

ПЛАЗМЕННАЯ СФЕРОИДИЗАЦИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ЧАСТИЦ

В.В. Шеховцов, Г.Г. Волокитин, Н.К. Скрипникова, О.Г. Волокитин
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
пл. Соляная 2, 634003 Томск, Россия, shehovcov2010@yandex.ru

В данной работе рассмотрены экспериментальные и теоретические исследования получения микросфер на основе золошлаковых отходов в потоке плазмы. Установлено, что частицы могут находиться в различных агрегатных состояниях в зависимости от исходной пористости. Проведенные экспериментальные исследования показали, что плазменное воздействие приводит к эффективной сфероидизации порошковых материалов, полученных на основе золошлаковых отходов. Полученные микросферы характеризуются высоким коэффициентом сферичности 0.9.

Введение

Морфология частиц при термической обработке порошковых материалов напрямую зависит от свойств исходного сырья (дисперсионный, химический состав) и электрофизических характеристик теплового носителя [1, 2]. В большинстве случаев использование традиционных источников нагрева при сфероидизации порошков не позволяет использовать тугоплавкие материалы с температурой плавления (>1700 °С). Расширить область использования тугоплавких материалов возможно с использованием энергии плазмы. Высокая концентрация энергии и реализуемая температура позволяют получить гомогенную систему внутри частицы.

Данная работа посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям в области использования золошлаковых отходов (ЗШО) при получении микросфер в потоке плазмы. В большинстве случаев ЗШО представлены смесью алюмосиликатов с высоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3 до 80 % от общей массы. В качестве исследуемого сырья использовались ЗШО Экибастузской ГРЭС-1 (Павлодарская область, Казахстан). По результатам химического анализа ЗШО относятся к типу сверхкислых ($\text{CaO} < 10\%$). Основная доля оксидов представлена в виде оксидов кремния (46-66%) и алюминия (21-30%).

Основная часть

На первом этапе работы был проведен численный анализ динамики нагрева частицы в потоке плазмы [3, 4] при следующих параметрах: поток нагретого газа, представляющий собой цилиндрическую трубку радиусов $r = 10$ мм и протяженностью $L = 70$ мм имеющий температуру $T_{\text{пл}} = 3200$ К. Параметры вводимых частиц: диаметр частицы $D_p = 100$ мкм; пористость $P = 20$ -60 %; плотность исходного материала $\rho = 2.65$ г/см³; удельная теплоемкость $c = 743$ Дж/кг/К. Пористость исходной частицы рассчитывалась по формуле $P = V_g/V_p$, где V_g – объем пор в частице, $V_g \pi D^3 \rho / 6$ – объем исходной частицы.

В результате проведенного численного анализа установлены физические параметры частицы, проходящей зону высокотемпературного нагрева. В таблице 1 приведены значения скорости и времени прохождения частицы зоны высокотемпературного нагрева. На рис. 1 представлена зависимость температуры частицы от пройденного пути.

Из графика видно, что температура частицы диаметром 100 мкм и пористостью 20 % (кривая

Таблица 1. Физические параметры частицы при плазменной обработке

Физические параметры частицы	Пористость, %		
	20	40	60
Скорость, м/с	38.83	43.51	50.69
Время процесса, 10^{-3} сек	3.21	2.83	2.38

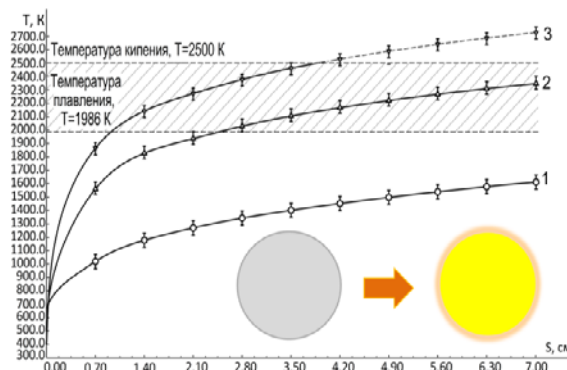


Рис. 1. Зависимость температуры частицы диаметром 100 мм от пройденного пути: 1 – пористость 60 %; 2 – 40 %; 3 – 20 %

3) после прохождения 42 мм пути превышает температуру кипения и частица испаряется. С увеличением пористости до 40 % (кривая 2) температура частицы не превышает порогового значения (температуры кипения) – частица находится в расплавленном состоянии. Частица пористостью 60 % (кривая 1) не успевает расплавиться при прохождении 70 мм пути в потоке плазмы.

При использовании ЗШО в экспериментальной работе они проходили двухстадийную подготовку. На первой стадии производится помол порошковой смеси в планетарной шаровой мельнице с целью достижения гомогенного состава по всему объему смеси. Вторая стадия включает в себя грануляцию приготовленной порошковой смеси. В качестве связующего используется водный раствор поливинилового спирта (ПВС) [5], который распыляется на поверхность приготовленной порошковой смеси. На рис. 2 представлены электронные снимки полученных порошков.

Как видно из электронных снимков, полученные порошки на основе ЗШО представляют собой совокупность гетеродисперсных частиц. Формируемые объекты овальной формы. Поверхность полученных частиц является весьма развитой и имеет разветвленную систему микропор.

