

4. Федосенко И. Г., Чесновский Е. В., Мазаник Н. В. Разработка неразрушающего метода оценки состояния древесины конструкций исторических памятников // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2017. № 2. С. 273–278.

5. Федосенко И. Г., Чесновский Е. В. Применение эхо-метода для прогнозирования качественных характеристик древесины основных строительных пород // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесная и деревообрабатывающая промышленность, 2019. № 2. С. 238–241.

УДК 646.31:666.3

**А.Н. Шиманская, А.Д. Подсосонная, Д.А. Байгазин**  
Белорусский государственный технологический университет

### **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ**

Как известно, в настоящее время при производстве технической керамики существуют проблемы, связанные с отсутствием универсальных методов получения сложнопрофильных изделий. Традиционными способами сформовать подобных изделия проблематично. Использование литья для получения керамических биоматериалов позволяет получать имплантаты индивидуально для каждого пациента, а также существенно сократить сроки их изготовления.

В связи с этим целью настоящего исследования является разработка технологических параметров получения керамических материалов медицинского назначения на основе гидроксиапатита (ГА) методом литья. Как известно, именно кальций фосфатная керамика является предпочтительной в решении большинства задач восстановительной медицины, где требуется надежная биоинтеграция имплантата в биологическую кость [1]. В качестве связующих для литья использовались растворы полисахаридов – желатина и агар-агара, находящие широкое применение в технологических процессах во многих отраслях промышленности. Данные биополимеры желатинизируются при охлаждении, обеспечивая мгновенное затвердевание изделий, возможность получения как плотных, так и пористых изделий сложной формы, обладающих однородной микроструктурой [2, 3].

Для синтеза ГА применялся жидкофазный метод, описанный авторами [4]. Исследования гранулометрического состава синтезированного

ГА на лазерном измерителе ANALYSETTE 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Германия) показали наличие частиц размером от 0,25–35 мкм, преобладающая фракция – 10–20 мкм.

На первом этапе исследования шликер для литья изделий готовился следующим образом: в дистиллированной воде, нагретой до 60 С, растворялся желатин. Затем к раствору добавлялось необходимое количество гидроксиапатита при тщательном перемешивании. Соотношение ГА : желатин составляло 1 : 1; 1,5 : 1; 2 : 1; 2,5 : 1 и 3 : 1. После достижения однородности изучалась текучесть полученной суспензии с помощью вискозиметра Энглера (таблица 1).

**Таблица 1 – Текучесть приготовленных шликеров**

Соотношение ГА : желатин	1 : 1	1,5 : 1	2 : 1	2,5 : 1	3 : 1
Среднее время истечения, с	8,8	10,3	10,7	11,1	15,0

Шликеры с различными соотношениями ГА : желатин заливались в пластмассовые формы и замораживались, затем образцы извлекались, сушились в естественных условиях и обжигались при температурах 1150 и 1200 °С.

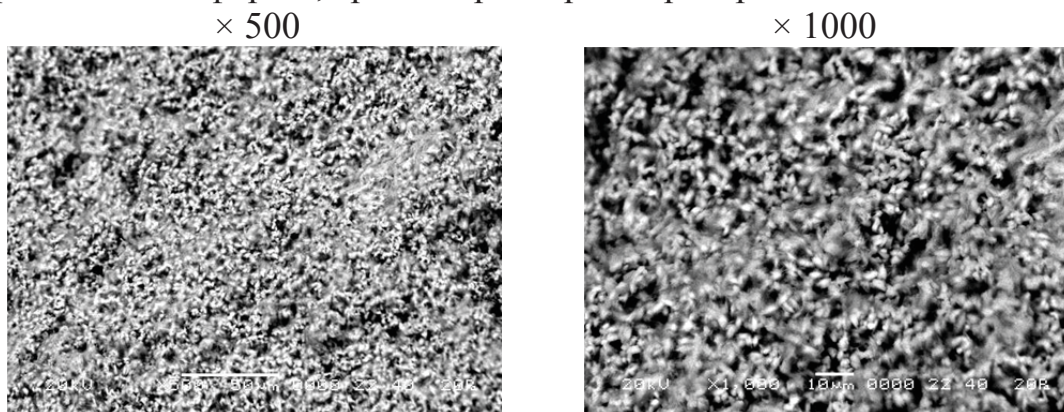
Полученные материалы характеризовались равномерной окраской белого цвета. Текстура образцов на изломе пористая, хорошо спеченная. Определение физико-химических свойств и общей усадки изделий проводилось в соответствии с требованиями ГОСТ 40711–94, ГОСТ 2409–2014 и ГОСТ 30534–97, их значения приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Общая усадка и физико-химические свойства ГА-керамики**

