

УДК 666

**ПОЛЫЕ МИКРОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ,
ПОЛУЧЕННЫЕ В ПОТОКЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ**

**HOLLOW MICROSPHERES ON THE BASIS OF NATURAL AND TECHNOGENIC RAW
MATERIALS, OBTAINED IN THE FLOW OF THERMAL PLASMA**

©Шеховцов В. В.,

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия, shehovcov2010@yandex.ru

©Shekhovtsov V.,

Tomsk State University of Architecture and Building,
Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru

©Волокитин О. Г.,

д-р. техн. наук,
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия, volokitin_oleg@mail.ru

©Volokitin O.,

Dr. habil.,
Tomsk State University of Architecture and Building,
Tomsk, Russia, volokitin_oleg@mail.ru

Аннотация. В статье изложены результаты исследований по получению микросфер на основе природного и техногенного сырья в потоке термической плазмы. Рассмотрены этапы формирования полых частиц в потоке термической плазмы. Предложена конструкция электроплазменного стенда, установлены геометрические характеристики плазменного потока в зависимости от расхода плазмообразующего газа.

Abstract. This article describes the results of studies on the preparation microspheres based on natural and technogenic raw materials in the flow thermal plasma. The stages formation hollow particles in the flow thermal plasma are considered. The design of the electroplasma stand is proposed, the geometric characteristics plasma flow is determined depending on the consumption of the plasma-forming gas.

Ключевые слова: плазма, микросферы, неметаллические сырьевые материалы.

Keywords: plasma, microspheres, non-metallic raw materials.

При высоких темпах развития промышленности немаловажную роль играет поиск и разработка технологических схем по облегчению материалов и созданию теплоизоляционных покрытий на основе неметаллических тугоплавких полых частиц [1–4]. Сдерживающим фактором получения полых частиц на основе тугоплавких порошковых материалов является высокое значение температуры плавления исходного сырья [5–7]. В связи с тем, что процесс формирования микросфер в процессе термической обработке составляет 3–5 мс, то использование традиционных источников нагрева является неэффективным. В таком случае целесообразно использовать технологии, позволяющие реализовать высокотемпературную среду. К такой среде можно отнести поток термической плазмы, способный реализовать

высокую концентрацию энергии в малом объеме. Температура, реализованная с использованием дугового разряда может достигать 5000 К [8–9], что позволяет в свою очередь достичь эффективного воздействия на агломерированные порошки с последующим формированием полых частиц на основе неметаллических сырьевых материалов.

Рассмотрим этапы формирования полых частиц в потоке термической плазмы. На первом этапе при попадании пористой частицы в поток термической плазмы происходит мгновенное оплавление поверхности с захватом n -ого количества воздуха, содержащегося в порах агломерата. На данном этапе интенсивно протекают процессы теплообмена и диффузии за счет высокой концентрации энергии и температуры плазменного потока. При этом температура исходной частицы стремится к температуре образования жидкой фазы. В этот момент происходит изменение кристаллических решеток сплавленных частиц субмикронного размера, находящихся на поверхности агломерированной частицы. На втором этапе протекают процессы, связанные с формированием оболочки микросферы под действием внешних и внутренних сил. К внешним относится сила поверхностного натяжения, а к внутренним — давление нагретого воздуха, захваченного на первом этапе. Исходя из равновесия данных сил определяется толщина стенки микросферы. На заключительном этапе частица выходит из потока термической плазмы. Вследствие резкого изменения температуры несущей среды начинают развиваться процессы аморфизации сформированной оболочки микросферы.

В предыдущей работе предложена конструкция стенда для получения полых частиц [10–13]. Производительность плазменных генераторов определяется расходом плазмообразующего газа и тепловой мощностью плазменной дуги. С целью наглядности влияния расхода плазмообразующего газа на формирование плазменного потока на Рисунке 1 представлены снимки истекающей струи из анодного узла при расходе плазмообразующего газа $Q_{\text{вх}}=0.2$ л/с (а) и $Q_{\text{вх}}=0.8$ л/с (б). Мощность, вкладываемая в электрическую дугу, составляла 35 кВт.

