

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мария ДЕМИДОВА^{1*}, Дмитрий РЫКЛИН²

¹Кафедра технологии текстильных материалов, факультет производственных технологий, Витебский государственный технологический университет, Витебск, Республика Беларусь

²Кафедра технологии текстильных материалов, д.т.н., профессор, факультет производственных технологий, Витебский государственный технологический университет, Витебск, Республика Беларусь

*Автор-корреспондент: Мария Демидова, demidova.mariya00@gmail.com

Аннотация. Разработана структура трехслойного материала, получаемого методом электроформования и содержащего масло розового дерева, инкапсулированного между нановолокнистыми слоями из поливинилового спирта. Определено влияние функциональной добавки на структуру и физико-механические свойства полученного материала.

Ключевые слова: биомедицина, нановолокна, разрывная нагрузка, структура, электроформование.

Введение

Разработка новых видов нановолокнистых материалов является перспективным направлением для производства изделий разнообразного применения, включая биотехнологию, доставку лекарств, заживление ран, тканевую инженерию, микроэлектронику, защиту окружающей среды, сбор и хранение энергии благодаря их очень большому соотношению площади поверхности к объему, гибкости в функциональных возможностях поверхности и превосходным механическим характеристикам [1, 2].

Создание многослойных материалов позволяет получать такие нановолокнистые структуры, которые обеспечивают инкапсулирование активных веществ [3], характеризующихся достаточно высокой летучестью. В этом случае наличие нескольких слоев позволяет инкапсулировать активное вещество косметологического или медицинского применения внутри полимера, а также обеспечивает медленное и постепенное выделение добавленного в полимер активного вещества, что обуславливает его хорошую впитываемость и позволяет точно рассчитать дозировку.

Цель исследований

Целью данной работы является определение свойств и структуры многослойных нановолокнистых материалов на основе поливинилового спирта.

Основной материал

Получение экспериментальных образцов многослойного нановолокнистого материала проводились на установке Fluidnatek LE-50 (Bionicia, Испания).

В качестве волокнообразующего полимера для получения экспериментальных образцов использовался водный раствор поливинилового спирта марки Arkofil PPL компании Archroma (Швейцария). Данный полимер широко используется в медицине благодаря нетоксичности, легкому выведению из организма пациента и относительно низкой стоимости [4].

В качестве активного вещества для инкапсуляции во внутреннем слое нарабатываемого трехслойного нановолокнистого материала при проведении исследований было выбрано масло розового дерева. Масло розового дерева способствует повышению эластичности кожи, подойдет для любого типа кожи, обладает антикуперозным действием, смягчает, питает,

способствует улучшению микроциркуляции, ускоряет процесс рассасывания рубцов и растяжек, отбеливает, успокаивает, эффективно при заболеваниях кожи [5]. В его составе находятся ряд антиоксидантов, таких как линалоол (75–85%), терпинеол, цинеол, камфен, гераниол и другие [6]. Для инкапсуляции в поливинилового спирта было выбрано масло розового дерева марки «Лазурин». Состав данного масла – 100% натуральное эфирное масло розового дерева, получаемое из розового дерева методом дистилляции с паром.

Было получено два образца трехслойного материала на двух видах подложки – черной бумаге и полиэфирной ткани. Нарботка образцов происходила в следующей последовательности. На первом этапе на подложку осуществлялось нанесение нановолокнистого слоя из 14%-ного водного раствора поливинилового спирта с использованием одного из капилляров коаксиальной прядильной головки [7]. При формировании второго слоя в 14%-процентный раствор поливинилового спирта добавлялось 5 % масла розового дерева. На заключительном этапе снова формировался слой из поливинилового спирта.

