

SAT-ONLINE-P-2-CT(R)-06

**CORDIERITE CERAMICS WITH IMPROVED
PERFORMANCE PROPERTIES**

Assoc. Prof. Olena Karasyk, PhD

Department of Chemical Technology of Ceramics and Glass,
Ukrainian State University of Chemical Technology
E-mail: karalvit2015@gmail.com

Assoc. Prof. Tsvetan Dimitrov PhD

Department of Chemistry, Food and Biotechnologies
University of Ruse "Angel Kanchev", Branch Razgrad
E-mail: tz_dimitrow@abv.bg

***Abstract:** Cordierite ceramics have found wide application in various branches of science and technology. Its distinctive feature is a low coefficient of linear expansion. However, it is practically impossible to obtain ceramics with zero porosity. Therefore, the study investigated the possibility of obtaining cordierite ceramics with improved performance characteristics. As a result of the development of the initial chemical composition of the base composition, it was possible to obtain materials with the following properties: porosity 1,4%, density 2.07 g/cm³, compressive strength 130 MPa, temperature coefficient of linear expansion $19,2 \cdot 10^{-7} \text{ deg}^{-1}$.*

***Keywords:** Cordierite, Thialite, Porosity, Compressive strength, Temperature coefficient of linear expansion*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мировой практике изготовления радиопрозрачных изделий используют большое количество материалов, которые можно разделить по составу на органические: материалы на органической основе и неорганические: композиционные материалы, эмаль, керамика, стекло.

Основными материалами антенных обтекателей высокоскоростных летательных аппаратов радиолокационного наведения является кварцевая и алюмосиликатная керамика, а также термостойкие стеклокристаллические материалы (ситаллы и ситаллокерамика). При этом одна из ведущих ролей принадлежит стеклокерамическим и стеклокристаллическим материалам, которые получают в магнийалюмосиликатной системе, основной кристаллофазовый состав которых представлен кордиеритом ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) [1-4]. Такие материалы обладают высокими показателями термических, механических и физико-химических свойств.

Отличительная особенность кордиерита – низкий коэффициент линейного расширения (ТКЛР, α). Благодаря этому свойству кордиеритовая керамика отлично выдерживает резкие перепады температур и является жаропрочным материалом. Температурный предел использования изделий из кордиерита не превышает 1300-1450 °С при длительной эксплуатации. Однако получить керамику такого состава по порошковой (керамической) технологии с нулевой пористостью практически невозможно.

В связи с вышеизложенным исследования были направлены на изучение различного сырья для получения максимального количества кордиерита в соответствии с реакциями на полное связывание последнего. В работе также исследовали влияние различного количества добавок для получения керамики с минимальной пористостью и максимальными значениями механических свойств.

ИЗЛОЖЕНИЕ

С целью определения влияния различных сырьевых материалов на свойства исследуемой керамики и выбора базовой матрицы композиционной смеси были рассчитаны следующие реакции на полное связывание сырьевых компонентов в кордиерит:

- 1) $2(3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2) + \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + 5(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \rightarrow 3(2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2)$
- 2) $2(3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 6(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \rightarrow 3(2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2) + 5\text{SiO}_2 + 16\text{H}_2\text{O}$
- 3) $2(3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 6\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + 7\text{SiO}_2 \rightarrow 3(2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O}$
- 4) $2(3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2) + 6\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + 7\text{SiO}_2 \rightarrow 3(2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2)$
- 5) $2\text{MgO} + 2\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + 5\text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$
- 6) $2(3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 6(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \rightarrow 3(2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2) + 5\text{SiO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

Составы композиционных смесей приведены в табл.1. Изготовление экспериментальных образцов осуществляли способом шликерного литья из водной суспензии в гипсовые формы.

