

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ
ИМПЛАНТАТОВ В СИСТЕМЕ $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$**

Целью работы является разработка составов керамических масс и технологических параметров получения пористых кальций-фосфатных материалов с использованием 3D-печати.

В связи с тем, что свойства пористого керамического материала зависят от степени спекания твердой матрицы (перегородок между порами) и характера пористости, в настоящем исследовании для активизации процесса спекания использовались добавки боя кварцевого стекла (ГОСТ 15130) и стеклогранулята биоактивного стекла 45S5. Указанные добавки вводились в количестве 2,5–10,0 мас. % сверх 100%

Сырьевыми компонентами для варки биоактивного стекла служили дигидроортофосфат кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (чда, ГОСТ 10091); оксид кальция CaO (чда, ГОСТ 8677); карбонат натрия Na_2CO_3 (хч, ГОСТ 83) и диоксид кремния нанодисперсный аморфный (ГОСТ 14922). Стекло синтезировалось в газовой печи периодического действия в корундовом тигле емкостью 0,5 л с выдержкой при температуре 1450 °С в течение 1 ч. Скорость нагрева шихты при варке составляла 250 °С/ч, точность измерения температуры оптическим пирометром – ±10 °С. При достижении однородности стекломассы тигли извлекали из печи, стекломассу вырабатывали в воду с целью грануляции.

Экспериментальные образцы готовились следующим образом. Смеси гидроксиапатита, полученного методом жидкофазного синтеза, и добавок подвергались совместному мокрому помолу в лабораторной шаровой мельнице BML-2 (DAIHAN) в течение 30–60 мин для гомогенизации. Влажность приготовленных керамических масс составляла 45,0 мас. %. Изделия формовались методом экструзии на 3D-принтере. Сформованные образцы подвергались сушке в сушильном шкафу SNOL 58/350 при температуре 60±5 °С, а затем обжигу в электрической лабораторной печи SNOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 500–1200 °С. Скорость набора температуры составляла 2–4 °С/мин. Выдержка при максимальной температуре – 60 мин.

Обожженные образцы характеризовались равномерной окраской белого цвета. Текстура на изломе пористая. Физико-химические свойства определялись в соответствии с ГОСТ 30534, ГОСТ 2409, ГОСТ Р 57606 (таблица).

Таблица – Технологические и физико-химические свойства керамики полученной в температурном интервале обжига 500–1200 °С

Применяемая добавка	Значение показателя				
	водопоглощение, %	открытая пористость, %	кажущаяся плотность, кг/м ³	механическая прочность при сжатии, МПа	общая усадка, %
Без добавок	10,0–49,6	23,8–59,7	1200–2380	4,1–41,8	10,5–27,8
Бой кварцевого стекла	25,0–51,6	43,4–60,7	1142–1745	1,5–22,0	10,8–23,8
Биоактивное стекло	29,6–48,6	49,3–59,7	1228–1666	0,6–15,0	11,9–22,1

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в температурном интервале обжига 500–900 °С показатели водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности имеют постоянные значения, следовательно, спекание керамики на основе гидроксиапатита начинается при температурах 900–1000 °С (рисунок).

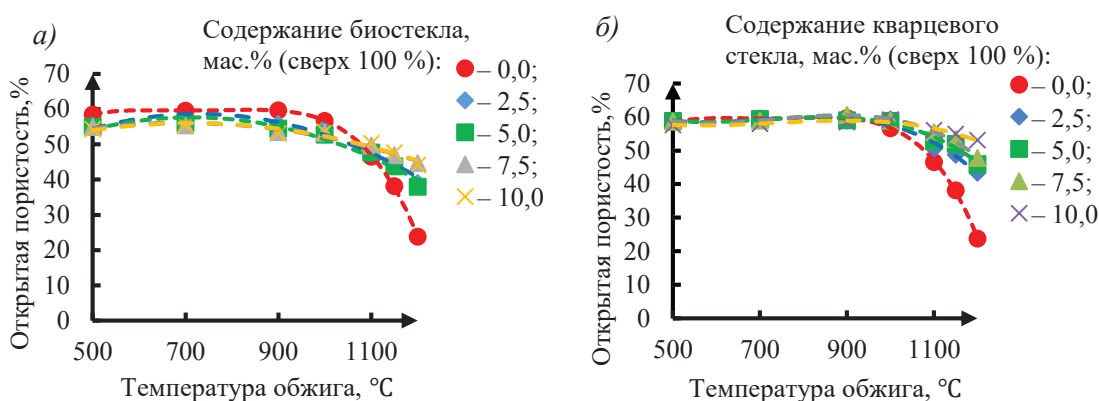


Рисунок – Зависимость открытой пористости образцов, полученных с добавками стеклогранулята биоактивного стекла (а) и боя кварцевого стекла (б), от температуры обжига

Основной кристаллической фазой синтезированной керамики является гидроксиапатит, в материале, термообработанном при 1100–1200 °С, диагностируется также трехкальциевый фосфат. Необходимая макропористость полученного материала обеспечивается за счет моделирования и 3D-печати. Пористость в микроскопическом масштабе формируется в процессе термообработки благодаря применению добавок биоактивного и кварцевого стекол, а также подобранным технологическим режимам получения материалов. Синтезированная керамика является биологически активной, на ее поверхности наблюдается формирование фосфатов кальция через 7 сут выдерживания в SBF-растворе.