گرمایی بین فاز بستر و فاز تقویت کننده و واکنشهای احتمالی بین شیشه و آلومینیم تیتانات را مورد بررسی قرار داد و با توجه به نتیجههای به دست آمده افزون بر بهبود ویژگیها می توان شرایط سینترینگ و کامپوزیت مناسب را تعیین کرد [۶تا ۱۱].

## بخش تجربی مواد و دستگاهها

مواد اولیه مصرفی برای تهیه شیشه-سرامیک ولاستونیت در این پژوهش، ۵۹٬۶۸ درصد وزنی پودر سیلیکا ستبران (SiO<sub>2</sub>)، ۲۷٬۲۵ درصد وزنی کلسیم کربنات (CaCO<sub>3</sub>)، ۵٬۰۸ درصد وزنی سديم كربنات (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)، ۶ درصد وزنى آهن اكسيد (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) و ۲ درصد وزنی تنگستن اکسید (WO<sub>3</sub>) بود. پودر آلومینیم تيتانات نيز بهعنوان جزء دوم و ساير مواد به غير از سيليكا در گرید آزمایشگاهی بودند. توزیع اندازه ذرات پودر بهوسیله Laser Particle Size (Fritsch analysette 22) دستگاه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی رفتار گرمایی پودرهای شیشه، تعیین دمای تبلور (Tc) و دمای آغاز تبلور (To) با استفاده از دستگاه (Polymer laboratories PL-STA 1640) تجزیه گرمایی انجام شد. به منظور شناسایی نوع و مقدار فازهای بلوریی ایجاد شده پس از هر مرحله عملیات گرمایی از دستگاه پراش پرتو ایکس (Simens, model D500) و بررسی ساختاری نمونهها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) Philips XL30 مجهز به سامانه تجزیه گر EDAX انجام گرفت. برای اندازه گیری ضریب انبساط گرمایی شیشه-سرامیکهای سینتر شده و کامپوزیتهای آن از دستگاه دیلاتومتری (Netzsch, E402) در گستره دمایی ۳۶ تا C<sup>°</sup>C استفاده شد.

*روشها* هریک از مواد پس از اختلاط، به مدت ۳۰ دقیقه در درون بوته بررسی برخی ویژگیهای گرمایی کامپوزیتهای ...

آنهاست که شامل سرامیکهای مهندسی، بیوسرامیکها، الکتروسرامیکها و شیشه- سرامیکها است. شیشه- سرامیکها در بسیاری از موارد افزون بر این که مقاومت گرمایی بالایی دارند دارای سختی، استحکام و مدول مطلوبی نسبت به بسیاری از فلزات و پلیمرها هستند. همچنین با توجه به این که چگالی، ضریب انبساط گرمایی، رسانایی گرمایی و الکتریکی پایین تری دارند، توجه پژوهشگران را به خود جلب کردهاند [۱ و ۲].

از جمله این شیشه- سرامیکها می توان به شیشه- سرامیکهای گروه ولاستونیت اشاره کرد. شیشه- سرامیکهای ولاستونیت افزونبر انقباض پایین، انبساط گرمایی و رسانایی گرمایی پایین، استحکام و مقاومت در برابر شوک گرمایی عالی دارند. بهطور کلی سراميکهای ولاستونيتی در دماهای پايين جدايش میيابند و افزایش دما در طی عملیات گرمایی در دمای C° ۹۵۰ و C° ۱۲۰۰ به ترتيب فازهاى بتا- ولاستونيت و آلفا- ولاستونيت را نشان میدهند. در نتیجه دمای تبدیلات فازی پودرهای ولاستونیتی در مقايسه با روش واكنش حالت جامد پايين تر است [٣ تا ٥]. بنابراین، برخی از پژوهشگران با استفاده از عملیات گرمایی ویژه به بهبود سینترپذیری شیشه- سرامیکهای ولاستونیتی کمک کردند که می توان به پژوهش های زو و همکارانش [۵] در سامانه SiO<sub>2</sub>-CaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> اشاره کرد. نتیجههای پژوهشهای آنها نشان داد که سینترینگ این شیشه– سرامیکها در دمای C° ۸۲۰ انجام شد و یکی از فازهای تشکیل شده در مرحله بلوری شدن <sub>c</sub>aSiO است. در این پژوهش نیز سعی شده است که از روش سینتر بدون فشار، شیشه-سرامیکهایی با ویژگیهای گرمایی مناسب و دانسیته نهایی قابل توجه در سامانه SiO<sub>2</sub>-CaO-Na<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-WO بهدست آورد. همچنین برای بهبود ویژگیهای گرمایی، ذرات آلومینیم تیتانات به عنوان جزء دوم به ذرات شیشه اقزوده شد و رفتار سینترپذیری و ویژگیهای آن مورد بررسی قرار گرفت.