Таблица 1 Составы базовых композиционных смесей

№	MgO	3MgO·4SiO ₂	3MgO·4SiO ₂ ·2H ₂ O	γ-Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O	SiO ₂
1	-	41,2	-	14,5	32,3	-	-
2	-	-	45,3	-	-	88,3	-
3	-	-	45,3	34,9	-	-	23,9
4	-	41,2	-	34,9	-	-	51,4
5	13,8	-	-	34,9	-	-	51,4
6	-	-	45,3	-	75,9	-	-

Экспериментальные образцы в виде цилиндров обжигали при температуре 1250°C в течение 1 ч. Свойства полученных материалов представлены на рис.1-3.

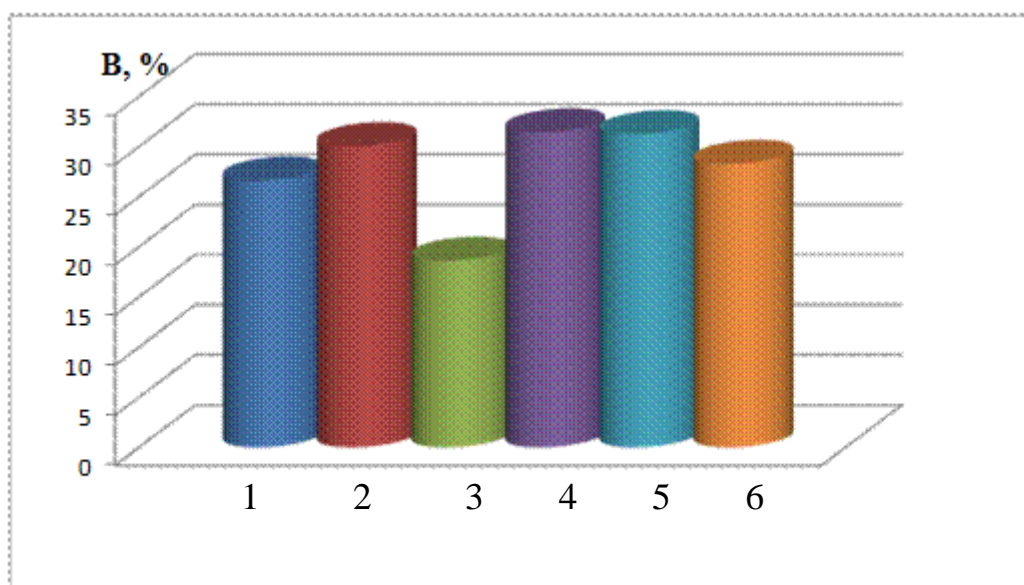


Рис. 1 Влияние состава на водопоглощение образцов

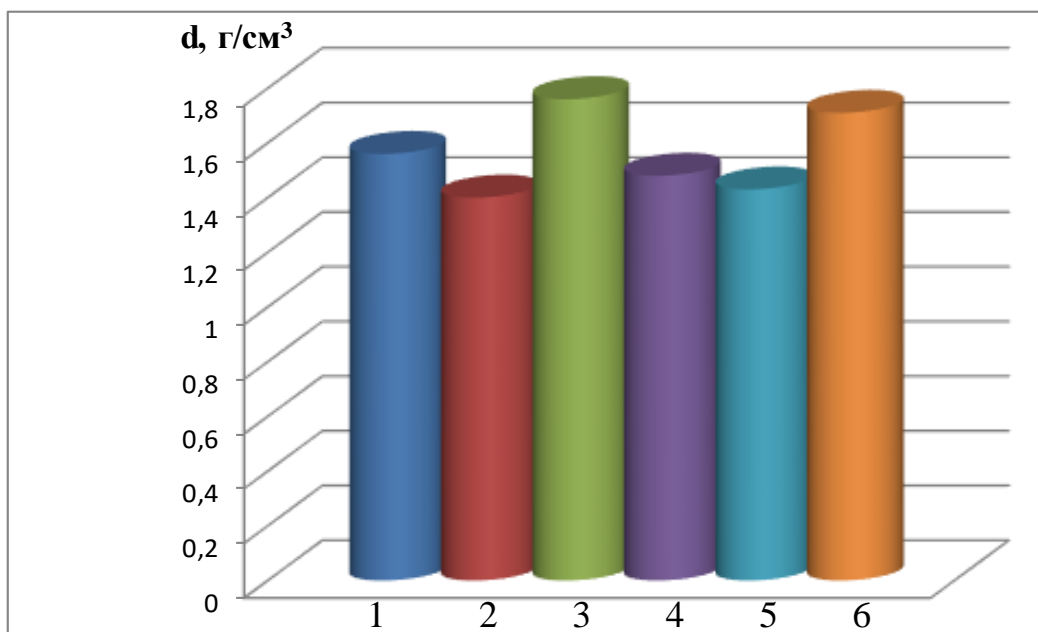


Рис. 2 – Влияние состава на плотность образцов

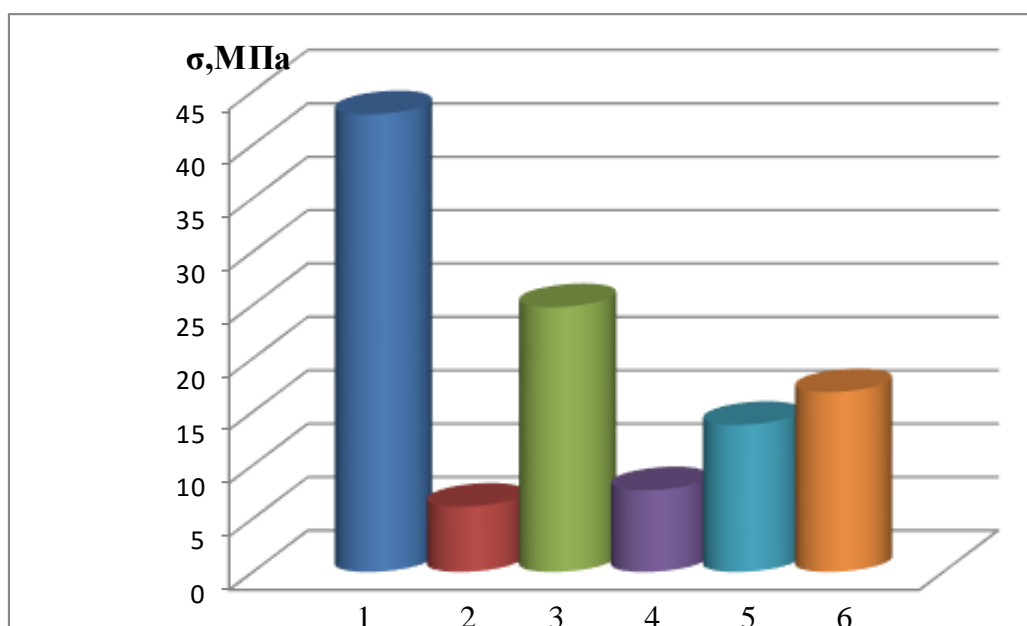


Рис. 3 Влияние состава на предел прочности на сжатие образцов

Анализ полученных зависимостей позволил рекомендовать образец № 1, который характеризуется максимальными значениями прочности $\sigma_{сж}$ - 43 МПа для дальнейших исследований. На рентгенограмме опытного материала (рис.4) отмечается, что кристаллофазовый состав представлен исключительно кордиеритом. Указанное дает основание для проведения дальнейших исследований с целью улучшения основных физико-механических характеристик образцов. Кроме того шликер на базе композиционной смеси № 1 характеризуется удовлетворительными литьевыми свойствами, что позволит получать изделия сложной конфигурации.