Соотношение ГА: желатин	Температура обжига, °С	Общая усадка, %	Водопоглощение, %	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	Механическая прочность при сжатии, МПа
1 : 1	1150	55,62	48,82	1198,98	58,82	2,9
	1200	54,44	45,21	1189,92	53,85	3,3
1,5 : 1	1150	42,11	43,33	1301,74	56,52	1,0
	1200	43,49	43,45	1490,88	51,47	2,0
2 : 1	1150	37,87	41,86	1300,42	54,55	1,0
	1200	39,05	40,45	1311,10	53,14	2,1
2,5 : 1	1150	36,09	40,78	1397,20	54,29	1,5
	1200	36,39	40,51	1312,97	53,31	3,1
3 : 1	1150	31,95	42,86	1270,18	54,55	2,9
	1200	32,84	42,48	1217,78	53,79	3,3

Следует отметить, что показатели физико-химических свойств полученных изделий не зависят от соотношения ГА : желатин, что объясняется процессом синерезиса. Синерезис – самопроизвольное уменьшение объема гелей, сопровождающееся отделением жидкости. Синерезис происходит в результате уплотнения пространственной структурной сетки, образованной в гелях частицами дисперсной фазы. Структурированная система при синерезисе переходит в термодинамически более устойчивое состояние [5].

С помощью электронной микроскопии (JSM-5610 LV с системой EDX JED-2201 JEOL, Япония) установлено, что материал, полученный при соотношении ГА : желатин – 3 : 1 и обожженный при температуре 1200 °С, характеризуется присутствием значительного количества пор различной конфигурации, размер которых составляет от 2 до 13 мкм (рисунок 1). Кристаллическая фаза представлена зернами произвольной формы, средний размер которых равен 2–5 мкм.



**Рис. 1 – Электронно-микроскопические снимки биоматериала с соотношением ГА : желатин – 3 : 1 (Т<sub>обж</sub> –1200 °С)**

На втором этапе исследования в качестве связующей добавки для литья изделий использовался агар-агар. Получение образцов ГА-керамики проводилось аналогичным способом. Соотношение ГА: агар-агар в приготовленных суспензиях составляло 5,7 : 1; 8,6 : 1; 11,4 : 1; 14,3 : 1 и 17,1 : 1. Значения текучести полученных суспензий приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Текучесть шликера, приготовленного с использованием агар-агара**

Соотношение ГА: агар-агар	5,7 : 1	8,6 : 1	11,4 : 1	14,3 : 1	17,1 : 1
Текучесть, с	3,5	3,8	4,2	5,8	26,0

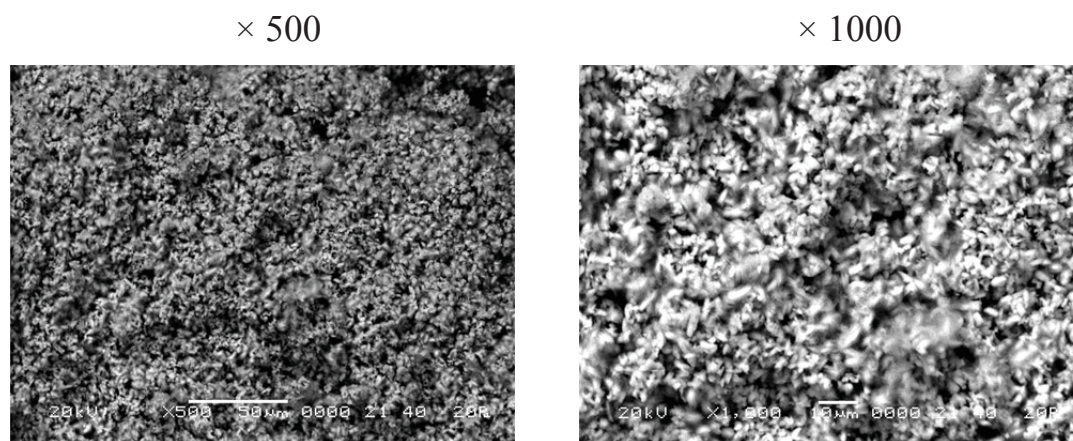
Пористой, хорошо спеченной структурой обладают только образцы, синтезированные из суспензии с соотношением ГА : агар-агар –

