

**МОРФОЛОГИЯ МИКРОСФЕР ПОЛУЧЕННЫХ
НА ОСНОВЕ АГЛОМЕРИРОВАННЫХ ЧАСТИЦ В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ**

В.В. Шеховцов, О.Г. Волокитин, Р.Е. Гафаров

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Г.Г. Волокитин

Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

E-mail: shehovcov2010@yandex.ru

**MORPHOLOGY MICROSPHERES OBTAINED
ON THE BASIS AGGLOMERATED PARTICLES IN THE FLOW OF THERMAL PLASMA**

V.V. Shehovcov, O.G. Volokitin, Gafarov R.E.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G.G. Volokitin

Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Sloyanaya sq., 2, 634003

E-mail: shehovcov2010@yandex.ru

***Abstract.** The results of experimental studies preparation microspheres based on agglomerated powders in a thermal plasma flow are carried out in the work. The possibility of using ash and slag wastes as a raw material for the production microspheres by plasma metering has been established. The morphology microspheres obtained is determined from which it is established that there are no defects on the particle surface (cracks, fused particles, pronounced pores). In terms of size and shape, the microspheres obtained are a spherical shape with a diameter of $120 \div 350 \mu\text{m}$ with a bulk density of $0.3-0.4 \text{ g} / \text{cm}^3$.*

На сегодняшний день перспективной областью исследований является формирование полых сферических частиц на основе материалов силикатной группы. Данный тип частиц используется в виде высокоэффективных наполнителей в разных отраслях производства. Силикатные отходы, образованные в процессе деятельности тепловых электростанций являются перспективной сырьевой базой для производства полых микросфер. Однако существует ряд проблем при использовании традиционных источников нагрева при плавлении указанных отходов [1, 2]. Реализуемый традиционными источниками нагрева температурный диапазон не позволяет использовать тугоплавкие силикаты и оксиды для получения полых микросфер, ввиду высокой температуры плавления ($> 2000 \text{ K}$). В работах [3-5] предлагается использовать в качестве источника нагрева частиц энергию термической плазмы. Данный вид энергии может реализовать температуру $3000 \div 5000 \text{ K}$, что позволяет использовать исходное сырье с высокой температурой плавления.

Процесс получения полых микросфер основан на обработке агломерированных порошков в потоке термической плазмы. Внутренняя полость образуется за счет капсулирования некоторой части воздуха находящегося в открытых и закрытых порах агломерата. Контролируя технологические параметры (температуру, скорость несущей среды), возможно получение полых микросфер с заданными геометрическими и эксплуатационными характеристиками.

Для подтверждения описанного процесса проведены экспериментальные исследования, в качестве сырья использовались золошлаковые отходы ГРЭС-1 г. Экибастуз (Республика Казахстан), усредненный оксидный состав представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав золошлаковых отходов ГРЭС-1 г. Экибастуз

Сырьевые материалы		Содержание оксида, мас. %						
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Зола ГРЭС-1 г. Экибастуз	усредн.	55,85	25,45	5,65	1,17	0,8	1,95	0,42

Изменения минералогического состава, происходящего в сырье во время нагрева целесообразно проследить по диаграммам состояния. Найден путь кристаллизации расплава полученного на основе используемого сырья (рис. 1, а), который расположен в элементарном треугольнике S – CaS₂ – Al₂S₃.

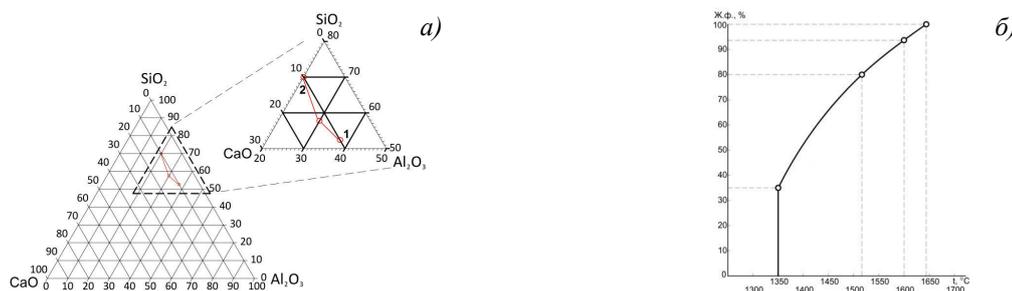


Рис. 1. а) Путь кристаллизации расплава золошлаковых отходов на диаграмме состояния в системе CaO–Al₂O₃–SiO₂; б) Кривая плавкости с учетом химического состава золошлаковых отходов.

Используемое сырье находится на участке диаграммы примыкающем к стороне SiO₂ – Al₂O₃ и располагается в элементарном треугольнике S – CaS₂ – Al₂S₃, в поле кристаллизации муллита. То есть при охлаждении расплава, начиная с температуры 1640 °С выпадают кристаллы муллита (точка 1). Начиная с температуры 1540 °С, совместно выпадают кристаллы муллита и анортита. В точке тройной эвтектики выпадут кристаллы кварцевых соединений, и кристаллизация при 1345 °С полностью закончится. То есть при нагревании частиц до температуры 1345 °С появляется жидкая фаза за счет плавления тройной эвтектики. Далее с повышением температуры расплавляются кварцевые соединения и постепенно плавятся кристаллы алюмосиликатов. В точке 2 путь плавления заканчивается – все кристаллы расплавятся. Изменение при этом количества жидкой фазы в сырьевых материалах при увеличении температурных характеристик можно проследить по кривой плавкости (рис. 1, б).

