

УДК: 66.046.5

doi 10.18101/978-5-9793-0803-6-98-104

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

© **Волокитин Геннадий Георгиевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета
Россия, г. Томск
E-mail: vgg-tomsk@mail.ru

© **Скрипникова Нелли Карповна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета
Россия, г. Томск
E-mail: nks2003@mail.ru

© **Волокитин Олег Геннадьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета
г. Томск, Россия
E-mail: volokitin_oleg@mail.ru.

© **Космачев Павел Владимирович**, аспирант кафедры «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета
Россия, г. Томск
E-mail: pvkosm@gmail.com

© **Бадеников Артем Викторович**, кандидат технических наук, ректор Ангарской государственной технической академии
Россия, г. Ангарск
E-mail: info@agta.ru

© **Шеховцов Валентин Валерьевич**, студент кафедры «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета
Россия, г. Томск
E-mail: shehovcov2010@yandex.ru

Работа посвящена исследованию процессов плавления кварцевого песка с помощью энергии низкотемпературной плазмы. Разработана экспериментальная плазменная установка по плавлению мелкодисперсного сырьевого материала. Установлено, что совместно с плавлением песка протекают процессы сублимации, в результате чего образуются наночастицы диоксида кремния. Полученный нанопорошок имеет широкий спектр применения, в том числе улучшает свойства термостойких материалов. Продукт плавления кварцевого песка является исходным материалом для получения кварцевой керамики методом высококонцентрированной вязущей суспензии. Установлено, что полученные на основе кварцевого песка Туганского месторождения и белой глины Кайлинского месторождения (Кемеровская область) композиционные с добавле-

нием наночастиц диоксида кремния материалы могут быть использованы для футеровок промышленных тепловых агрегатов. Проведен рентгенофазовый анализ (РФА) образцов без добавления нанопорошка и образцов, в составе которых он присутствовал, с целью выяснения физико-химических процессов, протекающих при получении торкрет-масс.

Ключевые слова: кварцевый песок, силикатный расплав, низкотемпературная плазма, нанопорошок диоксида кремния, термостойкие материалы, кварцевая керамика, рентгенофазовый анализ.

RESEARCH PROCESSES OF QUARTZ SAND MELTING USING LOW-TEMPERATURE PLASMA ENERGY

Gennady G. Volokitin, Doctor of Engineering Sciences,
Professor at the Department
of Applied Mechanics and Materials, Tomsk State University of Architecture and Building
Tomsk, Russia

Nelli K. Skripnikova, Doctor of Engineering Sciences,
Professor at the Department of Applied Mechanics and Materials,
Tomsk State University of Architecture and Building
Tomsk, Russia

Oleg G. Volokitin, Candidate of Engineering Sciences,
Professor at the Department of Applied Mechanics and Materials,
Tomsk State University of Architecture and Building
Tomsk, Russia

Pavel V. Kosmachev, Postgraduate Student at the Department
of Applied Mechanics and Materials, Tomsk State University of Architecture and Building
Tomsk, Russia

Artem V. Badenikov, Candidate of Engineering Sciences, Rector
of Angarsk State Technical Academy
Angarsk, Russia

Valentin V. Shekhovtsov, student at the Department of Applied Mechanics
and Materials, Tomsk State University of Architecture and Building
Tomsk, Russia

The work is devoted to studying the processes of melting quartz sand with the help of low-temperature plasma energy. An experimental plasma installation for melting particulate raw material has been worked out. It has been established that melting together sand sublimation processes occur, resulting in the formation of silica nanoparticles. The resulting nanopowder has a wide range of applications, including improving the properties of heat resistant materials. Product melting quartz sand is the starting material for the production of ceramics by high-concentration silica slurry binder. It has been found that the results obtained on the basis of quartz sand from Tugansk deposit and white clay Kaylinsky deposit (Kemerovo region), with the addition of nano-composite particles of silica materials can be used for the lining of industrial heating units. X-ray diffraction (XRD) patterns without the addition of nano-powder and samples, in the composition of which it was present, has been car-

ried out to clarify the physical and chemical processes occurring in the preparation of gunning masses.