آلومینیم تیتانات به دلیل این که ضریب انبساط گرمایی پایین (۲-۲ × ۱۰<sup>-۶</sup> تا <sup>۶-</sup>۱۰ تا ۲۰۰<sup>-۶</sup>)، مقاومت در برابر شوک پذیری عالی (۵۰۰W.m<sup>-1</sup>)،استحکام پیوندی(۱۰MPa تا ۱۰MPa)،رسانایی گرمایی پایین (۱۰۲-۱٫۵Wm<sup>-1</sup>)، دمای دیر گدازی بالا (نقطه ذوب ۲۰ ۱۸۶۰)

سال هفتم، شماره ۲، تابستان ۹۲

نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی (JARC) *www.SID.ir*  کارگر راضی و همکاران

آلومینایی و در دمای C° ۱۴۱۰ در کوره الکتریکی ذوب و مذاب بهدست آمده در آب سرد شد. سپس در داخل قالب فلزی ریخته و در کوره الکتریکی در دمای C° ۵۸۰ به مدت ۱ ساعت گرمادهی شد. سپس فریت بهدست آمده به مدت ۱ ساعت با آسیاب در محیط آبی آسیاب شد. پودر آلومینیم تیتانات نیز به مدت ۲ ساعت با آسیاب در محیط آبی آسیاکاری شد.

ماده مرجع در این آزمایش، پودر  $\Delta_2O_3 - \alpha - Al_2O_3$  و جنس بوته از آلومینا بود. نمونههای شیشه به وزن ms ۱۰ درون بوته آلومینایی با سرعت افزایش دما C/min ۵ از دمای اتاق تا دمای  $2^\circ$  ۲۰۰۰ گرما داده شدند. فرایند مخلوط کردن پودر شیشه با ذرات آلومینیم تیتانات ۱۵ min در محیط آبی انجام شد. پس از خشک کردن مخلوطها در خشک کن، قابلیت پرس پذیری پودر شیشه و مخلوط شیشه– آلومینیم تیتانات با افزودن ۷ درصد از چسب PVA با غلظت شیشه– آلومینیم تیتانات با افزودن ۷ درصد از چسب AVP با غلظت قرص، از قالب mm و پرس تک محوره سرد استفاده شد. فشار نهایی اعمالی، برای هر نمونه قرص ۶۹ MPa در نظر گرفته شده نهایی اعمالی، برای هر نمونه قرص ۶۰ MPa در نظر گرفته شده نهایی اعمالی، برای هر نمونه قرص ۶۰ MPa در نظر گرفته شده نموی از خشک کردن قطعات پرس شده در خشک کن الکتریکی نمونهها اسر عت ۲ ساعت، عملیات حذف چسب در دمای در دمای  $2^\circ$  ۲۰۱۰ به مدت ۲ ساعت، عملیات حذف چسب در دمای نمونهها با سرعت گرمایش C/min ۵ در کوره الکتریکی انجام شد.

