ма и прорастание сосудов [3, 4]. Ограничением метода является высокое требование к размеру порошка порядка 100 мкм, напрямую влияющее на качество получаемых имплантатов. Из существующих методов получения мелкодисперсных порошков можно выделить наноосаждение и механическое измельчение. Методы наноосаждения предполагают использование эмульсий типа В/М, М/В, М/В/М, В/М/В, позволяющих получить частицы размером до десяти нанометров [5, 6]. К недостаткам данных методов являться использование полимеров низкой концентрации, что не позволяет получить большие объемы частиц. Механическое измельчение композита не позволяет получать частицы с правильными формами, что ведет к ухудшению качества имплантатов после спекания, также данный метод требует использования дорогостоющего криогенного оборудования, поскольку при измельчении наблюдается слипание порошка.

В представленной работе предложен метод получения мелкодисперного композита поликапаролактон/гидроксиапатит, основанный на снижении растворимости поликапролактона в растворителях при понижении температуры с использованием различных поверхностно-активных веществ для избежания агломерации порошка при выпадении.

Работа поддержана Минобрнауки, проект FSWW-2023-0007.

Список литературы

1. *Yang Y., Wu H., Fu Q., Xie X., Song Y., Xu M., Li J. 3D-printed polycaprolactone-chitosan based drug delivery implants for personalized administration // Materials and Design. – 2022, 214. – https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110394.*
2. *Dorozhkin S.V. Functionalized calcium orthophosphates (CaPO4) and their biomedical applications // Journal of Materials Chemistry B. – 2019. – 7 (47). – 7471–7489. – https://doi.org/10.1039/c9tb01976f.*
3. *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.*
4. *DiNoro J.N. et al. Laser Sintering Approaches for Bone Tissue Engineering // Polymers. – 2022. – Vol. 14. – № 12. – P. 2336.*
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.*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНА

В. Р. Букал, А. Д. Бадараев, Туан Хоанг Тран, Фруэ Йоханнес Кристоф, С. И. Твердохлебов, Свен Рутковский

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент С. И. Твердохлебов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

vrb2@tpu.ru

Введение. В последние годы биосовместимые покрытия на основе полимеров природного происхождения для медицинских изделий стали объектом широкого изучения, так как они позволяют проводить функционализацию поверхности, не ухудшая их механические свойства. Помимо этого, в полимеры можно загружать антибиотики, что позволяет придавать покрытиям пролонгированные антибактериальные свойства. По этой причине разработка технологий формирования таких покрытий является актуальной.

Теоретическая часть. Технология электрораспыления полимерных растворов позволяет

наносить покрытия с большей скоростью в сравнении с существующими аналогами и может применяться при производстве различных медицинских изделий [1].

Экспериментальная часть. Часть образцов титана ВТ1-0 размером 0,5×0,5 см и 7×10 см подвергалась пескоструйной обработке (ПО) с использованием карбида кремния (размер зерна 109 мкм) в дробеструйной камере (ТСС ПК-100, ТСС ЮФО, Пятигорск, Россия). Ацетат целлюлозы (АЦ) растворялся в смеси диметилформамида и ацетона с массовым соотношением 2 : 1. Было приготовлено 6 растворов с 6, 8, 10, 12, 14 и 16 масс. % АЦ. Формирование покрытий проводилось на установке для электроспиннинга (NANON01-A, MECC Co, Фукуока, Япония). При формировании покрытий были использованы следующие технологические параметры: напряжение – 21 кВ, скорость подачи раствора – 5 мл/час, размер иглы – 15G, скорость спиннереты – 30 мм/с, ширина хода спиннереты – 120 мм, расстояние игла-плоский коллектор – 150 мм. Покрытия исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (Quanta 200 3D, FEI, Хилсборо, США) при увеличениях ×50, ×200, ×1000 и методом атомной силовой микроскопии (NTEGRA PRIMA, NT-MDT, Зеленоград, Россия) на области 40×40 мкм. Тесты на отрыв проводились с помощью адгезиметра (Константа-АЦ, Константа, Санкт-Петербург, Россия) для установления влияния ПО на величину показателя адгезии покрытия.

Результаты. СЭМ изображения показывают, что сформированные электрораспылением АЦ покрытия имеют пористую структуру, их толщина составляет 10–20 мкм. После дробеструйной обработки шероховатость R_a для титана составила 1,51 ± 0,27 мкм, а после нанесения на образцы покрытия – 1,21 ± 0,23, 1,34 ± 0,03, 1,23 ± 0,11, 1,41 ± 0,21, 1,04 ± 0,21 и 2,05 ± 0,07 для растворов 6, 8, 10, 12, 14 и 16 масс. %. Шероховатость дробеструенной поверхности образцов после нанесения АЦ покрытий меняется незначительно. Результаты адгезионных испытаний АЦ покрытий, нанесенных на титан, приведены в табл. 1

Заключение. Предложено формировать покрытия из ацетата целлюлозы методом электрораспыления, обеспечивающим сохранение параметров шероховатости поверхности подложки. Пескоструйная обработка повышает адгезионные свойства покрытий из ацетата целлюлозы к титану.

Благодарности. Работа поддержана Минобрнауки, проект FSWW-2023-0007.

Таблица 1. Адгезионная прочность АЦ покрытий на титане

	$\sigma_{адг\,6\%}$, МПа	$\sigma_{адг\,8\%}$, МПа	$\sigma_{адг\,10\%}$, МПа	$\sigma_{адг\,12\%}$, МПа	$\sigma_{адг\,14\%}$, МПа	$\sigma_{адг\,16\%}$, МПа
Без ПО	1,12 ± 0,49	1,18 ± 0,98	0,42 ± 0,50	0,12 ± 0,04	0,90 ± 0,18	0,26 ± 0,07
С ПО	0,76 ± 0,50	1,20 ± 0,47	1,00 ± 0,00	1,38 ± 0,63	0,74 ± 0,65	1,04 ± 0,71

Список литературы

1. *Jaworek A., Sobczyk A.T., Krupa A. Electrospray application to powder production and surface coating // Journal of Aerosol Science. – 2018. – V. 125. – P. 57–92.*