Keywords: quartz sand, silicate melt, low-temperature plasma, silica nanopowder, heat-resistant materials, quartz ceramics, X-ray phase analysis.

При плавлении силикатов происходят сложные физико-химические процессы, которые начинаются до плавления шихты и протекают за счет диффузии в твердой фазе, отдельные компоненты которой находятся в высокодисперсном состоянии и имеют большую поверхность соприкосновения. В процессе воздействия высококонцентрированных тепловых потоков, а также омического нагрева, за счет электропроводности расплава, вследствие диффузионных процессов в расплаве происходит выравнивание химического состава, удаление пузырьков газа, расплав гомогенизируется.

В последнее время является актуальным использование наноматериалов для улучшения физических характеристик различных продуктов. В качестве одного из таких материалов может быть рекомендован нанопорошок диоксида кремния. Нано SiO_2 и нанопорошки других веществ являются основой для создания широкого спектра новых материалов, обладая в ряде случаев уникальными свойствами и характеристиками.

Цель настоящей работы: установить возможность получения высокотемпературного силикатного расплава из кварцевого песка Туганского месторождения (Томская область) с использованием потоков низкотемпературной плазмы. Установить возможность получения термостойких материалов типа торкрет-масс с добавлением нанопорошка диоксида кремния.

В качестве сырья для получения силикатного расплава использовалась мелкая фракция (< 120 мкм) кварцевого песка Туганского месторождения (Томская область). Содержание оксида кремния у таких отсеков составляет 98,15 мас. %. Исследуемый материал является высококремнеземистым продуктом с небольшим содержанием примесей Al_2O_3 и Fe_2O_3 (0,67 и 0,12 мас. %) и может быть использован для получения кварцевого стекла, в том числе при производстве кварцевой керамики. Значение модуля кислотности исследуемого кварцевого песка Туганского месторождения ($M_k=823,50$) значительно выше модуля кислотности силикатного сырья, такого, как кварц-полевошпатсодержащие отходы молибденовых руд ($M_k=11,59$), ранее исследуемого нами для получения высокотемпературных расплавов [3].

Полностью кварцевый песок Туганского месторождения расплавится при 1700 °С. При этом количество первичной жидкой фазы соответствует 5,5 %, которое увеличивается до 9,7 % при нагревании до 1400 °С (рис. 1).

Из предварительного анализа плавкости сырья следует, что температуры (3000 – 5000 °С) плазменного потока достаточно для плавления кварцевого сырья [4].

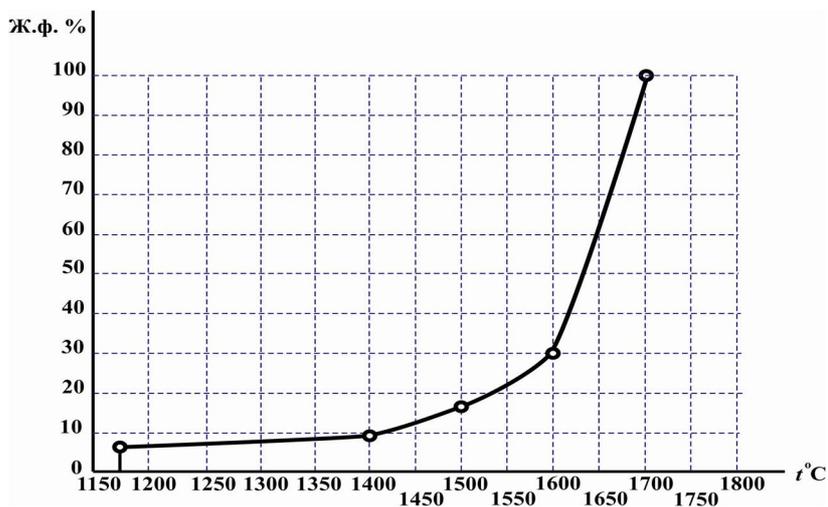


Рис. 1. Кривая плавкости Туганского кварцевого песка

Эксперименты по получению расплава проводили на разработанной экспериментальной плазменной установке по плавлению мелкодисперсного сырьевого материала, отличающейся принципиально новой схемой подачи исходного сырья и отсутствием сливного желоба (рис. 2).

