

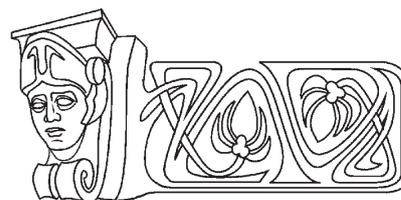


УДК 677.4; 617-089.844

КОМПОЗИТНЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ВКЛЮЧЕНИЕМ МИКРОЧАСТИЦ ДЛЯ НУЖД РЕГЕНЕРАТИВНОЙ МЕДИЦИНЫ

А. Н. Северюхина, Ю. И. Свенская, Д. А. Горин

Саратовский государственный университет
E-mail: severyuhina_alexandra@mail.ru



Тканеинженерные конструкции и композитные нетканые материалы с медицинскими добавками и биологически активными веществами широко применяются в современной регенеративной медицине. Проблема заключается в том, что большинство используемых медикаментов цитотоксичны. В связи с этим встает вопрос точной доставки лекарств к пораженным участкам. Для решения этой задачи предложен полимерный нановолокнистый материал, полученный методом электроформования, с включением микроструктур ядро–оболочка. Такой материал позволяет обеспечить контролируемый выход инкапсулируемого вещества одновременно с возможностью роста клеток на его поверхности. **Ключевые слова:** структуры ядро–оболочка, нетканые материалы, метод электроформования.

Composite Nonwoven Materials with Microparticles for Regenerative Surgery

A. N. Severyukhina, Yu. I. Svenskaya, D. A. Gorin

Composite nonwoven materials with different medical supplements are widely used for regenerative surgery. Majority of these medicines are cytotoxic, therefore precise drug delivery is necessary to decrease toxic effects. We propose novel polymer nanofibrous material impregnated by core–shell microstructures that can provide targeted and controllable release of encapsulated drugs. This biodegradable scaffold system was fabricated using mixing of calcium carbonate microparticles with chitosan solutions followed by electrospinning method.

Key words: core–shell structures, nonwoven materials, electrospinning.

Введение

В последнее время все больший интерес вызывают такие объекты, как нановолокна. Благодаря малым размерам волокон материалы на их основе характеризуются целым рядом уникальных свойств [1]. Одновременно с уменьшением диаметра волокна механические свойства материалов, в том числе модули упругости, пределы прочности на разрыв, изгиб и сжатие, возрастают и достигают теоретического предела при достижении наноразмерного уровня. Среди востребованных свойств материалов из нановолокон наиболее важными являются: сверхэффективные фильтрующие и антибактериальные свойства, достигаемые за счет субмикронного размера пор в материале, высокая воздухо- и паропроницаемость благодаря высокой

пористости (свыше 95%), а также биосовместимость и биodeградируемость при использовании биополимеров в качестве сырья, что особенно важно для материалов медицинского назначения.

Методы и материалы

Существует большое количество методик создания полимерных нановолокон: механическое вытягивание [2], темплатный метод [3, 4], метод фазового разделения [5], самоорганизации [6] и т.д. Однако наиболее эффективной технологией получения таких волокон является метод электроформования [7].

Электроформование волокон (электропрядение, электроспиннинг) – это процесс производства микро- и нановолокон произвольной длины из полимерных растворов и расплавов под действием электрического поля [8, 9].

Для осуществления процесса электроформования необходимы три базовых компонента: источник высокого напряжения, капиллярная трубка и коллектор с высокой электрической проводимостью [1, 10]. На рис. 1 изображена типичная для процесса электроформования схема установки. Постоянный электрический ток напряжением 10–100 кВ прикладывается к раствору или расплаву полимера, который при помощи дозатора подается через капилляр. В результате кулоновского электростатического взаимодействия происходит вытягивание раствора полимера в тонкую струю. Полученные струи отвердевают за счет испарения растворителя или в результате охлаждения, превращаясь в волокна, и под действием электростатических сил дрейфуют к заземленной подложке, имеющей противоположное значение электрического потенциала.

Результаты

В данной работе с помощью метода электроформования было получено два вида образцов наноструктурированного нетканого материала: на основе поливинилового спирта (ПВС, с молекулярной массой 130 кДа) и хитозана (с

