

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ

*СУН ХАОПЭН, А.Г.МЕЛЬНИКОВ*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: [HaopengSong@outlook.com](mailto:HaopengSong@outlook.com)

**Введение**

Интенсивно развивается производство и применение мощных импульсных ускорителей. Которые будут использоваться как в научных, так и в медицинских учреждениях. Есть проблемы, одной из которых является использование органического и жидкого диэлектрика в формирующей линии. Жидкий и органический диэлектрик в формирующей линии возможно заменить на керамический изолятор. Керамика менее восприимчива рентгеновскому излучению, что делает ее лучше органических изоляторов<sup>[1]</sup>. Но такая керамика должна обладать специально заданными параметрами. На сегодняшний день керамика с такими характеристиками в литературе не встречается.

Целью данной работы является: выбор состава керамического изделия, изготовление опытных образцов для дальнейшего определения электрофизических свойств<sup>[2]</sup>.

**Материалы и методы исследования**

В качестве основных материалов для изготовления керамики использовали коммерческие порошки компании ООО НПП «Химметпродукт»: BaTiO<sub>3</sub>. В роли активирующих добавок были такие промышленные порошки SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, имеющие субмикронные размеры.

Таблица 1 – Составы смесей порошков и их теоретическая плотность.

| № | Содержание, мас. %  | Теоретическая плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup> |
|---|---|--|
| 1 | 40% BaTiO <sub>3</sub> – 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 20% ZrO <sub>2</sub> – 20% SiO <sub>2</sub> | 4,18   |
| 2 | 70% BaTiO <sub>3</sub> – 10% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 10% ZrO <sub>2</sub> – 10% SiO <sub>2</sub> | 4,93   |
| 3 | 10% BaTiO <sub>3</sub> – 30% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 30% ZrO <sub>2</sub> – 30% SiO <sub>2</sub> | 3,62   |

Порошки смешивали в энергонапряженной планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL». Порошки обрабатывали в течение 15, 30, 45 минут при частоте вращения барабанов 20 Гц. Мелющими телами являлись диоксидциркониевые шары. Масса шаров составляет 290 грамм с диаметром 6 мм. Весовое соотношение порошка к шару составляет 1:5.

Формирование образцов керамики для дальнейшего спекания проводили по схеме одноосного прессования на гидравлическом прессе в стальной цилиндрической пресс-формы диаметром 23 мм. С целью определения влияния давления прессования на геометрические параметры прессуемых керамик и их плотности образцы прессовали до 2 т/см<sup>2</sup>, 2,5 т/см<sup>2</sup> и 3 т/см<sup>2</sup>. Масса готовых спрессованных образцов керамики составляла 3 грамма. Полученные прессовки представляли собой цилиндры диаметром 23 мм и высотой 5 мм.

Для свободного атмосферного спекания образцов использовали высокотемпературную лабораторную электропечь ТК-27 по режиму. Спекание спрессованных образцов проводили при температурах 1500 °С, выдержка составляла 1 ч., скорость изменения температуры в печи 200 °С/час.

Испытание электрической прочности полученных образцов керамики производились на установке, разработанной в лаборатории. Установка проектировалась с максимально похожими электрическими характеристиками импульсного ускорителя (рисунок 1). Образец помещается в трансформаторное масло. Испытания завершаются в момент пробоя образцов.

**Параметры выходного импульса напряжения испытательной установки:**

- Фронт импульса  $T_1 = 40$  нс
- Длительность импульса на полу высоте – 80 нс
- Частота следования импульсов – 870 Гц;

- Амплитуда напряжения импульсов – 12 кВ.

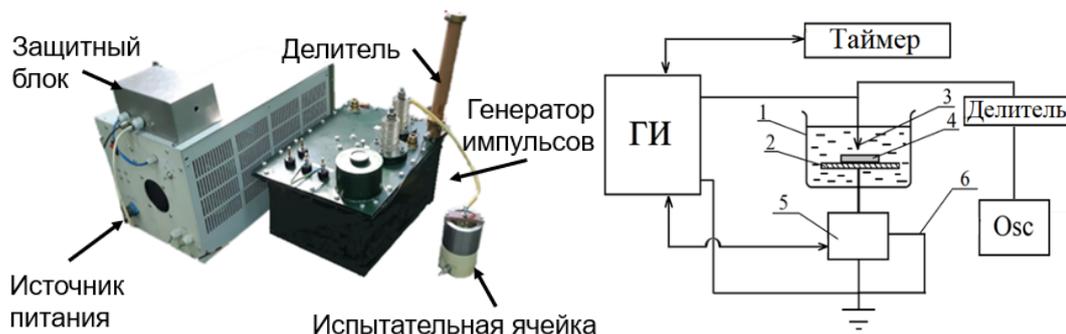


Рисунок 1 – Схема установки для испытаний керамической изоляции (ГИ – генератор; 1 – сосуд с маслом; 2 – плоский электрод; 3 – высоковольтный электрод; 4 – образец; 5 – токовый шунт; 6 – кабель; Osc – осциллограф)

### Результаты эксперимента

По результатам измерений были построены графики, рисунок 2-3, зависимости плотности от давления прессования образцов в зависимости от разного время обработки. Образцы спекались при температуре 1500 °С.