На фотографиях, полученных методом электронной микроскопии видно, что введение во внутренний слой масла розового дерева оказало некоторое влияние на морфологию нановолокнистого материала. Заметно, что во внешнем слое, сформированном из поливинилового спирта без каких-либо добавок, значительная часть волокон приобрела извитый вид (рис. 1, 2), что может быть объяснено изменением характеристик электростатического поля вблизи коллектора из-за наличия масла розового дерева на закрепленной на нем подложке. Кроме того, увеличился средний диаметр электроформованных волокон – с 150-180 нм до 250-330 нм.

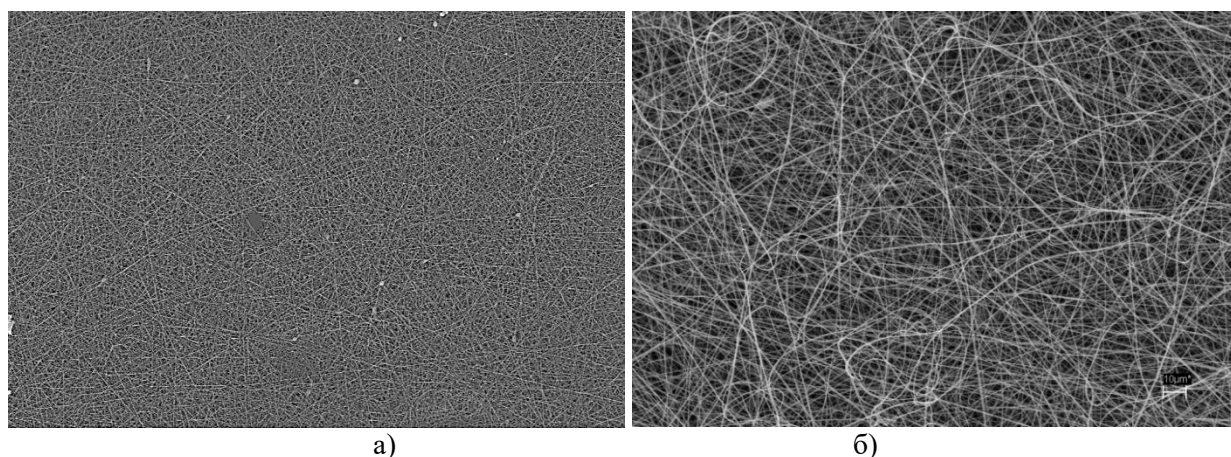


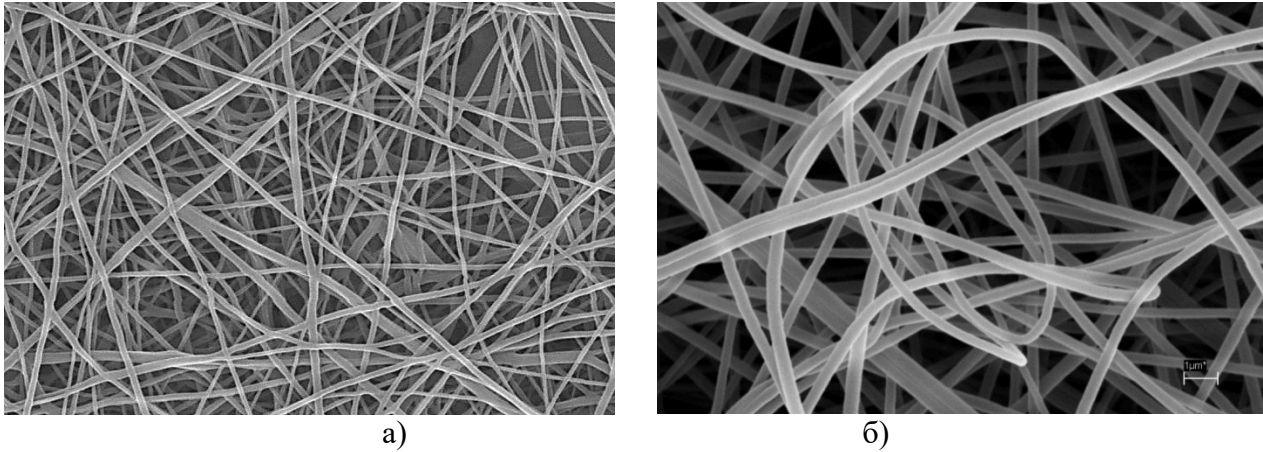
Рисунок 1. Изображения нановолокнистых материалов разной структуры, полученные при увеличении в 1000 раз:

