

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулхади Х.Д.А., Аль-Машатт Е.А.А., Богуш В.А., Бойправ О.В., Лыньков Л.М., Мухуров Н.И., Прудник А.М. Электромагнитные экраны на основе алюминия, его оксидов и углеродных волокон. Технологии, конструкции и свойства: монография / Х.Д.А. Абдулхади [и др.]; под ред. Л.М. Лынькова. – Минск.: Бестпринт, 2021. С. 7.

2. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com // 2021 <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles>.

УДК 620.3:615.46

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ THE EFFECT OF RADIATION STERILIZATION ON THE PROPERTIES OF NANOFIBER MATERIALS

Рыклин Д.Б., Демидова М.А., Черников И.И.
Ryklin D.B., Demidova M.A., Chernikov I.I.

Витебский государственный технологический университет, Витебск
Vitebsk State Technological University, Vitebsk
(e-mail: ryklin-db@mail.ru)

Аннотация: В статье описаны результаты исследований по оценке влияния ионизирующего излучения на свойства нановолокнистых материалов, полученных методом электроформования из поливинилового спирта. Выработаны рекомендации по радиационной стерилизации нановолокнистых материалов медицинского назначения.

Abstract: The paper presents the results of the evaluation of ionizing radiation effect on the properties of nanofibrous materials obtained by electrospinning from polyvinyl alcohol. Recommendations for radiation sterilization of nanofibrous materials for medical application have been developed.

Ключевые слова: электроформование, нановолокнистые материалы, медицина, стерилизация.

Keywords: electrospinning, nanofiber materials, medicine, sterilization.

В последнее время электроформование стало наиболее эффективным способом получения микро- и нановолокон, обладающих специфическими свойствами для различных сфер применения, начиная от нужд защиты окружающей среды до разных сфер биомедицины [1]. Нановолокна широко используются в таких областях биомедицины, как тканевая инженерия и доставка лекарств из-за их большой площади поверхности и уникальных свойств. Чтобы достичь большей эффективности нановолокон, их поверхность функционализируется с помощью добавления различных лекарственных веществ с заданным профилем высвобождения различных факторов, а также увеличения клеточного ответа. Биосовместимые материалы играют важную роль в создании сред синтетического внеклеточного матрикса в качестве трехмерных каркасов для регенерации тканей, способных имитировать некоторые аспекты внеклеточного матрикса [2]. Нановолокна имеют особое преимущество при доставке спектра терапевтических препаратов для различных биомедицинских применений. Они могут быть изготовлены из природных и синтетических полимеров и обладать заданной морфологией, профилями высвобождения лекарственных средств и уникальными терапевтическими свойствами [3].

Ранее были проведены исследования по получению медицинской гемостатической

пленки для нужд хирургии [4]. Разработанное средство содержат в себе гемостатические таргет-частицы, которые позволяют снизить токсическую нагрузку и связанные с ней побочные эффекты в организме пациента, а также сделать терапию интенсивной и более эффективной за счет прямой доставки лекарственного средства к пораженному органу.

Нановолокнистые медицинские изделия, применяемые для проведения проникающих манипуляций в стерильных в норме тканях организма пациента, контактирующие с кровью и инъекционными препаратами, относят к так называемым «критическим», представляющим высокий риск инфицирования пациента в случае микробной контаминации этих изделий [5]. С учетом имеющихся данных о вспышках инфекций, связанных с неадекватной обработкой изделий, применяемых в хирургической практике, важная роль отводится стерилизации изделий, в частности, хирургическим инструментам [6]. Анализ имеющихся в настоящее время разработок в области стерилизации позволил установить, что стерилизация медицинских изделий подразделяется на физическую и химическую. К физической стерилизации относят паровую, при которой стерилизующим агентом выступает водяной насыщенный пар под избыточным давлением, воздушную, где агентом является сухой горячий воздух, инфракрасную, стерилизация в которой осуществляется за счет инфракрасного излучения, гласперленовую, где агентом является среда нагретых стеклянных шариков и радиационную, проводящуюся под воздействием гамма-излучения. Химическая стерилизация подразделяется на газовую, где агентом выступает окись этилена или её смесь с другими компонентами, плазменную, проводящуюся за счет воздействия паров перекиси водорода в сочетании с их низкотемпературной плазмой и жидкостную, агентом в которой являются растворы различных химических средств (кислород-, хлор- и альдегидсодержащих).

Специфика нановолокнистых материалов биомедицинского назначения заключается в том, что большинство из них биodeградируемые и часто водорастворимы. Воздействие сильных химикатов, пара и высоких температур может привести к их частичному или полному разрушению, изменению структуры и свойств как самих нановолокон, так и включенных в них лекарственных веществ. В связи с этим рациональным способом обработки биомедицинских нановолокнистых изделий является радиационная стерилизация.

Радиационная обработка является безопасным и экономически эффективным методом стерилизации, и широко применяется при обработке таких одноразовых медицинских изделий, таких как шприцы и хирургические перчатки, а также целого ряда аппаратов жизнеобеспечения.