Термическая обработка приготовленного агломерированного порошка производилась на электроплазменном стенде [6-9]. В процессе проведения экспериментов установлен рациональный режим обработки агломерированного порошка: мощность плазменного генератора P=35 кВт; расход плазмообразующего газа (воздух) G_г=0,4 г/с; расход сырья G_{сыр}=4,7 кг/ч.

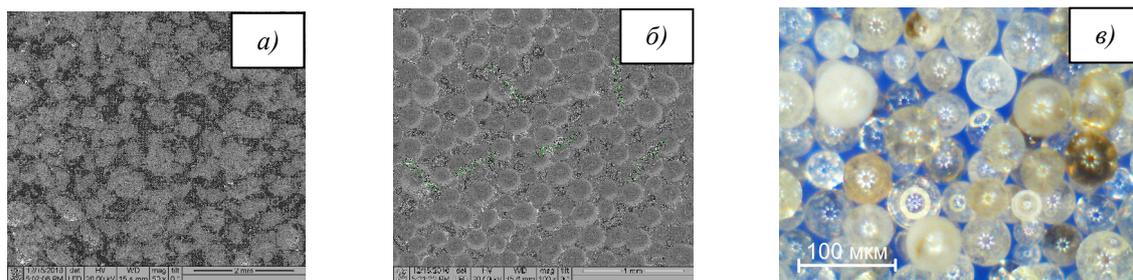


Рис. 2. Морфология агломерированных частиц (а) и полученные микросферы на их основе (б, в).

Об эффективности плазменного воздействия на агломерированные частицы можно судить по степени сфероидизации. На рисунке 2, а представлены снимки сканирующей электронной микроскопии агломерированных частиц на основе золошлаковых отходов, размер частиц находится в диапазоне 80÷250 мкм. Морфология частиц представлена совокупностью гетеродисперстных частиц неправильной формы, присутствует развитая система микропор. По результатам эксперимента получены микросферы с объемной плотностью $0,3\div 0,4$ г/см³. Полученные микросферы (рис. 2, б, в) характеризуются высокой степенью сферичности, диаметр частиц варьируется 120÷350 мкм. На поверхности частиц отсутствуют дефекты (трещины, припавленные частицы, ярко выраженные поры) присущие микросферам полученных традиционным путем на тепловых электростанциях. Некоторые частицы полностью прозрачны (особенно малого размера). Цвет может меняться от белого до желтого или коричневого. Различные цвета зависят от содержания микроэлементов в сырье Fe, Ti или Cu (рис. 2, в).

В результате проведенных экспериментов установлена возможность использования золошлаковых отходов ГРЭС-1 г. Экибастуз в виде исходного сырья для получения микросфер плазменным методом. Рассмотрена морфология полученных микросфер из которой установлено, что на поверхности частиц отсутствуют дефекты (трещины, припавленные частицы, ярко выраженные поры). Полученные микросферы обладают сферической формой с диаметром 120÷350 мкм; с насыпной плотностью $0,3\div 0,4$ г/см³. Более мелкие частицы в основном прозрачные, в то время как более крупные частицы непрозрачные и имеют различные оттенки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Делицын Л. М., Власов А. С. Необходимость новых подходов к использованию золы угольных ТЭС // Теплоэнергетика. – 2010. – № 4. – С. 49–55.
2. Минько Н. И., Бессмертный В. С., Дюмина П. С. Использование альтернативных источников энергии в технологии стекла и стеклокристаллических материалов // Стекло и керамика. – 2002. – Т. 59, № 3. – С. 77–79.
3. Arkhipov V.A., Kozlov E.A., Zharova I.K., Titov S.S., Usanina A.S. Evolution of liquid-drop aerosol cloud in the atmosphere // Arabian Journal of Geosciences. V. 9, No. 2. 2016. P. 1–10.
4. Gulyaev I. Experience in plasma production of hollow ceramic microspheres with required wall thickness // Ceramics International. 2015. V. 41. No. 1. P. 101-107.
5. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г. Технология получения микросфер различной структуры на основе золошлаковых отходов плазменным методом // Техника и технология силикатов. – 2017. Т. 24. – № 3. – С. 2-6.
6. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Аньшаков А.С., Кузьмин В.И. Влияние термической плазмы на образование керамических микросфер. Часть 1. Характер нагрева и испарения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. Т. 64. – № 5. С. 143-150.
7. Шеховцов В.В., Власов В.А., Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г. Использование низкотемпературной плазмы для получения зольных микросфер // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2016. Т. 59. – № 9-3. – С. 305-308.
8. Волокитин О.Г., Верещагин В.И., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В. Анализ процессов традиционного и плазменного плавления золы ТЭЦ // Техника и технология силикатов. – 2016. Т. 23. – № 3. – С. 2-5.
9. Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Волланд С. Физико-химические процессы получения зольных микросфер с использованием низкотемпературной плазмы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. Т. 56. – № 3. – С. 139–145.