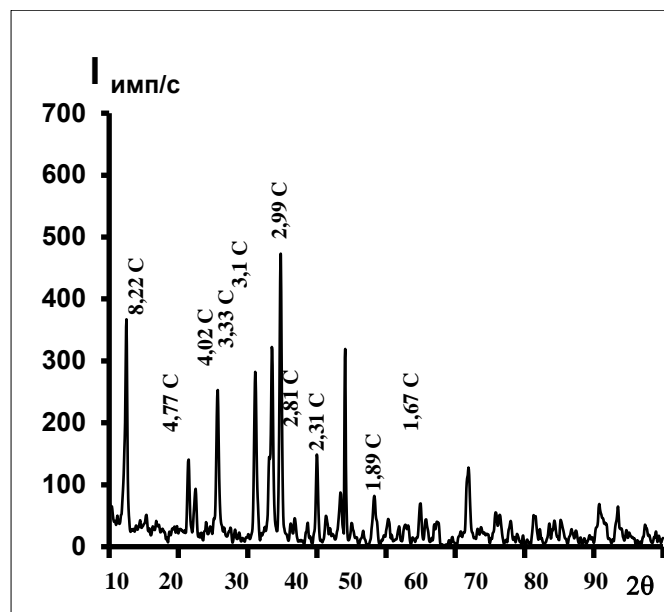


Рис. 4 – Рентгенофазовый анализ образца № 1 (температура обжига 1250°C, время обжига – 1 ч)

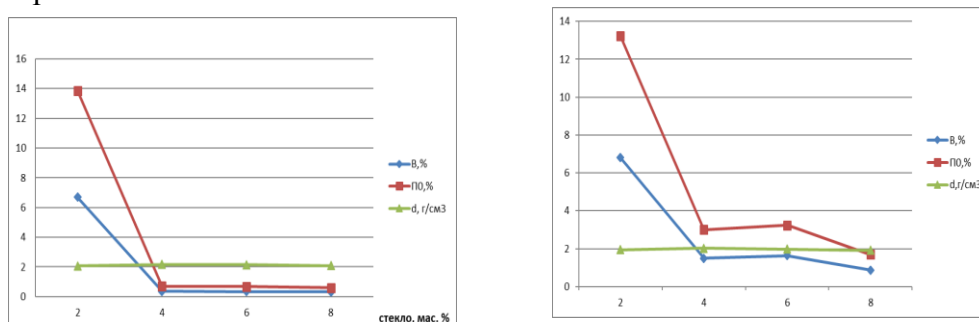
С целью снижения пористости выбранной кордиеритовой смеси целесообразно добавлять небольшое количество стеклосвязки, причем она не должна ухудшать все другие свойства материала. Поэтому в качестве связующего стекла было выбрано стекло состава $30\text{BaO}-10\text{B}_2\text{O}_3-60\text{SiO}_2$ с минимальным содержанием оксида бора, температура варки которого составляла 1350°C в течение 1 часа.

Для дальнейшего развития исследований было предложено два пути проведения эксперимента. Первый - заключался в изготовлении опытных образцов из кордиеритового шамота, который был сформирован методом полусухого прессования и обожжен при температуре 1350 °C в течение 1 часа. После обжига шамот размалывали в фарфоровом барабане до прохода через сито №01.

Образцы формовали на базе композиционной смеси № 1 (кордиеритовый шамот – 85%) с добавлением сверх 100% стеклосвязки в количестве 2, 4, 6, 8 мас. % .

Второй - получение шликера на базе смеси №1 без предварительной подготовки с добавлением сверх 100% стеклосвязки в количестве 2, 4, 6, 8 мас. %.

Свойства полученных образцов (температура обжига 1350°C, время обжига – 1 ч) приведены на рис. 5.



а – на базе кордиеритового шамота б – без предварительного получения кордиерита.

Рис. 5 Влияние стеклосвязки на свойства керамики

Следует отметить, что наилучшими значениями свойств отличаются материалы с использованием предварительно подготовленного кордиерита в соотношении к базовой смеси 85:15. Оптимальное количество стеклосвязки составляет 6-8 мас. % сверх 100 % кордиеритовой смеси. Такие образцы характеризуются следующими значениями свойств: пористость - 0,6-0,7%; плотность 2,08-2,5 г/см³, пределом прочности на сжатие ~ 133 МПа.

Известно, что добавление к кордиеритовой керамике до 30 мас.% тиалита приводит к повышению механической прочности таких изделий. Кроме того, тиалит характеризуется низкими значениями ТКЛР до отрицательных, поэтому целесообразно исследовать его влияние на основные свойства композиционных материалов на базе кордиерита.