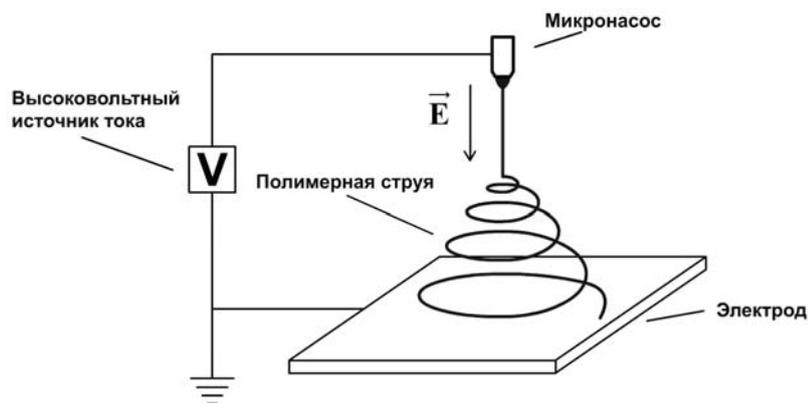


Рис. 1. Схема опыта по электроформованию

молекулярной массой 38 кДа) с включением ядер карбоната кальция диаметром 1.2–1.6 мкм. Микрочастицы карбоната кальция, использованные в качестве ядер, были изготовлены методом кристаллизации из растворов солей карбоната натрия и хлорида кальция, после чего на них методом последовательной адсорбции противо-

положно заряженных полиэлектролитов формировались оболочки [11,12].

Структура полученных образцов была охарактеризована с помощью сканирующей электронной микроскопии (рис. 2). Материал характеризуется средним диаметром волокон 500 нм и наличием ядер, встроенных в волокнистую сетку.

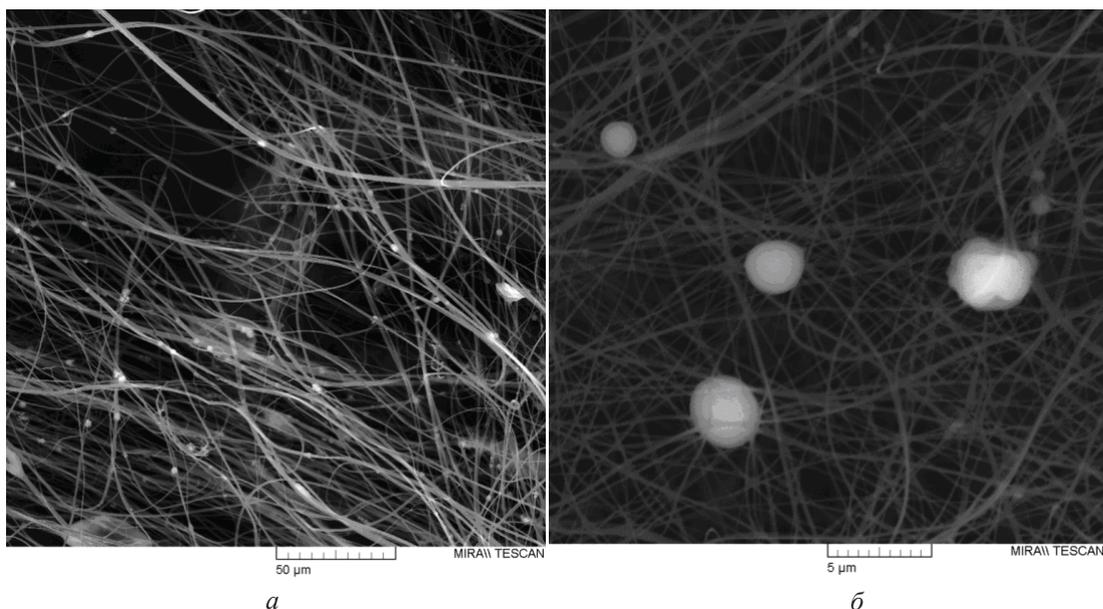


Рис. 2. Микрофотография нетканого материала с включением микрочастиц карбоната кальция: а – материал на основе ПВС, б – на основе хитозана

Заклучение

Таким образом, была разработана технология создания композитных нановолокнистых материалов с включением неорганических частиц в структуру волокна. Использование биodeградируемых и биосовместимых полимеров делает возможным применение таких материалов в биомедицинских приложениях, а включение микрочастиц придает материалу дополнительные функции.

В дальнейшем предполагается использование в композитном материале микроконтейнеров из микрочастиц карбоната кальция с добавлением красителя «Фотосенс» (ГНЦ «НИОПИК», г. Москва, Россия) и проведение исследований *in vitro* на биосовместимость.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-03-33088 мол_a_вед).