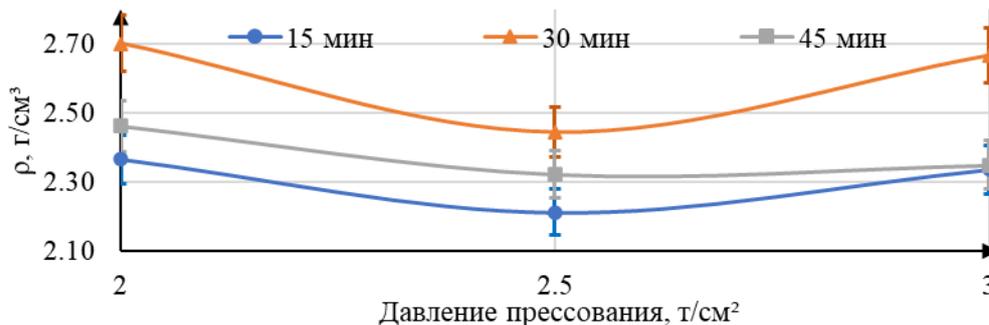


Рисунок 2 – График зависимости плотности образцов от давления прессования. Спекание при 1500 °С для композиции  $\text{BaTiO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-SiO}_2$  с процентным соотношением элементов 10-30-30-30

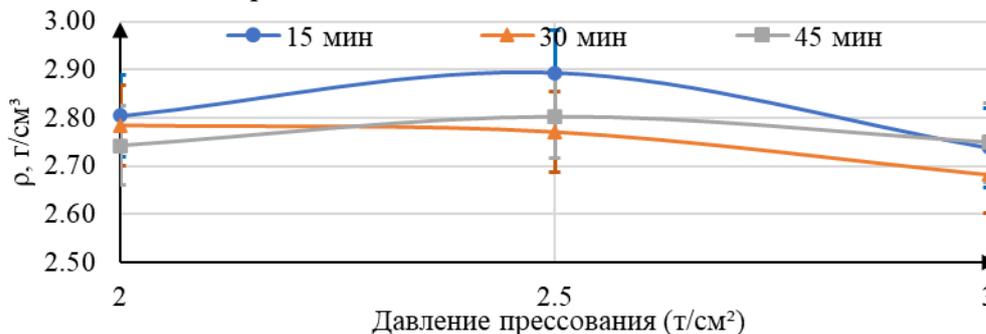


Рисунок 3 – График зависимости плотности образцов от давления прессования. Спекание при 1500 °С для композиции  $\text{BaTiO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-SiO}_2$  с процентным соотношением элементов 40-20-20-20

Из полученных данных для проведения электрофизических испытаний были выбраны образцы, показавшие максимальную плотность при спекании.  $\text{BaTiO}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-SiO}_2$  с процентным соотношением элементов 40-20-20-20 и временем обработки 15, 30, 45 мин.

Таблица 2 – Ресурс керамических образцов

| Состав   | Процентное соотношение | Температура | Время обработки | Время t,с | Кол-во импульсов n |
|--|------------------------|-------------|-----------------|-----------|--------------------|
| BaTiO <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> | 40-20-20-20            | 1500        | 15              | 11500     | >1·10 <sup>7</sup> |
|  |                        |             | 30              | 11500     | >1·10 <sup>7</sup> |
|  |                        |             | 45              | 11500     | >1·10 <sup>7</sup> |

### Выводы

В работе разработан состав керамического материала на основе титаната бария с легирующими добавками оксида алюминия, циркония и кремния (BaTiO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> 40 %-20%-20%-20%)

Разработан технологический процесс получения данного керамического материала, включающий: смешивание исходных порошков в активаторе в течение от 15 до 45 минут, прессование при давлении от 2 до 3 т/см<sup>2</sup>, спекание при температуре 1500 °С в течение 1 часа.

Составы BaTiO<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> выдержал максимальное значение требуемых импульсов 1·10<sup>7</sup> в течение 3-х часов и в итоге не наблюдался электрический пробой.

Данный технологический процесс позволил получить керамический материал с электрофизическими свойствами, позволяющими использовать данный материал в качестве изолятора в импульсной ускорительной технике.

### Список литературы

1. Дмитренко В.П., Мануйлова Н.Б. Материаловедение в машиностроении: Учебное пособие. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 432 с.
2. Wang X, Zhang Y, Song X, et al. Glass additive in barium titanate ceramics and its influence on electrical breakdown strength in relation with energy storage properties // Journal of the European Ceramic Society, 2012, 32(3): 559-567.