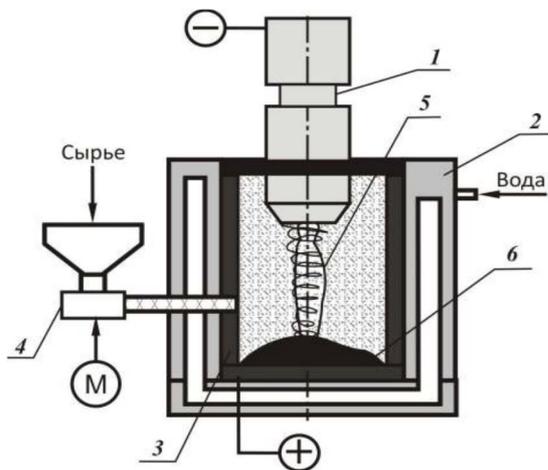


Рис. 2. Схема экспериментальной плазменной установки для получения высокотемпературных силикатных расплавов:
1 — плазмотрон; 2 — водоохлаждаемая плавильная печь; 3 — графитовый тигель;
4 — шнековый питатель; 5 — плазменная дуга; 6 — продукт плавления

Работа установки основана на взаимодействии высококонцентрированных потоков плазмы с порошкообразным сырьем фракцией (80–120 мкм), в результате которого осуществляется нагрев частиц с последующим образованием расплава. Совместно с плавлением песка протекают процессы сублимации, в результате чего образуются наночастицы диоксида кремния. Полученный продукт плавления кварцевого песка является исходным материалом для получения кварцевой керамики методом высококонцентрированной вяжущей суспензии.

Следующим этапом работы стало получение термостойких материалов типа торкрет-масс с добавлением нанопорошка диоксида кремния. Образцы изготавливались из белой глины Кайлинского месторождения и кварцевого песка Туганского месторождения. В серию образцов был добавлен нанопорошок диоксида кремния. Составы исследуемых сырьевых смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сырьевые составы торкрет-масс [мас. %]

| Торкрет-масса | Состав | | | | | | | |
|---------------|--------------------------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|------|------|-----------------------|
| | Al ₂ O ₃ | Квацвый песок | Белая глина | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | MnO | Нано-SiO ₂ |
| 1 | 38.55 | 28.58 | 17.17 | 7.15 | 2.85 | 2.85 | 2.85 | – |
| 2 | 38.53 | 28.56 | 17.16 | 7.15 | 2.85 | 2.85 | 2.85 | 0.05 |

Как видно из таблицы, наибольшую часть составов представляют оксиды Al₂O₃, SiO₂ и ZrO₂, поскольку это основные компоненты используемых сырьевых материалов, обладающих термостойкостью.

Процесс изготовления лабораторных образцов включает в себя несколько основных стадий: подготовка сырьевой смеси, формование, сушка и обжиг [5; 6].

Для получения образцов термостойких материалов было выбрано наиболее оптимальное количество вяжущего — 15 % по массе, после добавления которого смесь тщательно перемешивали, получая однородную массу.

С целью выяснения физико-химических процессов, протекающих при получении торкрет-масс, был проведен рентгенофазовый анализ (РФА) образцов без добавления нанопорошка и образцов, в составе которых он присутствовал. Результаты анализа представлены на рисунках 3 и 4.

