

Научная статья
УДК 666.3.032
doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.041

ПОЛУЧЕНИЕ КВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО ФОРМОВАНИЯ

Ксения Андреевна Конкина¹, Екатерина Валерьевна Маслова², Юрий Алексеевич Перкин³

^{1–3}Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А.Г. Ромашина, Обнинск, Россия

^{1,3}Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

¹konkina.ks@mail.ru

²gorelova_ev@bk.ru

³perkin.yura@gmail.com

Аннотация

Представлены результаты бездефектного проведения электрофоретического формования толстостенной заготовки с заданными характеристиками по размеру. Показана эффективность ускоренного метода в сравнении с классическим шликерным литьём. Были определены параметры формования с помощью электрофореза. Достигнута равноплотность образцов по их объёму, связанная с равномерным распределением частиц.

Ключевые слова:

кварцевая керамика, электрофоретическое формование, шликер

Для цитирования:

Конкина К. А., Маслова Е. В., Перкин Ю. А. Получение кварцевой керамики с использованием метода электрофоретического формования // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15, № 1. С. 255–259. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.041.

Original article

OBTAINING QUARTZ CERAMICS USING ELECTROPHORETIC MOLDING METHOD

Ksenia A. Konkina¹, Ekaterina V. Maslova², Yuri A. Perkin³

^{1–3}Obrninsk Research and Production Enterprise "Technology" named after. A.G. Romashina, Obninsk, Russia

^{1,3}Russian Chemical-Technological University named after D.I. Mendeleev, Moscow, Russia

¹konkina.ks@mail.ru

²gorelova_ev@bk.ru

³perkin.yura@gmail.com

Abstract

The results of defect-free electrophoretic molding of a thick-walled workpiece with specified size characteristics are presented. The effectiveness of the accelerated method in comparison with classical slip casting is shown. Molding parameters were determined using electrophoresis. Equal density of the samples in their volume, associated with a uniform distribution of particles, has been achieved.

Keywords:

quartz ceramics, electrophoretic molding, slip

For citation:

Konkina K. A., Maslova E. V., Perkin Y. A. Obtaining quartz ceramics using electrophoretic molding method // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 255–259. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.041.

Введение

В настоящее время исследование функциональных материалов является важным аспектом для современной промышленности [1]. С появлением инновационных технологий значительную роль отводят эксплуатационным свойствам данных материалов, что в дальнейшем влияет на расширение области их применения [2]. Перспективным направлением для ракетной и космической техники в получении изделий с радиопрозрачными и теплозащитными характеристиками являются материалы из кварцевой керамики [3] — аморфного материала, произведённого по керамической технологии.

Благодаря её однородности и изотропности свойств по объёму, низкому истинному значению температурного коэффициента линейного расширения и хорошему сочетанию диэлектрических характеристик, она постепенно увеличивает область эксплуатации: от тиглей и дозаторов до ядерной техники и т. д. [4]. Классический метод формования заготовок — шликерное литьё в пористые формы. Несмотря на широкое распространение, у данного способа существует два главных недостатка в случае получения толстостенных изделий с толщиной стенки порядка 50 мм — это длительное время набора и получение неудовлетворяющего распределения значений параметров кажущейся плотности и прочности в объёме. Они являются отрицательными характеристиками процесса, влияющими на экономический фактор использования шликерного литья в производстве [5]. По этой причине после ознакомления с несколькими оптимизирующими процессами формования, представленных в работе [6], было принято решение применить альтернативный способ — электрофоретическое формование, чтобы сократить время набора, уменьшить долю изделий с дефектами и увеличить экономическую выгоду с помощью снижения трудоёмкости процесса получения заготовок [7].