زمان ماندگاری نمونهها ۳ ساعت انتخاب شد. چگالی توده از طریق غوطه وری ارشمیدس (ASTM C373-38) و چگالی حقیقی از طریق پیکنومتری (ASTM D2320-98) اندازه گیری شد.

#### نتيجهها و بحث

توزیع اندازه ذرات پودر شیشه و آلومینیم تیتانات در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۲ الگوهای بهدست آمده از تجزیه DTA پودر شیشه و شیشههای حاوی مقدارهای متفاوت آلومینیم تیتانات را نشان می دهد. دمای بیشینه تبلور برای پودر شیشه و نمونههای کامپوزیت شیشه/ آلومینیم تیتانات به ترتیب C° ۸۷۵ و C° ۸۷۰ است. نتیجههای بهدست آمده نشان داد که با افزایش مقدار آلومینیم تیتانات، دمای تبلور کاهش و شدت پیک تبلور افزایش یافت. افزایش شدت پیک حاکی از رسوب فازهای آلومینیم تیتانات، آلومینیم اکسید و روتیل است [۱۱].

چگالی نسبی نمونههای سینترشده برحسب دما در شکل ۳ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود با توجه به درصد چگالی نسبی، دمای بهینه سینترینگ در شیشه-سرامیک و کامپوزیت ها، به ترتیب دمای C<sup>o</sup> ۷۵۰ و C<sup>o</sup> ۸۱۰ است. از این رو با توجه به دمای پیک بلورینگی شیشه، سینترینگ نمونههای کامپوزیت در دمایی پایین تر از دمای بلورینگی شیشه اتفاق افتاده است.



(b) شکل ۱ توزیع اندازه ذرات پودر شیشه (a) و آلومینیم تیتانات (b)

#### بررسی برخی ویژگیهای گرمایی کامپوزیتهای ...



شکل ۲ تجزیه گرمایی افتراقی نمونههای پودر شیشه (a) و نمونههای بستر شیشه / آلومینیم تیتانات (d و c ،b)



شکل ۳ دانسیته نسبی نمونهها بر حسب دماهای سینترینگ

بنابراین، نتیجهها نشان داد که افزایش ذرات آلومینیم تیتانات در نمونههای کامپوزیت، کاهش انقباض خطی و کاهش مقدار فاز شیشه برای سینترینگ از طریق جریان ناروان را به دنبال دارد. افزایش دمای سینترینگ کامپوزیت و نزدیک شدن به دمای پیک بلورینگی منجر به پیدایش سوراخهای باز در سطح قطعه و کاهش انقباض خطی می شود [17].

شکل ۴ الگوی پراش پرتو ایکس شیشه – سرامیک و نمونههای کامپوزیت در دمای بهینه سینترینگ را نشان میدهد. افزون بر فاز ولاستونیت در شیشه – سرامیک، کامپوزیتها نیز واجد فازهای آلومینیم تیتانات و به مقدار جزیی دارای فازهای آلومینیم اکسید و روتیل هستند. همان طور که مشاهده میشود، شدت پیک ولاستونیت با افزایش درصد وزنی آلومینیم تیتانات در کامپوزیت افزیش مییابد. احتمال این فرضیه وجود دارد که ذرات آلومینیم نیتانات به ذرات بسیار ریزی شکسته و به طور پراکنده و یکنواخت توزیع یکنواخت ذرات آلومینیم تیتانات و افزایش مصرف آن باعث میشود که به عنوان جوانه زا عمل کرده و در نتیجه شدت پیک ولاستونیت افزایش یابد و از میزان فاز شیشه کاسته شود. همچنین حضور فازهای آلومینیم اکسید و روتیل به مقدار جزیی در و واکنش پذیری آن با فاز شیشه است.



نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی (JARC) *www.SID.ir* 

کارگر راضی و همکاران

یافته که خود منجر به افزایش چگالی نسبی شده است.