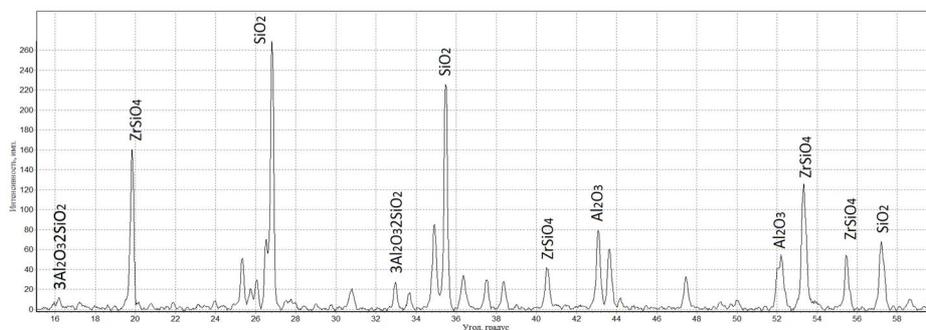


Рис. 3. РФА образцов без нанопорошка

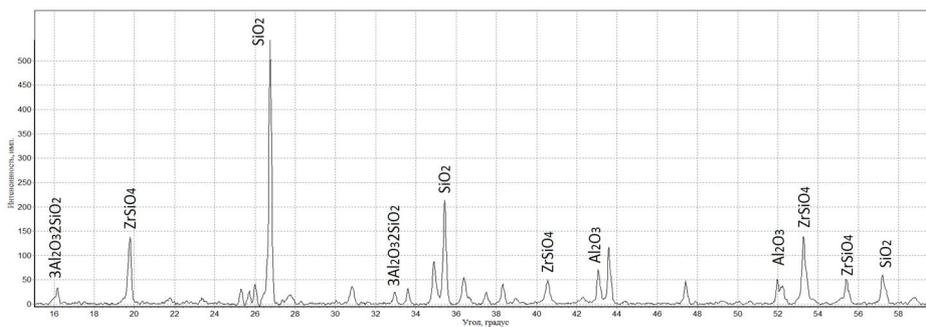


Рис. 4. РФА образцов с добавлением нанопорошка

Из графиков видно, что составы образцов представлены следующими фазами: цирконом — $ZrSiO_4$ ($d=0,447; 0,336; 0,253; 0,234; 0,171; 0,165$ нм); оксидом алюминия — Al_2O_3 ($d=0,208; 0,175; 0,166$ нм); муллитом — $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ($d=0,548; 0,271; 0,165$ нм) и кварцем — SiO_2 ($d=0,333; 0,253; 0,161$ нм). Рентгенофазовый анализ показал, что у образцов, в состав которых был добавлен нанопорошок, возросла интенсивность пиков кварца и циркона, за счет увеличения содержания SiO_2 , а также его соединений в составе химических соединений, в которые он входит. Кроме того, появились новые пики, характерные для муллита. Это происходит за счет того, что наночастицы SiO_2 более реакционноспособны и взаимодействуют с Al_2O_3 с образованием $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Проведенные исследования позволили установить, что при совместном процессе плавления песка протекают процессы сублимации, в результате чего образуются наночастицы диоксида кремния. Полученный нанопорошок имеет широкий спектр применения, в том числе улучшает свойства термостойких материалов. Продукт плавления кварцевого песка является исходным материалом для получения кварцевой керамики методом высококонцен-

трированной вяжущей суспензии. Установлено, что полученные на основе кварцевого песка Туганского месторождения и белой глины Кайлинского месторождения (Кемеровская область) композиционные с добавлением наночастиц диоксида кремния материалы могут быть использованы для футеровок промышленных тепловых агрегатов.

Литература

1. Пивинский Ю. Е. Кварцевая керамика, ВКВС, керамобетоны — страницы истории // Новые огнеупоры. 2007. № 2. С. 56–64.
2. Пивинский Ю. Е., Ромашин А. Г. Кварцевая керамика // Metallurgia. 1974. 264 с.
3. Получение силикатных расплавов с высоким силикатным модулем из кварц-полевошпатсодержащего сырья по плазменной технологии / О. Г. Волокитин [и др.] // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2014. 57. № 1. С. 73–77.
4. Исследование процессов протекающих при плазмохимическом синтезе высокотемпературных силикатных расплавов. Ч. 1. Анализ отходов обогащения молибденовых руд / Г. Г. Волокитин [и др.] // Вестник ТГАСУ. 2013. № 4. С. 197–202.
5. Космачев П. В. Разработка составов и технологии получения нанобадделеитовых огнеупоров для стекловаренной промышленности // Вестник ТГАСУ. 2014. № 6. С.141–147.
6. Космачев П. В. Исследование физико-механических свойств бадделеитокорундовых огнеупоров [Электронный ресурс]. URL: http://science-persp.tpu.ru/Previous%20Materials/Konf_2014.pdf