а - однослойный материал из поливинилового спирта;

б – трехслойный материал с инкапсулированным маслом розового дерева

В случае, если использование нановолокнистого материала предполагает его предварительное снятие с подложки, представляет интерес оценка его деформационных характеристик. Для определения разрывной нагрузки и разрывного удлинения нановолокнистого материала использовалась разрывная машина серии Time WDW-20E по специально разработанной методике [8]. Испытания образцов производились при скорости деформирования, равной 50 мм/мин, и зажимной длине 10 см.

Испытаниям подвергались образцы нановолокнистых материалов шириной 7 см. В ходе эксперимента были получены кривые растяжения образцов, представленные на рисунках 3 и 4.



**Рисунок 2. Изображения нановолокнистых материалов разной структуры, полученные при увеличении в 15000 раз:
а - однослойный материал из поливинилового спирта;
б – трехслойный материал с инкапсулированным маслом розового дерева**

Анализ полученных данных показал, что трехслойный материал, наработанный на бумаге, отличается более высокой равномерностью покрытия, и его разрывная нагрузка составляет 99,2 сН. Для образца, в котором подложкой выступала полиэфирная ткань, разрывная нагрузка снизилась почти в 2 раза, что обусловлено меньшей равномерностью нановолокнистого материала из-за неплотного прилегания подложки к поверхности коллектора.

В результате сопоставления данных о свойствах нановолокнистых материалов, полученных из поливинилового спирта без добавок функциональных компонентов с результатами проведенных исследований, можно отметить, что введение масла розового дерева во внутренний слой не оказало существенного влияния на разрывную нагрузку материала, так как увеличение его поверхностной плотности на 40 % привело к пропорциональному увеличению разрывной нагрузки. Однако из-за повышенной извитости волокон, которая была отмечена ранее, при добавлении масла в несколько раз выросло разрывное удлинение, то есть повысилась эластичность нановолокнистого материала.

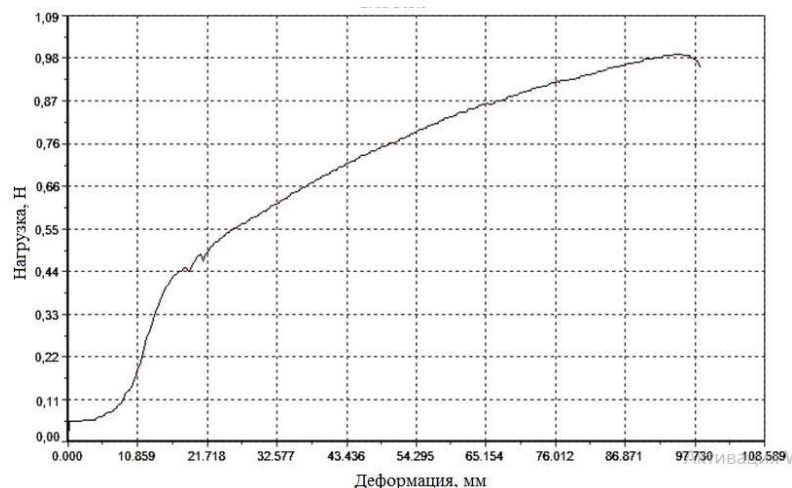


Рисунок 3. Кривая растяжения трехслойного нановолокнистого материала на бумажной подложке