Тиалит получали предварительным обжигом смеси 75:25 - Al₂O₃:TiO₂ при температуре 1350°C в течение 1 ч. Состав и свойства полученных образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Состав и свойства опытных образцов

Сырье	Количество, мас.%	T _{обж} , °C	B, %	По, %	d, г/см ³	σ, МПа	α·10 ⁷ 1/град ⁻¹
Кордиерит	90	1100	21,8	35,8	1,64	39,0	40,5
Тиалит	10	1200	11,7	21,2	1,80	72,0	16,8
Сверх 100% : стеклосвязка	6	1300	0,3	1,4	2,07	130,0	19,2
α-Al ₂ O ₃	2						

Установлено, что максимальные значения предела прочности на сжатие (130 МПа) получены у образцов с добавкой 10 мас.% тиалита при температуре обжига 1300°C. Эти результаты сопоставимы со значениями аналогичного свойства без добавок тиалита. Таким образом предполагаемого эффекта увеличения прочностных характеристик при добавлении тиалита в базовую композиционную смесь не обнаружено. Однако, заметное влияние он оказывает на значения температурного коэффициента линейного расширения. ТКЛР таких образцов составляет (16,8-19,2)·10⁻⁷ град⁻¹, что практически на 25-30% ниже теоретических значений для кордиеритовой керамики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований изучена возможность получения кордиеритовой керамики с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Разработанная композиционная смесь, которая включает в себя кордиеритовый шамот, стеклосвязку и тиалит, отличается удовлетворительными литьевыми характеристиками. Последнее особенно важно при получении тонкостенных изделий и изделий сложной формы. В результате работы получены материалы со следующими свойствами: пористость 1,4%, плотность 2,07 г/см³, прочность на сжатие 130 МПа, температурный коэффициент линейного расширения 19,2·10⁻⁷ град⁻¹.

REFERENCES

Uvarova, N.E. (2010) Vy`sokotemperaturny`e radioprozrachny`e materialy`: segodnya i zavtra. Grashhenkov, D.V. Isaeva, N.V., Orlova, L.A., Sarkisov, P.D. Aviacionny`e materialy` i tekhnologii, 1, 16–21 (**Оригинально заглавие:** Уварова, Н.Е. (2010) *Высокотемпературные радиопрозрачные материалы: сегодня и завтра.* Гращенко, Д.В., Исаева, Н.В., Орлова, Л.А., Саркисов, П.Д. *Авиационные материалы и технологи.*, 1, 16–21)

Shamsudin, Z. (2011) Characterization of Thermo-mechanical Properties of MgO –Al₂O₃–SiO₂ Glass Ceramic with Different Heat Treatment Temperatures. Soutis, C., Hand, R.J., Hayes, S.A., Bond, I.P. Journal of Materials Science, 46 (17), 5822–5829.

Kablov, E.N. (2012) Vy`sokotemperaturny`e konstrukcionny`e kompozicionny`e materialy` na osnove stekla i keramiki dlya perspektivny`kh izdelij aviacionnoj tekhniki. Grashhenkov, D.V., Isaeva, N.V., Solnczev, S.S., Sevast`yanov, V.G. Steklo i keramika, 4, 7–11 (**Оригинально заглавие:** Каблов, Е.Н. (2012) *Высокотемпературные конструкционные композиционные материалы на основе стекла и керамики для перспективных изделий авиационной техники.* Гращенко, Д.В., Исаева, Н.В., Солнцев, С.С., Севастьянов, В.Г. *Стекло и керамика*, 4, 7–11)

Suzdal`czev, E.I. (2002) Radioprozrachny`e, vy`sokotermostojkie materialy` XXI veka. Ogneupory` i tekhnicheskaya keramika, 3, 42–50 (**Оригинально заглавие:** Суздальцев, Е.И. (2002) *Радиопрозрачные, высокотермостойкие материалы XXI века. Огнеупоры и техническая керамика*, 4, 42–50)