ویژگیهای گرمایی و چگالی کامپوزیتهای سینترشده در

چگالی نسبی کمتری نسبت به شیشه- سرامیک ولاستونیت دارند

تصویرهای الکترونی روبشی (SEM) از شیشه- سرامیک در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که در تصویر مشاهده می شود ریز ساختار شیشه– سرامیک شامل بلورهای ولاستونیت 🦳 جدول ۱ خلاصه شده است. است. با توجه به شکل به نظر میرسد که با افزایش درصد همان طور که مشاهده می شود کامپوزیت ها چگالی توده و آلومینیم تیتانات میزان تخلخل داخلی در کامپوزیتها کاهش



شکل ۵ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونههای سینتر شده: (a) شیشه- سرامیک (b) کامپوزیت B و (c) کامپوزیت B و (c) کامپوزیت C

ضریب انبساط گرمایی ( <sup>-*K-1</sup> )				چگالی نسبی	چگالی نسبی	چگالی بالک	نمينه ها
89-9	89-400	89-800	89-200	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	تمونه ها
۷٫۶۳۷۶	۲,• ۳۵۶	۶,۷۲۶۵	8,727	۹۷٫۲۴	2/224/	۲,۷۸	شيشه- سراميك ولاستونيت
٨,٨١۴۵	۸٫۳۱۹۱	٨,• ۵۴٩	۷٫۶۷۰۵	٩١,٩٢	۲,۷۸۵.	۲,۵۶	كامپوزيت A
٨,٣١٢٧	۷٫۸۳۲۰	V/274V	٧,٣•٣۵	٩٣,٣٢	$\chi_{\lambda}\chi\chi_{\lambda}$	<b>7</b> ,84	كامپوزيت B
۷٫۳۲۵۰	8,9010	8,898.	8,877.	۹۵٫۶۶	T/ADTY	۲٫۷۳	کامپوز <mark>یت C</mark>

جدول ۱ ویژگیهای گرمایی و چگالی نمونهها





شکل ۶ ضریب انبساط گرمایی کامپوزیتهای A، B و C در دمای سینترینگ با زمان ماندگاری ۳ ساعت

در حالى كه افزايش درصد وزنى ذرات آلومينيم تيتانات به فاز زمینه، چگالی توده کامپوزیتها را افزایش میدهد و بر میزان چگالی نسبی افزوده میشود. ضریب انبساط گرمایی بهدست آمده در شیشه-سرامیک ولاستونیت و ذرات آلومینیم تیتانات به ترتیب برابر ۲۰<sup>-۶</sup> K<sup>-1</sup> و ۷٬۰۳۵۶ و ۲۰<sup>-۶</sup> K<sup>-۱</sup> است. مقایسه ضریب انبساط گرمایی بین شیشه - سرامیک ولاستونیت و کامپوزیتها نشان میدهد که شیشه – سرامیک، ضریب انبساط گرمایی کمتری نسبت به کامپوزیت A و B و ضریب انبساط گرمایی بیشتری نسبت به کامیوزیت C دارد. این احتمال وجود دارد که ریزترشدن ذرات آلومینیم تیتانات و افزایش سطح تماس ذرات با پودرهای شیشه، سبب بالا رفتن واکنش پذیری بین ذرات تیتانات آلومینیم و پودرهای شیشه خواهد شد. همچنین می توان اشاره کرد که با افزایش ذرات آلومینیم تیتانات امکان حل شدن بیشتر این ذرات در فاز شیشه وجود خواهد داشت که نقش اساسی را در کاهش ضریب انبساط گرمایی ایفا می کند. شکل ۶ منحنی ضریب انبساط گرمایی کامپوزیتها را در گستره دمایی ۳۶ تا C° ۱۰۰۰ را نشان میدهد.