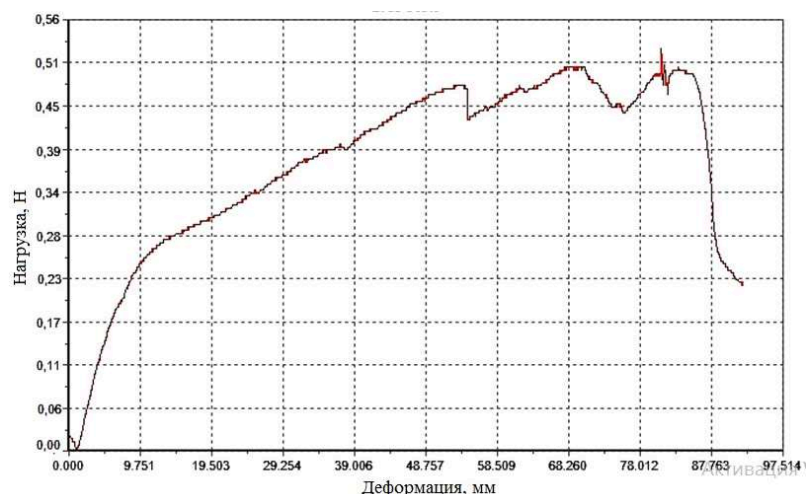


Рисунок 4. Кривая растяжения трехслойного нановолокнистого материала на тканой подложке

Выводы

Применение коаксиальной прядильной головки на установке Fluidnatek LE-50 позволяет вырабатывать многослойные нановолокнистые материалы методом электроформования.

При добавлении в волокнообразующий раствор, формирующий внутренний слой нановолокнистого материала, масла розового дерева, происходит изменение морфологии и структуры внешнего нановолокнистого слоя, нарабатываемого без добавок, часть волокон приобретает извитый вид, что может быть связано с изменением электростатического поля вблизи коллектора.

Добавление масла розового дерева в структуру материала не оказывает существенного влияния на его прочность, но существенно увеличивает его эластичность.

Использованная литература

1. XIE, X., CHEN, Y., WANG, X., XU, X., SHEN, Y., KHAN, A.R., ALDALBAHI, A., FETZ, A.E., BOWLIN, G.L., EL-NEWEHY, M., MO, X. Electrospinning nanofiber scaffolds for soft and hard tissue regeneration. In: *Journal of Materials Science & Technology*, 2020, 59, pp. 243-261.
2. MILAŠIUS, R., RYKLIN, D., YASINSKAYA, N., YEUTUSHENKA, A., RAGAIŠIENE, A., RUKUIŽIENE, Ž., MIKUČIONIENE, D. Development of an electrospun nanofibrous web with hyaluronic acid. In: *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 2017, 5 (25), pp. 8-12.
3. MEHNATH, S., CHITRA, K., KARTHIKEYAN, K., JEYARAJ, M. Localized delivery of active targeting micelles from nanofibers patch for effective breast cancer therapy. In: *International Journal of Pharmaceutics*, 2020, 584, art. 119412.
4. ПОПОВА, И. Н. *Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс*. Ленинград : Химия, 1977.
5. 5.Cosmobase. Косметическая база [онлайн]. [Дата доступа: 26.02.2022]. Доступ: https://cosmobase.ru/handbook/show/ROSEWOOD_ESSENTIAL_OIL.
5. MAIA, J.G.S., ANDRADE, E.H.A., COUTO, H.A.R., DA SILVA, A.C.M., MARX, F., HENKE, C. Plant sources of Amazon rosewood oil. In: *Qui'm Nova*, 2007, 30 (8), pp. 1906–1910.
6. RYKLIN, D.B., AZARCHENKO, V.M., DEMIDOVA, M.A. Determination of expedient conditions of electrospinning using variously designed spinning heads. In: *Fibre Chemistry*, 2019, 51, pp. 223-226.
7. ДЕМИДОВА, М.А., АЗАРЧЕНКО, В.М. Определение влияния времени нанесения нановолокнистого покрытия на его разрывную нагрузку. *53-я Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов*, Витебск, 2020. Витебск: ВГТУ, 2020, с. 250.