Результаты исследований

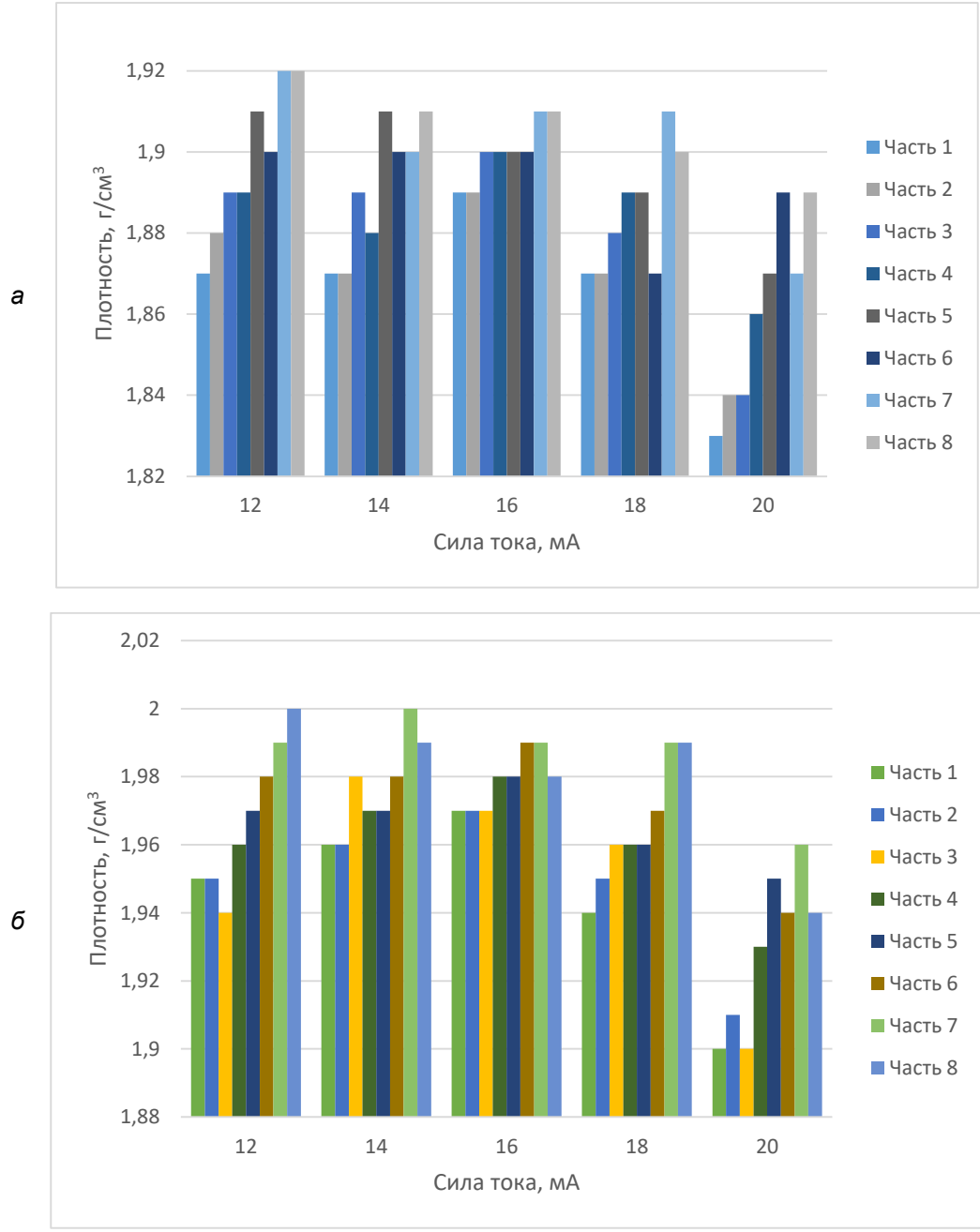
Технология получения изделия включает в себя ряд технологических процессов [8]. На первом этапе происходит приготовление шликера: получают суспензию размолот кварцевого стекла в шаровых мельницах и стабилизируют её несколько суток. После получения заданных для материала параметров, входящих в определённый диапазон свойств, осуществляют электрофоретическое формование. С течением времени происходит уплотнение и упрочнение заготовки, далее производится сушка для удаления оставшейся жидкости. После заготовку обжигают при высоких температурах. Важной технологической составляющей является подбор температурного режима с получением образцов без включений кристобалита. На заключительном этапе производят механическую обработку заготовки до требуемых размера и формы.

В основе принципа электрофоретического формования лежит осаждение твёрдых частиц из стабилизированной суспензии на формирующий электрод (анод) под действием электрического поля. Сверху размещают противоположный электрод, в котором делают небольшие отверстия для просачивания шликера в основной объём для набора из литниковой зоны (избыток шликера). В центре располагают неактивный сердечник из эпоксидной смолы, обуславливающий специфику формы образца. Для материала электродов используют медь, не создающую дефектов на поверхности заготовки и не окрашивающую её. При проведении исследования необходимо разместить электроды на одинаковом расстоянии друг от друга, чтобы создать равномерное электрическое поле и поддерживать значение силы тока постоянным, так как с течением времени наблюдается уменьшение силы тока из-за увеличения набранного изолирующего слоя заготовки на электроде и роста сопротивления в цепи.

