УДК 666.263.2
doi: 10.18101/2306-2363-2017-2-3-12-16

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

© ***Г. Г. Волокитин***
доктор технических наук, профессор,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 634003, Томск, пл. Соляная 2
E-mail: vvg-tomsk@mail.ru

© ***А. В. Луценко***
кандидат технических наук, доцент
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, 2
E-mail: Lucenko@myttk.ru

© ***В. А. Литвинова***
кандидат технических наук, доцент,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, 2
E-mail: Lucenko@myttk.ru

© ***Н. К. Скрипникова***
доктор технических наук, профессор,
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 634003, Томск, пл. Соляная, 2
E-mail: Lucenko@myttk.ru

Представлены физико-химические исследования формирования структуры стеклокерамического материала, полученного с помощью инновационной техники плавления, а именно обработкой низкотемпературной плазмой. Исследована возможность расширения ресурсной базы пригодных сырьевых материалов для производства силикатного расплава. Использование вторичных тугоплавких ресурсов довольно сложно из-за невозможности получения из них расплавов. Применение плазменного нагрева позволяет решить эту проблему. Изучены физико-химические процессы, происходящие в расплаве и при его кристаллизации. Исследованы аспекты формирования кристаллической фазы.
***Ключевые слова:*** стеклокристаллические материалы, плазменная печь, золошлаковые отходы, низкотемпературная плазма, стеклокерамика, расплав, силикаты.

Стеклокристаллические изделия обладают хорошими эксплуатационными свойствами (износостойкостью, кислотостойкостью, термостойкостью) и наиболее эффективно работают в условиях абразивного изнашивания при наличии агрессивных сред и повышенных температур. В настоящее время процесс получения стеклокристаллических материалов из расплава, полученного на основе зол ТЭС, практически не изучен. Основной упор в промышленном производстве делается на природные силикатсодержащие материалы. Исследования возможности получения стеклокристаллического материала с

использованием зол ТЭС являются актуальными с экономической и экологической точек зрения. Это обуславливается прежде всего большими энергетическими затратами в процесс производства. Традиционные методы получения расплава оказываются не конкурентоспособными в нынешней экономической ситуации. В процессе проведения исследований удалось добиться снижения энергозатрат на получение силикатного расплава благодаря применению высокотемпературного источника нагрева.

Целью настоящей работы являлось определение технологических режимов получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием низкотемпературной плазмы и дальнейшей его кристаллизацией.

В статье описывается проведенный ряд исследований по синтезу стеклокристаллических материалов в условиях высоких температур с использованием низкотемпературной плазмы. Была проведена оценка возможности получения силикатного расплава на основе природных минералов и техногенных отходов. Использована возможность применения альтернативных источников энергии в технологии стеклокристаллических материалов. Выявлено перспективное направление развития науки и техники на современном этапе. Проведено сравнение и получены результаты того, что в сравнении с традиционными технологиями, плазменные процессы имеют ряд существенных преимуществ, основные из которых являются: возможность создания материалов с уникальным набором свойств сокращения производственного цикла и интенсификация производства. Определена возможность использования вторичного сырья, произведено сравнение различных видов материалов и их влияние на процесс получения расплава, при производстве стеклокристаллических материалов. Выявлены наиболее эффективные режимы получения силикатного расплава, определен график процесса термообработки полученных изделий. Сконструирована экспериментальная установка для получения силикатного расплава.

Для исследований были выбраны низко- и высококальциевые золы ТЭС, в которые вводили различные полиминеральные компоненты с целью получения благоприятной кристаллической фазы. Зола, представляющая собой побочный продукт теплоэлектростанции при сжигании углей, является ценным полидисперсным сырьевым материалом. Данный материал весьма доступен, неограничен, позволяет решить экологической проблемы и приемлемым по химическому составу, неоднородность которого при производстве стеклокристаллических материалов можно устранить за счет корректирования состава сырьевой смеси. Анализ минералогического состава золошлаковых отходов показал, что они сложены в основном кварцем, железисто-магнезиальными силикатами (пироксенами, оливинами), алюмосиликатами (плагиоклазами), стекловидным веществом. Кроме того, они содержат небольшие количества кальцита, магнетита и рудных минералов. Аналитическим методом было подобрано оптимальное процентное соотношение по массе компонентов смеси. Основу шихты в предложенном способе составляет зола ТЭС (до 90% шихты по массе), остальное — полиминеральные компоненты.