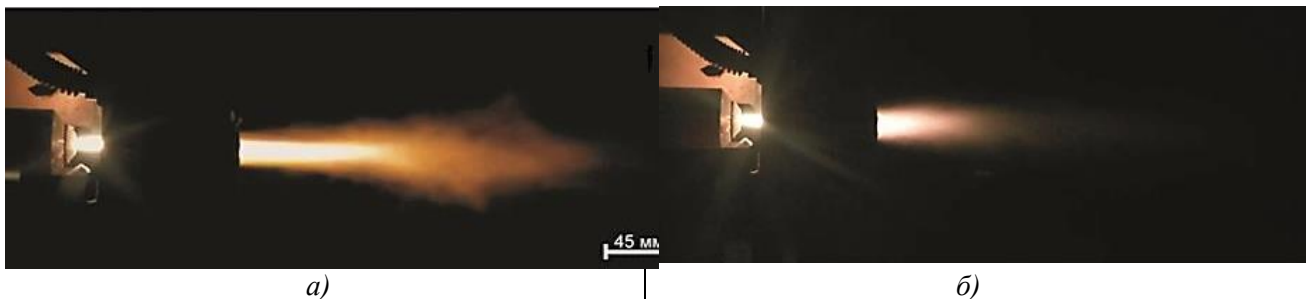


Рисунок 1. Фотография плазменного потока при: а) $Q_{\text{вх}}=0.2$ л/с; б) $Q_{\text{вх}}=0.8$ л/с;

Из снимков видно, что расход плазмообразующего газа существенно влияет на формирование ядра плазменного потока. При объемном расходе плазмообразующего газа 0.2 л/с протяженность ядра плазменного потока составляет 90 мм, с увеличением расхода газа ядро дуги сокращается до 45 мм. Данный эффект обусловлен переходом в турбулентный режим истекания потока термической плазмы при повышении расхода газа [14]. Таким образом, возможно, регулировать протяженность плазменного потока.

На кафедре «Прикладная механика и материаловедение» ТГАСУ проведена серия экспериментов по получению полых частиц на основе агломерированных порошков [3]. В качестве исходного сырья использовались отсеvy кварцевого песка ($98\% < \text{SiO}_2$), глинозем ($99\% \text{Al}_2\text{O}_3$), золошлаковые отходы ($75\% \approx \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$). На рисунке 2 представлены полученные в потоке термической плазмы полые частицы. Установлено, что полученные частицы характеризуются высоким коэффициентом сферичности, отсутствуют ярко выраженные дефекты на поверхности виде трещин, пор.

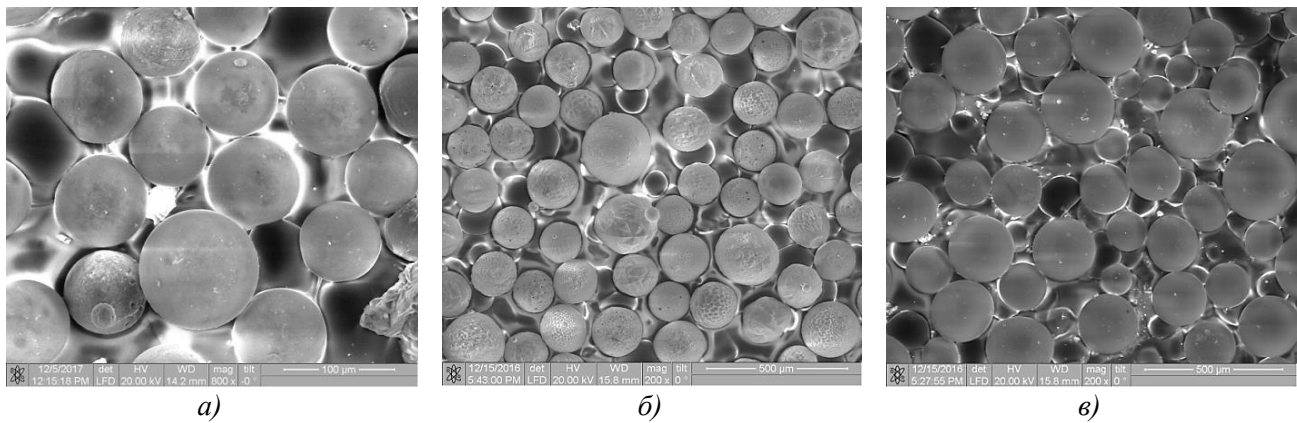


Рисунок 2. Морфология полученных полых частиц на основе:
а) кварцевого песка; б) глинозема; в) золошлаковых отходов.