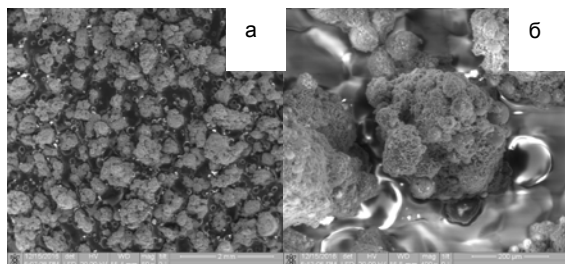


Рис. 2. Порошок на основе ЗШО: а – увеличение 50х; б – увеличение 400х

Термическая обработка приготовленного порошка осуществлялась на электроплазменном стенде для получения микросфер на основе тугоплавких оксидов и силикатов, разработанном на кафедре «Прикладная механика и материаловедение» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Стенд включает в себя плазменный генератор (катод), анодный узел (полая графитовая втулка) и камеру для сбора обработанного материала. Подача сырья в область формирования плазменной струи (под срез сопла плазменного генератора) осуществляется из порошкового дозатора по транспортирующим магистралям. В процессе нахождения агломерированных частиц в высокотемпературном потоке происходит интенсивный нагрев частиц с последующим переходом их в расплавленное состояние. Далее за счет сил поверхностного натяжения разогретая частица приобретает сферическую форму. Сформировавшиеся сферические частицы попадают в отсек для сбора, где происходит их мгновенное остывание. Для исключения слипания частиц между собой и ускорения их остывания отсек заполнен водой.

В результате проведенных экспериментов [6, 7] исследовалась морфология полученных микросфер. В работе использовался электронный микроскоп Quanta 200 3D (компания FEI, Нидерланды). На рис. 3, а представлено электронное изображение микросфер с насыпной плотностью 0.8 г/см^2 , полученных на основе золошлаковых отходов плазменным методом. Рисунок 3, б показывает распределение элементного состава в спектре, полученного с помощью РФЭС.

Исследование морфологии полученных микросфер плазменным методом показало, что все они имеют сферическую форму (коэффициент сферичности равен 0.9 по диаграмме Крумбена-Шлосса). На поверхности микросфер отсутствуют дефекты, но присутствуют приплавленные частицы исходного сырья микронного размера остроугольной формы.

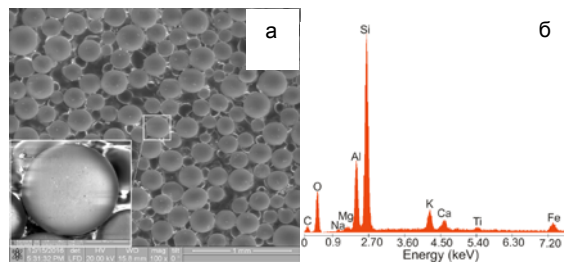


Рис. 3. Электронное изображение микросфер на основе золошлаковых отходов, полученных плазменным методом (а) и распределение элементного состава (б), мас. %: Al = 11.34; Ca = 2.63; Fe = 6.23; Mg = 0.67; Na = 0.34; Si = 34.39; Ti = 1.32; K = 5.29; O = 23.67; C = 14.10

Закключение

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что ЗШО являются перспективной сырьевой базой для получения микросфер с использованием энергии плазмы. Численно показано, что пористость исходной частицы существенно влияет на динамику нагрева и может находиться в различных агрегатных состояниях в потоке плазмы с температурой 3200 К. В результате проведенных экспериментов получены микросферы с насыпной плотностью 0.8 г/см^3 . Поверхность частиц характеризуется без дефектов с малым количеством приплавленных частиц исходного сырья микронного размера остроугольной формы.

Список литературы

1. Zhukov A.S., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S. and Gol'din V.D. // Russian Journal of Physical Chemistry. 2013. V. 7. № 6. P. 777–782.
2. Solonenko O.P., Gulyaev I.P. and Smirnov A.V. // Journal of Thermal Science and Technology. 2011. V. 2. № 6. P. 219–234.
3. Васенин И.М., Архипов В.А., Бумов В.Г. и др. Газовая динамика двухфазных течений в соплах. Томск: Изд-во ТГУ, 1986.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. шк. 1967.
5. Dudina D.V., Zlobin S.B., Bulina N.V., Bychkov A.L., Korolyuk V.N., Ulianitsky V.Yu., Lomovsky O.I. // Journal of the European Ceramic Society. 2012. V. 32. P. 815–821.
6. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Kondratyuk A.A., Vitske R.E. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 156.
7. Shekhovtsov V.V., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Gafarov R. // AIP Conference Proceedings 2017. V. 1800, Issue 1.

PLASMA SPHEROIDIZATION ALUMINOSILICATE PARTICLE

Valentin Shekhovtsov, Gennady Volokitin, Nellie Skripnikova, Oleg Volokitin
Tomsk State University of Architecture and Building,
2 Solyanaya sq., 634003 Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru

In this paper, experimental and theoretical studies on the basis of production microspheres ash waste in the plasma flow. It is found that the particles can be in different states of aggregation, depending on the initial porosity. The experimental studies have shown that plasma exposure leads to effective spheroidization powder materials obtained on the basis of the ash waste. These microspheres have a high coefficient of sphericity of 0.9.