Расплав получали нагревом шихты до температуры 1200–1400 °С со скоростью 10–15 °С/с с использованием высокотемпературного источника нагрева (плазменного генератора) конструкция которого разработано на кафедре прикладной механики и материаловедения ТГАСУ. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

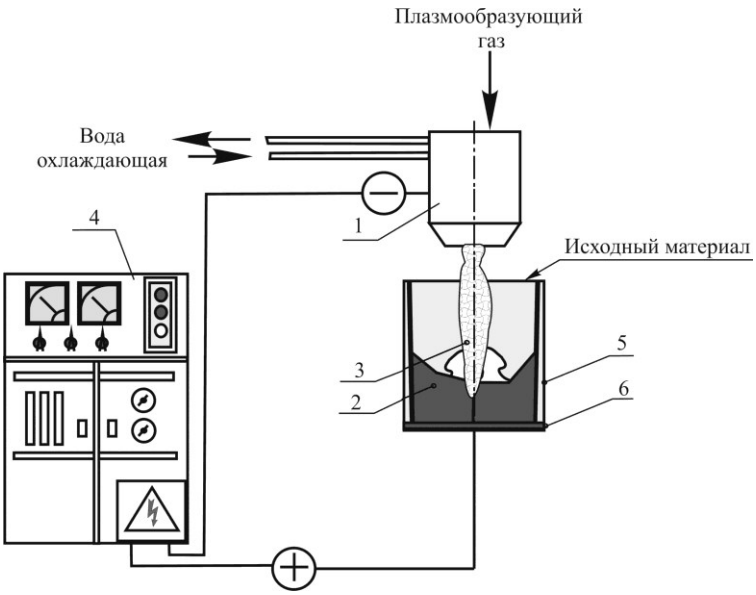


Рис. 1. Схема лабораторной установки:
1 — плазмотрон; 2 — сырьевой материал; 3 — электрическая дуга;
4 — источник питания; 5 — реактор, 6 — анодный узел

В зону горения дуги в процессе эксперимента осуществлялась дозированная подача сырьевой шихты в печь объемом 250 см$^3$. При этом, нагрев гранулированной сырьевой смеси на основе природных и техногенных компонентов осуществлялся практически мгновенно. Плавящаяся в плазменном потоке исходная сырьевая шихта растекалась по дну печи, охватывая поверхность всего объема. Дуговой разряд проходит непосредственно через расплав, обладающий электропроводностью. При образовании расплава через него проходит большое количество газов, что способствует интенсивному перемешиванию. Отчет времени термообработки производился практически с момента зажигания дуги и менялся в зависимости от задач эксперимента. При полном расплавлении сырьевой смеси, воздействие плазменного потока продолжалось для достижения гомогенизации расплава. Регулировку темпов нагрева шихты осуществляли изменением расхода плазмообразующего газа. Потери материала по массе после плавления достигли 10%.