Таким образом, установлена возможность получения микросфер на основе природного и техногенного сырья в потоке термической плазмы. Рассмотрены этапы формирования полых частиц в потоке термической плазмы. Предложена конструкция электроплазменного стенда, установлены геометрические характеристики плазменного потока в зависимости от расхода плазмообразующего газа. Использование в качестве источника нагрева термическую плазму для получения микросфер на основе неметаллических тугоплавких порошковых материалов является эффективным за счет высокой концентрации энергии и температуры, сконцентрированной в реализованном потоке.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №17-38-50017 «мол_нр», №17-38-50002 «мол_нр». Работа поддержана грантом Президента РФ (МД-553.2018.8) и стипендией Президента РФ (СП-313.2018.1).

Список литературы:

1. Kawashita M., Matsui N., Miyaza Zh. Li, T. Preparation of porous yttrium Oxide microparticles by gelation of ammonium alginate in aqueous solution containing yttrium // *Ions. J Mater Sci: Mater Med.* 2010. V. 21. P. 1837-1843.
2. Жуков А. С., Архипов В. А., Бондарчук С. С., Гольдин В. Д. Оценка морфологии частиц при плазмохимическом синтезе керамических порошков // *Химическая физика.* 2013. Т. 32. №12. С. 52. DOI: 10.7868/S0207401X13120108.
3. Arkhipov V. A., Kozlov E. A., Zharova I. K., Titov S. S., Usanina A. S. Evolution of a liquid-drop aerosol cloud in the atmosphere // *Arabian Journal of Geosciences.* 2016. №9. P. 1-10.
4. Sreekumar K. P., Saxena S. K., Thiyagarajan T. K., Dash A., Ananthapadmanabhan P. V., Venkatesh M., Studies on the preparation and plasma spherodization of yttrium aluminosilicate glass microspheres for their potential application in liver brachytherapy // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2010. V. 208. 012117.
5. Bessmertnyj V. S., Krokhn V. P., Lyashko A. A., Drizhd N. A., Shekhovtsova Zh. E., Preparation of glass microspheres by plasma spraying // *Стекло и керамика.* 2001. №8. С. 6-7.
6. Gulyaev I., Experience in plasma production of hollow ceramic microspheres with required wall thickness // *Ceramics International.* 2015. V. 41. №1. P. 101-107.
7. Волокитин О. Г., Шеховцов В. В. Процессы получения силикатных расплавов и материалов на их основе в низкотемпературной плазме // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2017. №1 (60). С. 144-148.
8. Perekrestov R., Kudrna P., Tichy M., Khalakhan I., Myshkin V. F. TiO₂ nanoparticle detection by means of laser beam scattering in a hollow cathode plasma jet // *Journal of Physics D: Applied Physics.* 2016. V. 49. №26. 265201.

9. Мышкин В. Ф., Хан В. А., Беспала Е. В., Тихи М., Ижойкин Д. А. Формирование газового потока в плазмохимическом реакторе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. №1. С. 96-104.
10. 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.
11. 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. №5 (64). С. 143-150.
12. 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.
13. 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. №3 (56). С. 139-145.
14. Волокитин Г. Г., Скрипникова Н. К., Волокитин О. Г., Шеховцов В. В., Хайсундинов А. И. Электродуговые и электроплазменные устройства для переработки силикатсодержащих отходов // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57. №3-3. С. 109-113.