Список литературы

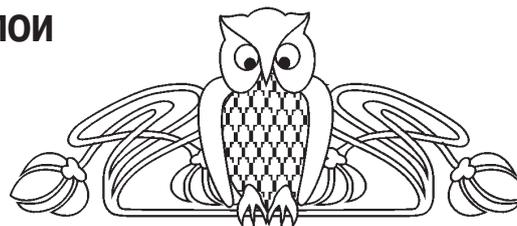
1. Huang Z.-M., Zhang Y.-Z., Kotaki M., Ramakrishna S. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites // *Composites Science and Technology*. 2003. Vol. 63. P. 2223–2253.
2. Ondarcuhu T., Joachim C. Drawing a single nanofibre over hundreds of microns // *Europhys Lett*. 1998. Vol. 42, № 2. P. 215–220.
3. Feng L., Li S., Li H., Zhai J., Song Y., Jiang L., Zhu D. Super-Hydrophobic Surface of Aligned Polyacrylonitrile Nanofibers // *Angew Chem. Intern. Ed. Engl.* 2002. Vol. 41, № 7. P. 1221–1223.
4. Martin C. R. Membrane-based synthesis of nanomaterials // *Chem. Mater.* 1996. Vol. 8. P. 1739–1746.
5. Ma P. X., Zhang R. Synthetic nano-scale fibrous extracellular matrix // *J. Biomed Mat. Res.* 1999. Vol. 46. P. 60–72.
6. Liu G. J., Ding J. F., Qiao L. J., Guo A., Dymov B. P., Gleeson J. T., Hashimoto T., Saijo K. Polystyrene-block-poly (2-cinnamoyl ethyl methacrylate) nanofibers-Preparation, characterization, and liquid crystalline properties // *Chem-A European J.* 1999. Vol. 5. P. 2740–2749.
7. Bognitzki M., Czado W., Frese T., Schaper A., Hellwig M., Steinhart M., Greiner A., Wendorff J. H. Nanostructured Fibers via Electrospinning // *Advanced Materials*. 2001. Vol. 13, № 1. P. 70–72.
8. Deitzel J. M., Kleinmeyer J., Hirvonen J. K. Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers // *Polymer*. 2001. Vol. 42. P. 8163–8170.
9. Fong H., Reneker D. H. Electrospinning and formation of nanofibers // *Structure formation in polymeric fibers / ed. D. R. Salem. Munich : Hanser, 2001. P. 225–246.*
10. Reneker D. H., Yarin A. L. Electrospinning jets and polymer nanofibers // *Polymer*. 2008. Vol. 49. P. 2387–2425.
11. Svenskaya Yu. I. Nanoparticles, nanostructured coatings and microcontainers : technology, properties, applications // *Proc. of III Intern. Workshop. Saratov, 2011.*
12. Volodkin D. V., Petrov A. I., Prevot M., Sukhorukov G. B. Matrix polyelectrolyte microcapsules : New system for macromolecule encapsulation // *Langmuir*. 2004. Vol. 20. P. 3398–3406.

УДК 538.9; 544.7

НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ЛЕНГМЮРОВСКИЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ЩЕТОК

С. А. Климова, О. А. Иноземцева, С. В. Герман,
Т. С. Скосырева, А. Д. Пеганов

Саратовский государственный университет
E-mail: klimovasa@info.sgu.ru



Представлено описание современного состояния исследований в области формирования наноструктурированных композитных материалов на основе полимеров, а именно молекулярных щеток. Проведенные в работе экспериментальные исследования позволяют заключить, что эффективное включение наночастиц магнетита в монослой браш-полимера с разной длиной боковых цепей происходит в случае гидрофобных наночастиц магнетита при одновременном нанесении аликвоты полимера и наночастиц на поверхность водной субфазы по технологии Ленгмюра–Блоджетт. **Ключевые слова:** технология Ленгмюра–Блоджетт, браш-полимер, гидрофобные и гидрофильные наночастицы магнетита.

Nanocomposite Langmuir Layers Based on Molecular Brushes

S. A. Klimova, O. A. Inozemtseva, S. V. German,
T. S. Scosyeva, A. D. Peganov

The current state of producing of nanostructured composite materials based on polymers like molecular brushes was described. Experimental results established that using hydrophobic nanoparticles allows to effectively integrate the nanoparticles into the brush polymer monolayer with different length of the side chains. In this case for composite monolayer formation we need to spread an aliquot of the polymer and nanoparticles simultaneously on the surface of the water subphase using Langmuir–Blodgett technique.

Key words: Langmuir–Blodgett technique, brush-polymer, hydrophobic and hydrophilic nanoparticles of magnetite.

Одним из наиболее перспективных компонентов для формирования различных поверхностных слоев, обладающих чувствительным откликом на изменение внешних условий, являются привитые сополимеры (браш-полимеры) благодаря своей сложной архитектуре. Природа боковых цепей в структуре этих полимеров позволяет придавать им различные практически важные свойства (растворимость в широком ряду растворителей, полиэлектролитные свойства, нелинейные оптические свойства, термо- и pH-чувствительность и др.), что привело к созданию так называемых «умных» полимеров, изменяющих конформацию при изменении внешних условий [1–3].

Функциональные покрытия на основе браш-полимеров, чувствительные к различным факторам (электромагнитное излучение, pH, температура и др.), получают с использованием подходов физической адсорбции, хемосорбции