

<http://www.bulletennauki.com>

УДК 549.657-032.896; 66.040.2

**АЛЮМОСИЛИКАТНЫЕ МИКРОСФЕРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ  
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

**ALUMINOSILICATE MICROSPHERES RECEIVED ON THE BASIS OF ASH AND  
SLAG WASTE BY MEANS OF ENERGY OF LOW-TEMPERATURE PLASMA**

©Шеховцов В. В.

*Томский государственный архитектурно-строительный университет  
г. Томск, Россия*

*shehovcov2010@yandex.ru*

©Shekhotsov V.

*Tomsk State University of Architecture and Building,  
Tomsk, Russia*

*shehovcov2010@yandex.ru*

©Волокитин О. Г.

*канд. техн. наук*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет  
г. Томск, Россия*

*volokitin\_oleg@mail.ru*

©Volokitin O.

*PhD*

*Tomsk State University of Architecture and Building  
Tomsk, Russia*

*volokitin\_oleg@mail.ru*

*Аннотация.* В работе проведен анализ и сравнение кривой плавкости, рассчитанной с учетом реального химического состава исследуемой золы и кривой плавкости, построенной посредством перерасчета на трехкомпонентную систему. Процесс получения расплава в условиях низкотемпературной плазмы со скоростью нагрева исследуемого сырья более 1000 °С в секунду характеризуется одновременным плавлением всех фаз, в отличие от процессов, протекающих при обычных скоростях нагрева 0,5–1,0 °С в секунду. Установлена возможность получения алюмосиликатных микросфер с помощью низкотемпературной плазмы диаметром от 60 до 90 мкм на основе золошлаковых отходов ТЭЦ (г. Северск, Томская область).

*Abstract.* In work the analysis and comparison of the curve fusibility calculated taking into account a real chemical composition studied ashes and the curve fusibility built by means of recalculation on three-component system is carried out. Process receiving fusion in the conditions of low-temperature plasma with a speed heating investigated raw material more than 1000 °С a second is characterized by simultaneous melting all phases, unlike the processes proceeding at usual speeds of heating 0,5–1,0 °С in a second. The possibility of receiving the Aluminosilicate microspheres by means of low-temperature plasma with a diameter from 60 to 90 microns on a basis the ash waste combined heat and power plant (Seversk, Tomsk region) is established.

<http://www.bulletennauki.com>

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы, силикатный расплав, низкотемпературная плазма, микросферы.

**Keywords:** ash wastes, silicate melt, low-temperature plasma, microspheres.

Уровень переработки твердых отходов на тепловых электростанциях на сегодняшний день крайне низкий, что приводит к значительному накоплению золошлаковых отходов в золоотвалах. Главным аспектом утилизации золошлаковых отходов является высокая температура плавления (1600–1700 °С), зависящая напрямую от крайне неоднородного химического состава. Одним из наиболее важных компонентов в золоотвалах является наличие микросфер, которые образуются при сжигании углей в печах. Микросфера представляет собой мелкодисперсный порошок фракцией 5–500 мкм, с химическим составом SiO<sub>2</sub> (51–70%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (18–40%), относящийся к группе алюмосиликатных материалов. Выделяют несколько групп полых микросфер, отличающихся способом получения и количеством, входящих в состав, компонентов. Например, полимерные, алюмосиликатные (керамические, зольные), стеклянные, силикатные и углеродные [1, 2, 3]. Уникальные свойства микросфер на основе золы определяют целесообразность использования их в качестве основы для получения легких теплоизоляционных и других строительных материалов.

Полые алюмосиликатные микросферы наиболее часто используются в практике нефтяной и газовой промышленности для тампонирувания скважин. Известно, что добавка в состав тампонажных растворов полых микросфер способствует снижению их плотности при относительно невысокой водопотребности, а формируемый тампонажный камень с включением микросфер имеет низкую теплопроводность, повышенную прочность и трещиностойкость. Таким образом, ввод полых микросфер позволяет получить тампонажный раствор и цементный камень пригодные для крепления скважин в криолитозоне [4].

Объектом исследования в работе являлись золошлаковые отходы ТЭЦ г. Северск (Томская область), полученные после сжигания каменного угля. Исходный (усредненный) химический состав представлен в Таблице.

Таблица.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Сырьевые материалы	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	Δm <sub>np</sub>	M <sub>K</sub>
Зола ТЭЦ	51,16	35,07	3,62	8,33	0,91	0,23	0,68	9,33
M <sub>K</sub> — модуль кислотности, $M_K = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO}$								

Исследуемое сырье подвергалось плавлению с использованием плазменной установки [5] с целью удаления примесей из состава и получения на его основе алюмосиликатного стекла. Технологические режимы при этом соответствовали значениям: U=160 В, I=220 А, P=35,2 кВт, q=1,8×10<sup>6</sup> Вт/м<sup>2</sup>. Процесс образования расплава протекает за счет воздействия высококонцентрированных потоков плазмы на порошкообразное силикатсодержащее сырье, в результате которого осуществляется нагрев мелкодисперсных частиц с последующим формированием гомогенного расплава.