References:

1. Kawashita, M., Matsui, N., Li Zh., & Miyaza, T., (2010). Preparation of porous yttrium Oxide microparticles by gelation of ammonium alginate in aqueous solution containing yttrium. *Ions. J Mater Sci: Mater Med.*, 21, 1837-1843
2. Zhukov, A. S., Arkhipov, V. A., Bondarchuk, S. S., & Goldin, V. D. (2013). Evaluation of the morphology of particles produced by plasma-chemical synthesis of ceramic powders. *Russian Journal of Physical Chemistry B.*, 7, (6), 777-782
3. Arkhipov, V. A., Kozlov, E. A., Zharova, I. K., Titov, S. S., & Usanina, A. S. (2016). Evolution of a liquid-drop aerosol cloud in the atmosphere. *Arabian Journal of Geosciences*, (9), 1-10
4. Sreekumar, K. P., Saxena, S. K., Thiyagarajan, T. K., Dash, A., Ananthapadmanabhan, P. V., & Venkatesh, M. (2010). Studies on the preparation and plasma spherodization of yttrium aluminosilicate glass microspheres for their potential application in liver brachytherapy. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 208, 012117
5. Bessmertnyj, V. S., Krokhin, V. P., Lyashko, A. A., Drizhd, N. A., & Shekhovtsova Zh. E. (2001). Preparation of glass microspheres by plasma spraying. *Steklo i keramika*, (8), 6-7
6. Gulyaev, I. (2015). Experience in plasma production of hollow ceramic microspheres with required wall thickness. *Ceramics International*, 41, (1), 101-107
7. Volokitin, O. G., & Shekhovtsov, V. V. (2017). Processes of obtaining silicate melts and materials based on them in low-temperature plasma. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (1), 144-148
8. Perekrestov, R., Kudrna, P., Tichy, M., Khalakhan, I., & Myshkin, V. F. (2016). TiO₂ nanoparticle detection by means of laser beam scattering in a hollow cathode plasma jet. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49, (26), 265201
9. Myshkin, V. F., Khan, V. A., Bepala, E. V., Tichy, M., & Izhojkin, D. A. (2016). Formation of the gas flow in the plasma-chemical reactor. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 327, (1), 96-104. (in Russian)

10. Shekhovtsov, V. V., & Volokitin, O. G. (2017). Technology of producing different structure microspheres based on ash waste by plasma method. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*, 24, (3), 2-6. (in Russian)

11. Shekhovtsov, V. V., Volokitin, O. G., Volokitin, G. G., Skripnikova, N. K., Anshakov, A. S., & Kuzmin, V. I. (2017). Effect of thermal plasma on the formation of ceramic microspheres. Part 1. The nature of heating and evaporation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 5, 143-150. (in Russian)

12. Shekhovtsov, V. V., Vlasov, V. A., Volokitin, G. G., & Volokitin, O. G. (2016). Use of low-temperature plasma to produce ash microspheres. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika*, 59, (9-3), 305-308. (in Russian)

13. Volokitin, G. G., Shekhovtsov, V. V., Skripnikova, N. K., Volokitin, O. G., & Volland, S. (2016). Physico-Chemical Processes of Spherical particle Production Using Low-Temperature Plasma. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 3, 139-145. (in Russian)

14. Volokitin, G. G., Skripnikova, N. K., Volokitin, O. G., Shekhovtsov, V. V., & Khaisundinov, A. I. (2014). Electric arc and electro plasma devices for the processing of silicate-containing waste. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika*, 57, (3-3), 109-113. (in Russian)

Работа поступила
в редакцию 25.01.2018 г.

Принята к публикации
28.01.2018 г.

Ссылка для цитирования:

Шеховцов В. В., Волокитин О. Г. Полые микросферы на основе природного и техногенного сырья, полученные в потоке термической плазмы // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №2. С. 204-208. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/shekhovtsov-volokitin> (дата обращения 15.02.2018).

Cite as (APA):

Shekhovtsov, V., & Volokitin, O. (2018). Hollow microspheres on the basis of natural and technogenic raw materials, obtained in the flow of thermal plasma. *Bulletin of Science and Practice*, 4, (2), 204-208