В ходе исследований была определена вольтамперная характеристика плазменного генератора, в зависимости от расхода плазмообразующего газа (воздуха), которые находятся в пределах: I = 240÷260 А, U = 120÷140 В. Изменение данной зависимости происходит линейно [1; 2]. Для реализации предложенного способа использовали высокотемпературный плазменный теплоноситель,

воздух, нагретый разрядом плазменного генератора до температуры $3\cdot10^3$-$5\cdot10^3$ $^0$C, обеспечивающий необходимые скоростные и температурные режимы нагрева шихты. Определялось влияние режимов нагрева на процесс гомогенизации компонентов в расплаве с последующей их кристаллизацией. В процессе эксперимента проводились дополнительные исследования, направленные на изучение процесса плавления силикатного расплава и влияния на его качество технологических параметров. Построены кривые зависимости высокотемпературной вязкости силикатного расплава. Анализируя изменения вязкости полученного расплава, возможно, рекомендовать его для выработки методом литья и прессования. Это позволит получать изделия методом свободного литья. Из образующегося расплава, методом свободного литья в форму, получали закаленные стекла. Определение кристаллизационной способности стекол в процессе термообработки осуществляли методом массовой кристаллизации в интервале температур 900–1200 °C [3; 4].

Использование данного метода обеспечивает следующие преимущества: интенсификацию нагрева и варки стекломассы, снижение энергозатрат на единицу до 5 кВ/кг массы по сравнению с известными способами и себестоимости продукции за счет использования недефицитного сырья и отходов, происходит уменьшение занимаемых площадей за счет использования малогабаритного плазменного оборудования [5; 6].

**Литература**

1. Nelli Skripnikova, Ivan Iuriev, Alexander Lutsenko and Viktoriya Litvinova. The features of ceramic materials structure formation when using hard-melting wastes of thermal power station in charge stock // AIP Conference Proceedings. — 2016. — P. 1698.

2. Власов В. А., Скрипникова Н. К., Луценко А. В. и др. Синтез стеклокристаллических материалов из расплава, полученного с использованием высококонцентрированных источников нагрева // Изв. ВУЗов. Физика. — 2015. — Т. 58, № 9/3. — С. 79–78.

3. Volokitin G. G., Volokitin O. G., Lutsenko A. V., Kosmachov P.V. Physical chemical studies of dispersed aluminosilicate wastes for obtaining the burned building materials // IOP Conf. Science and Engineering. — 2015. — V. 71. — P. 1–6.

4. Sazonova N., Skripnikova N., Lucenko A. and Novikova L. Cement clinker structure during plasma-chemical synthesis and its influence on cement properties // Materials Science and Engineering. — 2015. — V. 71. — P. 1–6.

5. Луценко А. В., Скрипникова Н. К., Волокитин Г. Г., Турашев А. С. Получение стеклокристаллических материалов из силикатсодержащих расплавов с использованием низкотемпературной плазмы // Вестник ТГАСУ. — 2012. — № 3. — С. 126–132.

6. Луценко А. В., Скрипникова Н. К., Волокитин Г. Г. Наноструктурированные стеклокристаллические материалы, синтезируемые в условиях низкотемпературной плазмы // Вестник ТГАСУ. — 2012. — № 4. — С. 133–139.

USE OF LOW-TEMPERATURE PLASMA FOR OBTAINING GLASS-CERAMIC MATERIAL

*G. G. Volokitin*
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Tomsk State University of Architecture and Building
Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq. 2

*V. A. Litvinova*
candidate of Technical Sciences, assistant Professor,
Tomsk State University of Architecture and Building
Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq. 2

*A. V. Lutsenko*
candidate of Technical Sciences, assistant Professor,
Tomsk State University of Architecture and Building
Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq. 2

*N. K. Skripnikova*
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Tomsk State University of Architecture and Building
Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq. 2

Presented are physico-chemical investigations of the structure formation in glass-ceramic material, obtained by the innovative melting technique, namely by the low-temperature plasma treatment. The opportunity to extend the resource base of raw materials suitable for the silicate melt production is studied. Utilization of recovering refractory resources is rather difficult due to the impossibility of producing melts therefrom. However, plasma torch heating can provide its utilization. Physico-chemical processes occurred at melt production and its crystallization are studied in this paper. The main conditions of crystal phase formation are shown herein.
*Keywords:* glass-ceramic material, plasma furnace, bottom ash-containing raw materials, low-temperature plasma, glass-ceramic, melts, silicate.