

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ОТДЕЛЬНЫХ СТАДИЙ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОБАЛЛОНОВ**

А.А. Акунец, В.М. Дороготовцев, И.Н. Железов, В.М. Зубков, А.И. Исаков,  
В.В. Канашенок, В.Н. Ковыльников, Ю.А. Меркульев, В.Г. Шиняев

*Разработан стенд для исследования физических процессов, происходящих при изготовлении полых микросфер (микробаллонов) из тугоплавких материалов (до 2500 °С) в виде вертикальной вакуумной (давление до 10<sup>2</sup> Па) трубчатой печи, в которой имитируется невесомость при изготовлении микробаллонов.*

До настоящего времени данные о технологических режимах изготовления полых микросфер из промышленного стекла, природных газосодержащих минералов и металлов можно найти лишь в патентах и немногих статьях. Из этих данных нет возможности установить связь между геометрическими размерами полых микросфер и физическими свойствами вещества, из которых они изготавливаются, с одной стороны, и технологическими условиями изготовления (температурой, скоростью движения газовой среды, в которой микросферы проходят тепловую обработку) с другой стороны. Математическое описание физических процессов, происходящих одновременно при изготовлении полых микросфер (микробаллонов), сводится к шести дифференциальным уравнениям, часть из которых — нелинейные уравнения в частных производных второго порядка (теплоперенос, диффузия и гидродинамика). Многие коэффициенты в этих уравнениях и их зависимости от температуры на опыте не получены. Поэтому для создания физических основ технологии полых микросфер (микробаллонов) требуется разработка простых математических моделей технологии и проверка расчетов на данных, получаемых на опыте в разнообразных условиях с минимальной неопределенностью или ошибкой, т.е. экспериментальное моделирование.

Для получения таких экспериментальных данных в области высоких температур от 1500 до 2500 °С был создан стенд на основе принципов, испытанных на предшествующих стендах /1,2/. Для них характерным являлось стремление уменьшить влияние гравитации, для чего изготовление полых микросфер производилось при падении их с проходом горячей и холодной зоны в разреженном газе, т.е. в условиях, имитирующих невесомость. Более строгий анализ процессов показал, что имитация невесомости не обязательна, необходимо, чтобы число Рейнольдса не превосходило единицы для микросфер из вязких жидкостей (стекло, полимер и т.п.).

Основным новым элементом стенда — вертикальной вакуумной трубчатой печи (рис. 1), кроме высокотемпературного трубчатого нагревателя, явилась система прокачки газа через основной ствол установки, позволяющая создавать спадающий или восходящий поток газа в рабочей зоне. Это позволяет моделировать технологические режимы изготовления полых микросфер в более широком диапазоне изменений параметров, приближаясь к условиям, возникающим в промышленных установках, в которых микросферы проходят через зону горения топочных или природных газов /3/.

Стенд собран из отдельных секций, разделенных вакуумными клапанами (рис. 1). Каждая секция независимо соединена с вакуумными насосами и системой подачи газа или атмосферного воздуха. Основная секция стенда — вертикальная вакуумная трубчатая печь высотой 2 м с графитовым стволом, имеющим проходное отверстие диаметром 125 мм. Рабочий участок — горячая зона высотой от 700 до 1200 мм — в зависимости от условий работы. Максимальная мощность, рассеиваемая графитовым цилиндром нагревателя, 75 кВт. В качестве газа используются аргон, гелий или водород. Температура в стволе поддерживается автоматически в диапазоне от 1400 до 2500 °С с точностью  $\pm 30$  °С. Разброс определяется в основном тепловой инерцией системы. Через сутки работы внешняя поверхность печи (корпус из нержавеющей стали) имеет температуру не выше 50 °С. Установка спроектирована так, что горячая зона может быть дополнена еще одной зоной с температурой в стволе не выше 1750 °С (зоной стабилизации) для работы в режиме изготовления полых микросфер диаметром от 2,0 до 4,0 мм.