17,1 : 1. Остальные изделия рассыпались при соприкосновении, ввиду малой механической прочности. Результаты определения физико-химических свойств данного образца приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Общая усадка и физико-химические свойства ГА-керамики (соотношение ГА : агар-агар – 17,1 : 1)**

Температура обжига, °С	Общая усадка, %	Водопоглощение, %	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	Механическая прочность при сжатии, МПа
1100	27,53	75,95	882,83	67,01	0,73
1150	29,99	53,73	1116,65	59,98	1,02
1200	31,04	54,72	1065,46	58,28	2,97

Синтезированный материал обладает высокопористой структурой. Размер пор образца находится в пределах от 3 до 150 мкм (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Электронно-микроскопические снимки биоматериала с соотношением ГА : агар-агар – 17,1 : 1 (Т<sub>обж</sub> – 1200 °С)**

Как видно из таблиц 2 и 4, образцы ГА-керамики, полученные с помощью литья с использованием агар-агара в качестве связующего, характеризуются меньшими показателями общей усадки, большей пористостью, водопоглощением по сравнению с изделиями, отлитыми из суспензий, содержащих желатин. По нашему мнению, это объясняется менее выраженным эффектом синерезиса в образцах, содержащих агар-агар.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность использования растворов полисахаридов для литья ГА-керамики сложной геометрической формы.

#### **Список использованных источников**

1. Hench, L. L. Bioceramics / L.L. Hench //Journal of the American Ceramic Society. – 1998. – Vol. 81, iss. 7. – P. 1705–1728.

2. Скрипова, П. Н. Гелевое литье керамических материалов / П. Н. Скрипова, Л. Д. Сиротенко // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – № 1. – С. 117–119.

3. Huang, Y. Study of gel-tape-casting process of ceramic materials / Y. Huang, J. Xing, Z. Xie // Materials science & engineering. – 2002. – Vol. 323, iss. 1–2. – P. 336–341.

4. Синтез гидроксиапатита для биоактивных материалов / Н. Е. Торопков [и др.] // Новые технологии создания и применения биокерамики в восстановительной медицине: материалы IV Международной научно-практической конференции, 13–15 октября 2016 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 130–134.

5. Колмаков, К. М. Химия поверхностных явлений (коллоидная химия): учеб.-метод. пособие / К. М. Колмаков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. – 322 с.

УДК 678678.675

**С.И. Вольфсон, И.З. Файзуллин, Т.В. Щербакова,  
З.М. Бадретдинов, Д.Р. Хафизова**

Казанский национальный исследовательский  
технологический университет

### **РАЗРАБОТКА СТЕКЛОПОЛНЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КАРБОЦЕПНЫХ КАУЧУКОВ**

Одной из главных задач развития полимерных композиционных материалов является улучшение их характеристик. При этом необходимо добиться максимальной производительности, снижения энергозатрат и себестоимости продукции. Для этих целей могут использоваться различные методы, например, добавление в состав специальных наполнителей.

Современное машиностроение широко использует различные эластомерные композиции, в основном это резины, работающие в широком интервале скоростей скольжения, температур и давлений. Для использования резин в антифрикционных целях наиболее важна их высокая износостойкость, характеризующаяся низкой истираемостью и коэффициентом трения.

В этой связи, целью работы явилось исследование влияния полых стеклосфер в составе композиционного материала на основе карбоцепных