### نتيجه گيرى

در نمونههای پودر شیشه و کامپوریتهای حاوی مقدارهای متفاوت آلومینیم تیتانات، با افزایش مقدار آلومینیم تیتانات، دمای تبلور کاهش و شدت پیک تبلور افزایش می ابد که این افزایش به دلیل رسوب فازهای آلومینیم تیتانات، آلومینیم اکسید و روتیل است. با توجه به درصد چگالی نسبی و دمای پیک بلورینگی سینترینگ نمونههای کامپوزیت در دمای پایین ر از بلورینگی شیشه رخ داده است که مربوط به افزایش ذرات آلومینیم تیتانات شیشه رخ داده است که مربوط به افزایش ذرات آلومینیم تیتانات در نمونههای کامپوزیت است که این مورد به کاهش انقباض خطی و کاهش مقدار فاز شیشه برای سینترینگ از طریق جریان، روان می شود. از طرف دیگرافزایش دمای سینترینگ کامپوزیت و نزدیک شدن به دمای پیک بلوری شدن منجر به بروز منافذ باز در سطح نمونه و کاهش انقباض خطی می شود. الگوی پراش پرتو ایکس نشان می دهد که در نمونههای کامپوزیت با افزایش درصد

## Archive of SID

کارگر راضی و همکاران

فازهای ألومينيم اكسيد و روتيل تشكيل ميشود.

روند افزایش چگالی نسبی در نمونههای کامپوزیتی، ناشی از کاهش تخلخل داخلی بوده که این مورد با افزایش درصد آلومینیم تیتانات همراه است. با کاهش سایز ذرات آلومینیم تیتانات واکنش پذیری بیش تر می شود که به دلیل افزایش سطح تماس و انحلال آن ها در فاز شیشه است.

وزنی آلومینیم تیتانات شدت پیک ولاستونیت افزایش مییابد که فرض می شود، ریز ذرات آلومینیم تیتانات، در فاز شیشهای به صورت همگن قبل از شروع فرایند سینترینگ نفوذ یافتهاند و این پدیده منجر به جوانه زایی شده و با افزایش شدت پیک ولاستونیت، شدت فاز شیشهای کاهش مییابد. در نتیجه تجزیه فاز آلومینیم تیتانات در نزدیکی دمای سینترینگ، مقدار اندک

### مراجع

- Strand, Z.; Glass Science & Technology., Elsevier, New York, 9-28, 129-131, 1986.
- [2] Millan, Mc.; Glass-Ceramics, Academic Press, London, 226-320, 1976.
- [3] Zhang, H.; Ye, X.J; Li, J.S.; Biomedical Materials., 4, 045007, 2009.
- [4] Mazzucato, E.; Gualtieri, A.F.; Phys Chem Minerals., 27, 565-574, 2000.
- [5] Liu, X.; Ding, C.; Wang, Z.; Biomaterials 22, 2007-2012, 2001.
- [6] Thomas, H.A.J.; Stevenc, R.; Br. Ceram. Trans., 88, 144-190, 1989.
- [7] Padture, N.P.; Bennison, S.J.; Chan, H.M.; J. Am. Ceram. Soc., 76(9), 2312–2320, 1993.

- [8] Uribe, R.; Baudin, C.; J. Am. Ceram. Soc., 86(5) 846-850, 2003.
- [9] Tsetsekou, A.; J. Eur. Ceram. Soc. 25, 335-348, 2005.
- [10]Ananthakumar, S.; Jayasankar, M.; Warrier, K.G.K.; J. Acta Materials., 54, 2965-2973, 2006.
- [11]Oikonomoua, P.; Dedeloudis a, Ch.; Stournaras, C.J.; Ftikos, Ch.; J. European Ceramic Society, 27, 3475-3482, 2007.
- [12] Alizadeh, P.; Eftekhari-Yekta, B.; Gervei, A.;J. Eur. Ceram. Soc, 24, 3529-3533, 2004.
- [13]Donald, I.W.; Key Eng. Matter., 108-110, 123-144, 1995.