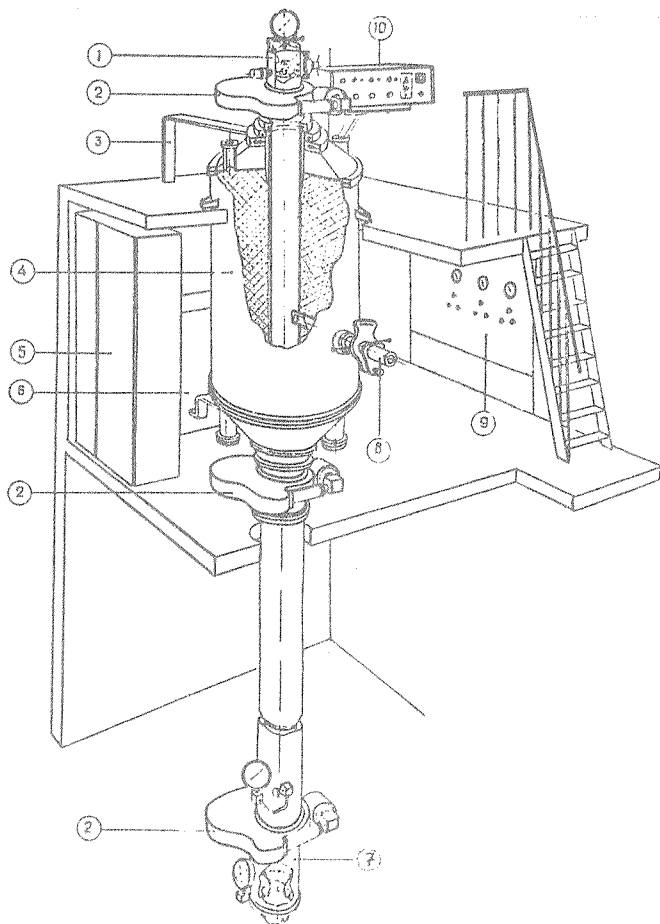


Рис. 1. Высокотемпературный стенд для изготовления полых микросфер диаметром до 3 мм: 1 — устройство подачи исходных частиц, 2 — электроуправляемые вакуумные затворы, 3 — шины-тоководы, 4 — корпус горячей зоны, 5 — блоки управления, 6 — блок энергопитания, 7 — зона сбора конечного продукта, 8 — оптический контроль температуры — пирометр, 9 — пульт управления вакуумной системой и системой подачи газа, 10 — пульт управления вакуумными затворами.

Зона охлаждения высотой 3 м (или для крупных оболочек 6 м). Сбор микросфер осуществляется в специальной секции (сборнике) на конусный фильтр из распущенного ацетатного шелка или в сосуд с глицерином. Для извлечения полученных микросфер сборник отсекается вакуумным клапаном, заполняется через фильтр и натекаль аргоном или воздухом до атмосферного давления. Открывается быстроразъемное вакуумное соединение и извлекается целиком сосуд с микросферами. Ставится новый сосуд, уплотняется быстроразъемное соединение, и сборник откачивается вакуумным насосом. На данном высокотемпературном стенде проводились исследования процессов формирования полых микросфер диаметром до 1,0 мм из натрийкальцийалюмосиликатных стекол в диапазоне температур от 1400 до 2000 °С, из магнийалюмосиликатных стекол в диапазоне от 1600 до 2100 °С, из кварца от 1800 до 2200 °С [4]. На этом же стенде изучались особенности технологии полых микросфер из натрийборосиликатных стекол диаметром до 3,0 мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаков А. И., Меркульев Ю. А., Никитенко А. И. Труды ФИАН, 127, 62 (1980).
2. Бушуев В. С. и др. Труды ФИАН, 127, 72 (1980).
3. Асланова М. С., Стеценко В. Я., Шустов А. Ф. Химия за рубежом, № 9, 33 (1981).
4. Басов Н. Г. и др. Вопросы атомной науки и техники, сер. Атомно-водородная энергетика, № 1, 3 (1987).

Поступила в редакцию 26 июня 1987 г.