<http://www.bulletennauki.com>

На Рисунке 1 представлено сравнение кривой плавкости, рассчитанной с учетом реального химического состава исследуемой золы и кривой плавкости, построенной посредством перерасчета на трехкомпонентную систему.

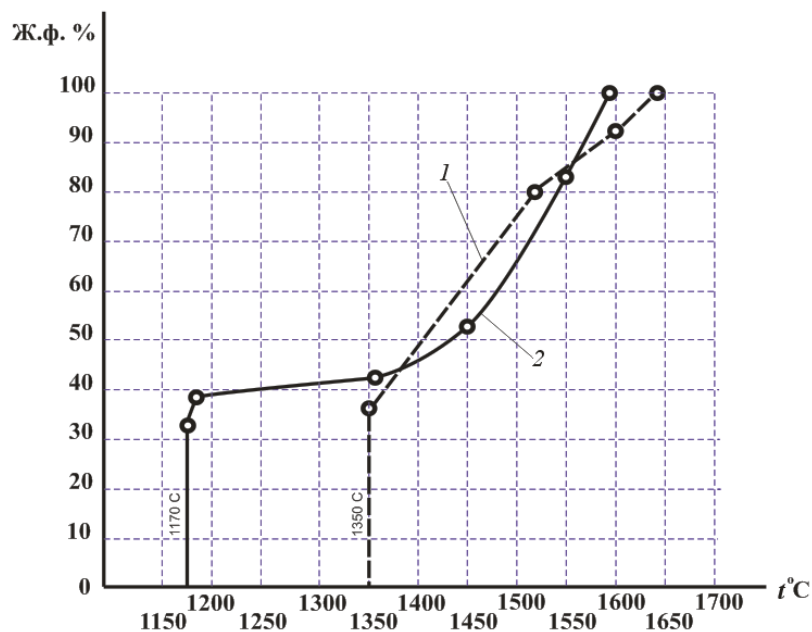


Рисунок 1. Кривые плавкости золы: 1 — равновесная зависимость в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ; 2 — неравновесная зависимость для фактического химического состава.

Анализ кривых плавкости (Рисунок 1) показал, что температура начала образования расплава золы не превышает  $1350\text{ }^\circ\text{C}$ . При этом одинаковое количество первичного расплава (около 35%) в реальной системе образуется при  $1170\text{ }^\circ\text{C}$ , а в модельной при  $1350\text{ }^\circ\text{C}$ . Дальнейшее увеличение жидкой фазы проходит аналогично для равновесных и неравновесных процессов. Образование 100%-го расплава золы в модельной системе происходит при температуре  $1640\text{ }^\circ\text{C}$ , однако с учетом реального химического.

Следующим этапом работы являлась подготовка полученного алюмосиликатного стекла для производства микросфер. Для этого алюмосиликатное стекло подвергалось механической обработке в планетарной шаровой мельнице периодического действия. Размер частиц находятся в пределах  $50-100\text{ }\mu\text{м}$ .

Для получения алюмосиликатных микросферы был использован плазмотрон линейного действия с узлом кольцевого ввода порошкового материала с газодинамической фокусировкой [6]. Параметры эксперимента: плазмообразующий газ — азот, мощность плазменной струи  $45\text{ кВт}$ , расход порошка  $1,25\text{ г/с}$ . На Рисунке 2 представлены полученные алюмосиликатные микросферы.

По данным электронной микроскопии, полученные по плазменной технологии алюмосиликатные микросферы, имеют гладкую внешнюю поверхность, диаметр варьируется от  $60$  до  $90\text{ }\mu\text{м}$ . Средний коэффициент несферичности по  $50$  частицам составляет  $1,5$  (отклонение от сферичности устанавливалось из отношения большого и меньшего диаметров микросфер).