Ранее в работе [9] было подобрано оптимальное значение силы тока (16 мА) для бездефектного формования исследуемой заготовки с конкретными заданными параметрами изделия. Важно, однако, учесть, что на дальнейшие свойства изделия влияет не только общее значение плотности, но и плотность отдельных фрагментов заготовки. Представленные на рисунке данные учитывают распределение плотности образца на различных частях заготовки.

Из анализа полученных результатов следует отметить, что наименьший разброс значений по плотности заготовки, которая отформована при силе тока, равной 16 мА. Полученные значения плотности соответствуют заданным для исследуемого материала характеристикам для достижения высокого уровня свойств и избегания дефектов.

Для наглядного сравнения свойств двух методов была получена заготовка с помощью электрофореза при выбранном значении силы тока и отформована заготовка таких же размеров (толщиной 70 мм, высотой 50 мм) методом шликерного литья в гипсовую форму. При сравнении двух способов получения заготовок, выявлено несомненное преимущество, которое заключается в значительном сокращении (в 23 раза) времени набора: при использовании метода электрофоретического литья формование происходило 40 мин, в гипсе же заготовка набиралась 15 ч.



Распределение плотности фрагментов сырьевой (а) и обожжённой (б) заготовки при различной силе тока:
1, 2 — верхние части заготовки; 3–6 — части в центре заготовки; 7, 8 — нижние части заготовки

На образцах была определена кажущаяся плотность. Плотность сырьевой и обожжённой заготовок в обоих случаях составляла 1,89 и 1,98 г/см³ соответственно. Однако следует отметить, что для оценки равномерности свойств готовых изделий заготовки, как и при подборе параметров для электрофоретического формования, разделялись на фрагменты. Диапазон полученных значений кажущейся плотности сырьевых и обожжённых изделий с применением силы тока составляет 1,88–1,89 и 1,97–1,99 г/см³ соответственно, что позволяет говорить о высоком уровне равномерного

распределения физико-механических свойств материала заготовки. При шликерном литье разброс значений был значительнее, у фрагментов сырца он составлял 1,86–1,91, после высокотемпературной обработки — 1,96–2,01 г/см³.

Выводы

Результаты проведенного эксперимента указывают на большое содержание твердых частиц в полученной заготовке и на равномерное их распределение благодаря верно подобранным параметрам формования, что положительно сказывается на равномерном распределении физико-механических свойств и качестве конечного изделия. Интенсификация процесса позволила уменьшить трудоёмкость отдельной технологической стадии.

Список источников

1. Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В. Исследование возможности формования изделий из шликеров литийалюмосиликатного стекла электрофоретическим методом // Огнеупоры и техническая керамика. 2003. № 2. С. 20–25.
2. Харитонов Д. В. Радиопрозрачный стеклокерамический материал с улучшенным распределением физико-технических свойств // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 3. С. 19–24.
3. Керамические материалы для авиации и космоса: учеб. пособие / Д. В. Харитонов [и др.]. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. 120 с.
4. Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В., Анашкина А. А. Анализ существующих радиопрозрачных материалов, композиций и технологий для создания обтекателей скоростных ракет. Часть 2. Сравнительный анализ основных свойств материалов, используемых для создания головных обтекателей ракет // Новые огнеупоры. 2010. № 7. С. 38–44.
5. Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В., Анашкина А. А. Анализ существующих радиопрозрачных материалов, композиций и технологий для создания обтекателей скоростных ракет. Часть 3. Технология изготовления кварцевых и стеклокристаллических обтекателей, проблемы и перспективы улучшения // Новые огнеупоры. 2010. № 8. С. 43–49.
6. Конкина К. А., Маслова Е. В., Перкин Ю. А. Анализ методов формования толстостенных заготовок из шликеров кварцевой керамики // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37, № 5 (267). С. 145–147.
7. Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В. Исследование возможности формирования изделий из шликеров литийалюмосиликатного стекла электрофоретическим методом // Огнеупоры и техническая керамика. 2003. № 2. С. 20–25.
8. Суздальцев Е. И., Харитонов Д. В. Обзор методов электрофоретического формование керамических изделий из водных шликеров неорганических материалов // Огнеупоры и техническая керамика. 2003. № 9. С. 16–25.
9. Конкина К. А., Маслова Е. В., Анашкина А. А. Исследование процесса формования толстостенных заготовок из кварцевой керамики электрофоретическим методом // Материалы VIII Всерос. науч.-практ. молодеж. конф. с междунар. участием «Современные технологии композиционных материалов» (г. Уфа, 13–14 апреля 2023 г.). Уфа, 2023. С. 318–322.

