

горячим прессованием порошковых смесей при температуре 1900 °С давлением 50 МПа в течение 20 минут в атмосфере аргона. Рентгенофазовые исследования проводились на дифрактометре с $\text{CuK}\alpha$ излучением. Микроструктура керамических образцов исследовалась на растровом электронном микроскопе Vega Tescan. Твёрдость композитов определялась на полированной поверхности наноиндентированием пирамиды Берковича с нагрузкой 50 г в течение 10 секунд на приборе NanoIndenter G 200 (H_{IT}). Модуль Юнга (E_{IT}) определялся по диаграмме внедрения пирамиды Берковича на поверхность материалов в соответствии со стандартом ISO 14577. Вязкость разрушения керамических материалов осуществлялась по методу SEVNB (Singleedge V-notch beam).

Рентгеновский анализ показал, что полученная многокомпонентная керамика имела ГЦК структуру по типу каменной соли NaCl. Введение МУНТ и h-BN в керамическую матрицу не оказало влияние на формирование твердых растворов. При добавлении МУНТ средний размер зерен многокомпонентной керамики (Hf,Zr,Ti,Nb)C остаётся постоянным в пределах ошибки и составляет ~ 2 мкм. Повышение массового содержания h-BN в керамике (Hf,Zr,Ti,Nb)C привело к монотонному уменьшению размера зерен.

В случае с керамическими материалами (Hf,Zr,Ti,Nb)C при введении МУНТ увеличение вязкости не замечено, что может быть связано с неравномерным распределением углеродных нанотрубок в керамической матрице. Добавление гексагонального нитрида бора до 5 мас.% в керамику (Hf,Zr,Ti,Nb)C способствует увеличению вязкости разрушения. Наибольшее значение коэффициента трещиностойкости $K_{Ic} = 3,93 \pm 0,1$ МПа·м^{1/2} наблюдается у керамики с содержанием до 1 мас.% h-BN. Таким образом, повышение трещиностойкости керамики (Hf,Zr,Ti,Nb)C при введении до 1 мас.% h-BN составило более 20%.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, номер проекта FWRW-2021-0009

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОПОРОШКОВ ПОЛИКАПРОЛАКТОН/ГИДРОКСИАПТИТ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ ОСТЕОИМПЛАНТАТОВ

В.А. ЮРМАНОВ, Г.Е. ДУБИНЕНКО, С.И. ТВЕРДОХЛЕБОВ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Лаборатория плазменных гибридных систем

E-mail: yay11@tpu.ru

Функциональные биорезорбируемые полимерные частицы, наполненные биоактивными органическими и неорганическими наполнителями, являются объектом большого интереса для применения в медицине [1]. Нано- и микро размерные полимерные частицы рассматриваются как носители для адресной доставки лекарств, филлеры для заполнения тканевых дефектов, порошки для лазерно-лучевой и электронно-лучевой 3D печати объемных тканеинженерных скаффолдов сложной формы [2–4]. Существующие методы микроинкапсулирования в эмульсиях типа W/O, O/W, W/O/W, O/W/O и др. позволяют получать наполненные полимерные частицы размерностью до десятков нанометров [5,6]. Однако, такие методы, как правило, реализуются с использованием растворов полимеров низких концентраций до 1-10 г/л в качестве масляной фазы, что в значительной мере ограничивает объем получаемых частиц. В представленной работе предложен метод инкапсулирования гидроксиапатита (ГАП) в биорезорбируемый полимер поликапролактон (ПКЛ) путем переосаждения частиц из раствора в ацетоне. Предложенный метод, основанный на плохой растворимости поликапролактона в ацетоне при низких температурах, позволил получить композиционные порошки наполненного

гидроксиапатитом (10 масс.%) поликапролактона (ПКЛ90) из раствора с концентрацией полимера 5 масс.%. В работе было исследовано влияние поверхностно-активных веществ (ПАВ) полисорбата 20 (ПС20) и стеариновой кислоты (СА) как стабилизаторов суспензии частиц, а также стабилизатора роста частиц поливинилового спирта (ПВС) на гранулометрический состав полученных порошков. Было показано, что стабилизаторы позволяют снизить агломерацию порошков и в значительной мере увеличить содержание фракции микрочастиц размерностью менее 1100 мкм и менее 450 мкм.

Гранулометрический состав полученных порошков оценивали методом рассеивания сухих порошков на ситах. Было отмечено, что при переосаждении композиционного порошка без использования ПАВ формируется большое количество агломератов размерностью более 1100 мкм (рисунок 1). Стабилизация суспензии переосаждаемых порошков позволяет сократить содержание крупных агломератов до 6,2 % при дополнительной стабилизации роста частиц раствором ПВС.