<http://www.bulletennauki.com>

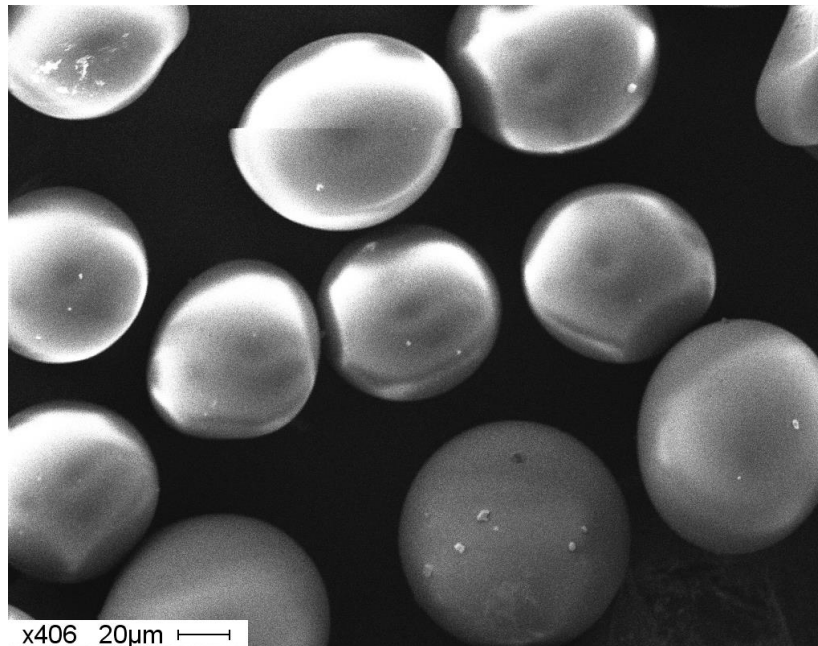


Рисунок 2. Электронно–микроскопический снимок поверхности полученных алюмосиликатных микросферы

В результате проведенных исследований установлена возможность получения алюмосиликатного стекла на основе золошлаковых отходов ТЭЦ г. Северск (Томская область). Процесс получения расплава в условиях низкотемпературной плазмы со скоростью нагрева исследуемого сырья более  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  в секунду характеризуется одновременным плавлением всех фаз, в отличие от процессов, протекающих при обычных скоростях нагрева  $0,5\text{--}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в секунду. Установлена возможность получения алюмосиликатных микросфер с помощью низкотемпературной плазмы диаметром от 60 до 90 мкм на основе золошлаковых отходов ТЭЦ (г. Северск, Томская область).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-38-50052 мол\_нр.*

*Список литературы:*

1. Данилин Л. Д., Дорожжин В. С., Куваев М. Д. и др. Полые микросферы из зол–уноса — многофункциональный наполнитель композиционных материалов // Цемент и его применение. 2012. №4. С. 100–105.
2. Овчинников П. В., Кузнецов В. Г., Фролов А. А. и др. Специальные тампонажные материалы для низкотемпературных скважин. М.: Недра–Бизнесцентр, 2002. 115 с.
3. Гнатенко А. Н. Микросферы — их применение в промышленности и строительстве // Популярное бетоноведение. 2008. 12. 11.
4. Мерзляков М. Ю., Яковлев А. А. Применение тампонажных растворов с включением полых микросфер при креплении скважин в криолитозоне. Новосибирск: Формат, 2015. 370–376 с.

<http://www.bulletennauki.com>

5. Пат. 2503628 РФ. С03 В37/04. Плазменная установка для получения тугоплавкого силикатного расплава / О. Г. Волокитин, Е. В. Тимонов, Г. Г. Волокитин, А. А. Никифоров, В. К. Чибирков. Заявлено 22.06.2012; Опубл. 10.01.2014, Бюл. №1. 5 с.

6. Пат. 2474983 РФ. H05 В7/22. Узел кольцевого ввода порошкового материала электродугового плазматрона / В. И. Кузьмин, А. А. Михальченко, Е. В. Картаев. Заявлено 07.07.2011; Опубл. 10.02.2013, Бюл. №1. 6 с.

#### *References:*

1. Danilin L. D. Hollow microspheres from the evils ablations — a multipurpose filler of composite materials. L. D. Danilin, V. S. Dorozhzhin, M. D. Kuvayev et al. Cement and its application, 2012, no. 4, pp. 100–105.

2. Ovchinnikov P. V., Kuznetsov V. G., Frolov A. A., etc. Special grouting materials for low-temperature wells. Moscow, LLC Nedra–Businesssentr, 2002, 115 p.

3. Gnatenko A. N. Mikrosfera — their application in the industry and construction. Popular Betonovedeniye magazine, 2008, 12, 11.

4. Merzlyakov M. Yu., Yakovlev A. A. Use of grouting solutions with inclusion of hollow microspheres when fastening wells in the kriolitozena. Novosibirsk: LLC Format, 2015, 370–376 p.

5. Stalemate. 2503628 Russian Federation. C03 В37/04. Plasma installation for receiving refractory silicate fusion / O. G. Volokitin, E. V. Timonov, G. G. Volokitin, A. A. Nikiforov, V. K. Chibirkov. It is declared 6/22/2012; publ. 1/10/2014, Bulletin no. 1, 5 p.

6. Stalemate. 2474983 Russian Federation. H05 В7/22. Knot of ring input of powder material of an arc plasmatron / V. I. Kuzmin, A.A. Mikhailchenko, E.V. Kartayev. It is declared 7/7/2011; publ. 2/10/2013, Bulletin no. 1, 6 p.

*Работа поступила в редакцию  
09.03.2016 г.*

*Принята к публикации  
14.03.2016 г.*