References

1. Suzdaltsev E. I., Kharitonov D. V. Issledovanie vozmozhnosti formovaniya izdelii iz shlikerov litiialyumosilikatnogo stekla ehlektroforeticheskim metodom [Study of the possibility of molding products from lithium aluminosilicate glass slips using the electrophoretic method]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2003, No. 2, pp. 20–25. (In Russ.).
2. Kharitonov D. V. Radioprozrachnyi steklokeramicheskii materil s uluchshennym raspredeleniem fiziko-tekhnicheskikh svoistv [Radiotransparent glass-ceramic material with improved distribution of physical and technical properties]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation materials and technologies], 2012, No. 3, pp. 19–24. (In Russ.).

3. Kharitonov D. V., Tychinskaya M. S., Anashkina A. A., Makarov N. A., Lemeshev D. O. *Keramicheskie materialy dlya aviatsii i kosmosa* [Ceramic materials for aviation and space]. Moscow, RKhTU im. D.I. Mendeleeva, 2022, 120 p.
4. Suzdaltsev E. I., Kharitonov D. V., Anashkina A. A. Analiz sushchestvuyushchikh radioprozrachnykh materialov, kompozitsii i tekhnologii dlya sozdaniya obtekatelei skorostnykh raket. Chast' 2. Sravnitel'nyi analiz osnovnykh svoystv materialov, ispol'zuemykh dlya sozdaniya golovnykh obtekatelei raket [Analysis of existing radio-transparent materials, compositions and technologies for creating fairings for high-speed rockets. Part 2. Comparative analysis of the main properties of materials used to create rocket fairings]. *Novye ognepory* [New refractories], 2010, No. 7, pp. 38–44. (In Russ.).
5. Suzdaltsev E. I., Kharitonov D. V., Anashkina A. A. Analiz sushchestvuyushchikh radioprozrachnykh materialov, kompozitsii i tekhnologii dlya sozdaniya obtekatelei skorostnykh raket. Chast' 3. Tekhnologiya izgotovleniya kvartsevykh i steklokristallicheskikh obtekatelei, problemy i perspektivy uluchsheniya [Analysis of existing radio-transparent materials, compositions and technologies for creating fairings for high-speed rockets. Part 3. Manufacturing technology of quartz and glass-crystalline fairings, problems and prospects for improvement]. *Novye ognepory* [New refractories], 2010, No. 8, pp. 43–49. (In Russ.).
6. Konkina K. A., Maslova E. V., Perkin Y. A. Analiz metodov formovaniya tolstostennykh zagotovok iz shlikerov kvartsevoi keramiki [Analysis of methods for forming thick-walled blanks from quartz ceramic slips]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2023, Vol. 37, No. 5 (267), pp. 145–147. (In Russ.).
7. Suzdaltsev E. I., Kharitonov D. V. Issledovanie vozmozhnosti formirovaniya izdelii iz shlikerov litiialyumosilikatnogo stekla ehlektroforeticheskim metodom [Study of the possibility of forming products from lithium aluminosilicate glass slips using the electrophoretic method]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractory materials and technical ceramics], 2003, No. 2, pp. 20–25. (In Russ.).
8. Suzdaltsev E. I., Kharitonov D. V. Obzor metodov ehlektroforeticheskogo formovanie keramicheskikh izdelii iz vodnykh shlikerov neorganicheskikh materialov [Review of methods for electrophoretic molding of ceramic products from aqueous slips of inorganic materials]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and technical ceramics], 2003, No. 9, pp. 16–25. (In Russ.).
9. Konkina K. A., Maslova E. V., Anashkina A. A. Issledovanie protsessa formovaniya tolstostennykh zagotovok iz kvartsevoi keramiki ehlektroforeticheskim metodom [Study of the process of forming thick-walled quartz ceramic workpieces using the electrophoretic method]. *Materialy VIII Vserossiiskoi nauch.-prakt. molodezhnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Sovremennye tekhnologii kompozitsionnykh materialov"* (g. Ufa, 13–14 aprelya 2023 g.) [Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical. youth conference with international participation "Modern technologies of composite materials"]. Ufa, 2023, pp. 318–322.

Информация об авторах

К. А. Конкина — магистрант;
Е. В. Маслова — соискатель, руководитель группы;
Ю. А. Перкин — магистрант.

Information about the authors

K. A. Konkina — Master's Degree Student;
E. V. Maslova — Postgraduate Student, Group Leader;
Y. A. Perkin — Master's Degree Student.

Статья поступила в редакцию 18.03.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 18.03.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.