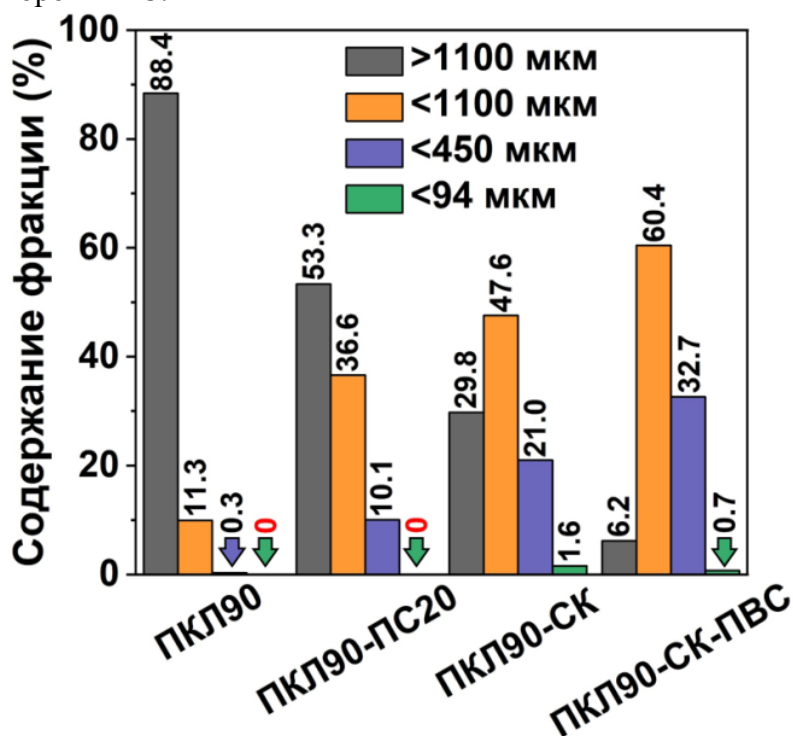


Рисунок 1 – Гистограмма фракционного состава рассеянных на ситах порошков

На изображениях, полученных методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), можно отметить, что частицы всех групп имеют неправильную продолговатую форму (рисунок 2). При этом частицы обладают развитой «губчатой» поверхностью с большим количеством пор.

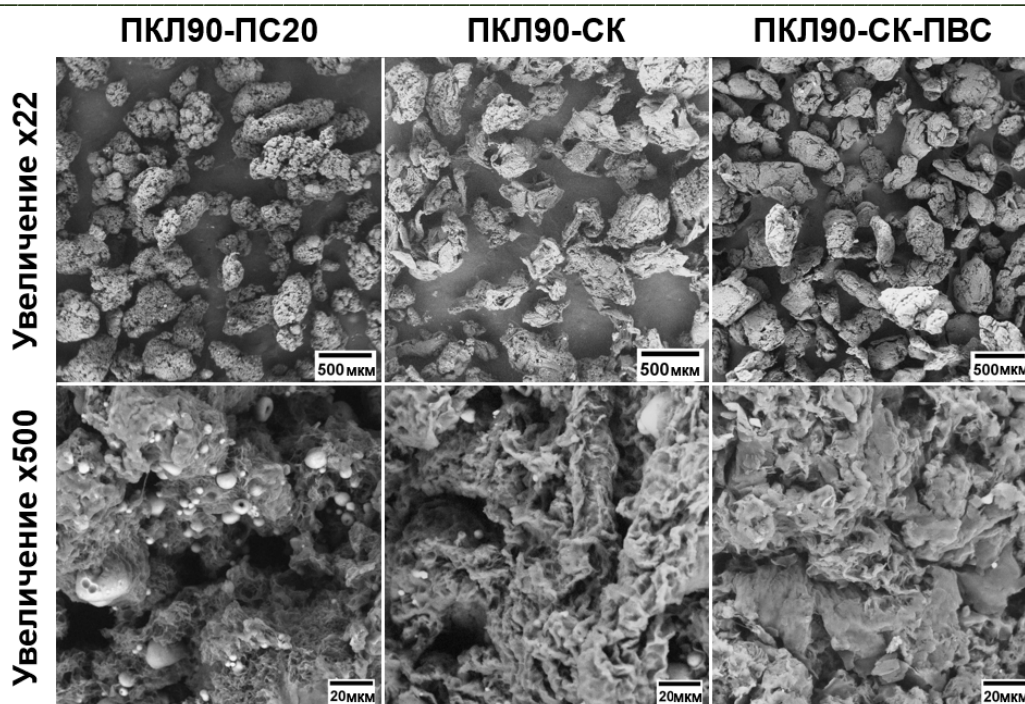


Рисунок 2 – СЭМ изображения поверхности порошков фракции <450 мкм

Эффективность инкапсулирования частиц ГАП была оценена методом термогравиметрического анализа. Можно отметить, что при использовании в качестве стабилизатора стеариновой кислоты количество инкапсулированного ГАП уменьшается до 5,7 масс.% (рисунок 3). Наилучшей инкапсулирующей способностью обладал порошок, стабилизированный полисорбатом.

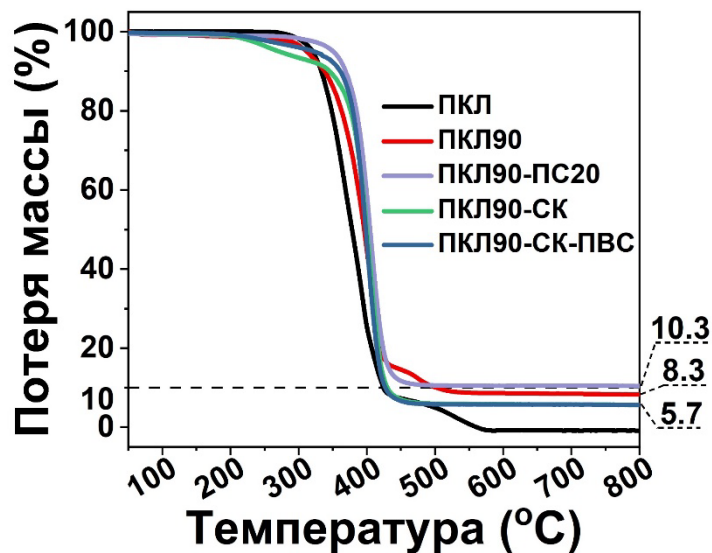


Рисунок 3 – График потери массы образцов порошков по результатам термогравиметрического анализа

В дальнейшей работе планируется оптимизация метода получения микропорошков ПКЛ/ГАП с целью повышения массовой доли выхода наиболее пригодной для лазерно-лучевой 3D печати фракции размером менее 100 мкм.

Работа выполнена при поддержке программы развития ТПУ «Приоритет-2030» (проект № «Приоритет-2030-НИИ/ИЗ-011-0000-2022»).

Список литературы

1. Jo Y.K., Lee D. Biopolymer Microparticles Prepared by Microfluidics for Biomedical Applications // Small. Wiley-VCH Verlag, 2020. Vol. 16, № 9.
2. Neto M.D., Oliveira M.B., Mano J.F. Microparticles in Contact with Cells: From Carriers to Multifunctional Tissue Modulators // Trends Biotechnol. Elsevier Current Trends, 2019. Vol. 37, № 9. P. 1011–1028.
3. DiNoro J.N. et al. Laser Sintering Approaches for Bone Tissue Engineering // Polymers 2022, Vol. 14, Page 2336. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Vol. 14, № 12. P. 2336.
4. Gu X. et al. Integrated polycaprolactone microsphere-based scaffolds with biomimetic hierarchy and tunable vascularization for osteochondral repair // Acta Biomater. Elsevier, 2022. Vol. 141. P. 190–197.
5. Choudhury N., Meghwal M., Das K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods // Food Front. John Wiley & Sons, Ltd, 2021. Vol. 2, № 4. P. 426–442.
6. Pohlmann A.R. et al. Poly(ϵ -caprolactone) microcapsules and nanocapsules in drug delivery // Expert Opin Drug Deliv. Expert Opin Drug Deliv, 2013. Vol. 10, № 5. P. 623–638.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ СИСТЕМ $ZrO_2(Me_xO_y)$ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕКАНИЯ

¹ЯН СЯО, ²БУРЛАЧЕНКО А. Г., ^{1,2}БУЯКОВА С.П.

¹Томский политехнический университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: royyang330@outlook.com

Пористая функциональная керамика – это тип керамических материалов, который формируется и затем обжигается при высоких температурах и имеет в своей структуре большое количество взаимосвязанных или изолированных пор. Данная разновидность керамики обладает такими преимуществами, как высокая химическая стабильность, термостойкость, коррозионная стойкость и прочность, но она также отличается низкой насыпной плотностью, большой удельной площадью поверхности, что позволяет широко использовать ее в области защиты окружающей среды, химической, медицинской, металлургической и электронной промышленности.

Микроструктура пористой керамики включает размер пор, распределение пор и их связность, и микроструктура играет решающую роль в их применении.

Целью настоящей работы является изучение уплотнения керамических материалов на основе высокодисперсных порошков системы $ZrO_2(Me_xO_y)$ при различных изотермических выдержках.

Для получения пористых керамических материалов в работе использовались порошки на основе ZrO_2 состава: $ZrO_2+8.6$ мольн. % MgO и ZrO_2+3 мольн. % Y_2O_3 . Порошки диоксида циркония $ZrO_2(Y_2O_3)$ получены разложением солевых растворов в плазме высокочастотного разряда. Порошки диоксида циркония $ZrO_2(MgO)$ и $ZrO_2(Y_2O_3)$ получены методом химического осаждения.

Для порошка диоксида циркония $ZrO_2(Y_2O_3)$, полученного методом химического осаждения (рисунок 1а), согласно распределению частиц порошка по размеру, средний размер агломератов равнялся 12 мкм, средний размер составляющих агломераты частиц был равен 0.2 мкм. Для порошка диоксида циркония $ZrO_2(Y_2O_3)$, полученного плазмохимическим