Известно, что при воздействии на нановолокнистый материал радиации происходит сшивка полимеров, при которой возникают связи звеньев молекул в широкоячеистую трехмерную сетку за счет образования поперечных связей. Результатом радиационной сшивки может стать изменение механических свойств полимерного изделия: увеличение прочности на разрыв, повышение напряжения на разрыв, уменьшение удлинения на разрыв, сопротивление трещинообразованию; повышение тепловой стабильности материалов, в том числе находящихся под давлением, увеличение температуры плавления в несколько раз; повышение устойчивости к химическим соединениям благодаря сниженной растворимости в органических растворителях; снижение газопроницаемости; терморелаксация, или «эффект памяти формы»: макромолекулы сшитого полимера, деформированные вблизи температуры плавления и зафиксированные в этом состоянии резким охлаждением, при повторном нагреве возвращаются в равновесное состояние с восстановлением размеров и формы материала [7]. В связи с этим высказано предположение о том, что в результате воздействия на нановолокнистый материал может измениться его растворимость в воде и биологических жидкостях, что окажет влияние на возможность его использования в медицине. При этом представляет интерес оценка влияния дозы облучения на свойства нановолокнистого материала. Таким образом, целью

данной работы являлась определение влияния ионизирующего излучения на свойства нановолокнистых материалов, полученных методом электроформования.

Для проведения исследований на установке Fluidnatek LE-50 было наработано четыре образца нановолокнистых материалов, полученных из 14%-ного раствора поливинилового спирта (ПВС). ПВС является одним из наиболее распространенных полимеров, используемых для получения материалов медицинского и косметологического назначения методом электроформования, что обусловлено его относительно низкой стоимостью и уникальными свойствами. Создание концентрированных растворов полимеров с лекарственными веществами различной природы приводит к получению эффективных лечебных средств для внутреннего и наружного применения. При этом в ряде случаев физиологическая активность полимеров проявляется в активизации процессов всасывания и проникновения лекарственных средств через слизистые оболочки, кожу и др. Благодаря нетоксичности поливинилового спирта может применяться в медицине в качестве клеев, пластырей, стерильных салфеток, хирургических нитей, фармацевтических препаратов, для изготовления плазмозаменяющих растворов [8].

Три из полученных образцов были подвергнуты радиационной обработке в Научном учреждении «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси с использованием закрытых радионуклидных источников гамма-излучения кобальт-60 без непосредственного контакта. Процесс являлся экологически чистым (радиационно безопасным), так как при его проведении не происходило образования радиоизотопов, то есть не имела место наведенная радиоактивность, и нановолокнистый материал не загрязнялся радионуклидами. Мощность дозы облучения составила 0,5-0,6 Гр/с. Время облучения образцов составило 485, 795 и 1650 мин., и дозы облучения, полученные образцами, были 16,1, 26,7 и 53,5 кГр соответственно. Измерение полученной дозы осуществлялось с помощью Harwell red dosimeters 4034, индикатор дозы гамма-индикатор Etigam 2.01.

Фотографии полученных образцов нановолокнистых материалов, снятых с подложки, представлены на рис. 1. Образцы снимались с подложки пинцетом с целью предотвращения их частичного растворения в местах контакта с кожей исследователя.

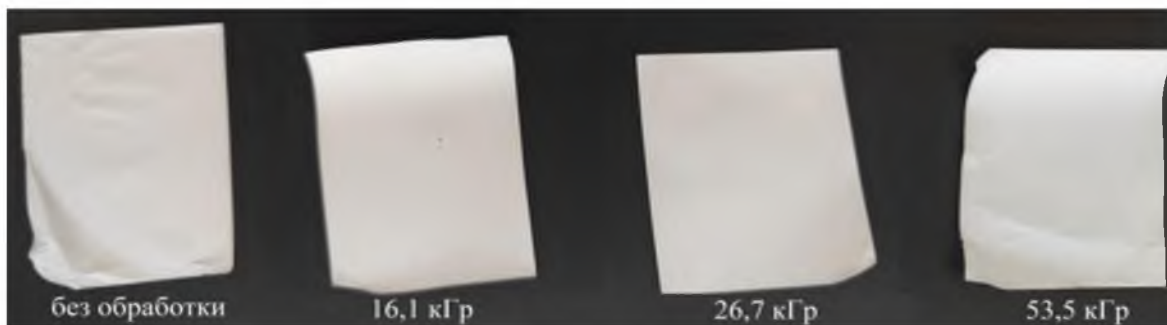


Рис. 1. Образцы нановолокнистого материала

Обработанные образцы отличались большей гладкостью, меньше электризовались по сравнению с исходными материалами. Однако при этом адгезия их к подложке несколько выросла, хотя снятие их не вызывало существенных затруднений и происходило равномерно. При проведении предыдущих исследований установлено, что при снятии необработанных материалов с подложки они существенно деформировались, что создавало неудобство при их применении в хирургии. Данный отрицательный эффект усиливался в случае высокой влажности воздуха в помещении. В ходе описываемых исследований установлено, что материалы, подвергнутые обработке, независимо от дозы облучения при снятии с подложки сохраняли форму и хороший внешний вид.

Для оценки влияния радиации на растворимость нановолокнистого материала на центр каждого из образцов наносилась капля дистиллированной воды. Внешний вид образцов представлен на рис. 2.

Эксперимент показал, что доза радиации оказывает несущественное влияние растворимость нановолокнистого материала. При этом по сравнению с необработанным материалом площадь растекания капли, то есть площадь растворенного участка нановолокнистого материала, при 16,1 кГр снизилась на 7%, при 26,7 кГр на 25%, при 53,5 кГр на 27%, что косвенно свидетельствует о наличии сшивки полимера в образцах. При этом контрольный образец, не подвергнутый воздействию радиации, подвергался сравнительно большей деформации в процессе испытания, что является существенным недостатком, поскольку при нанесении подобного материала на влажную поверхность тканей организма пациента распределение его по поверхности будет менее равномерным, и, следовательно, распространение включенного в него таргет-компонента будет также менее равномерным.

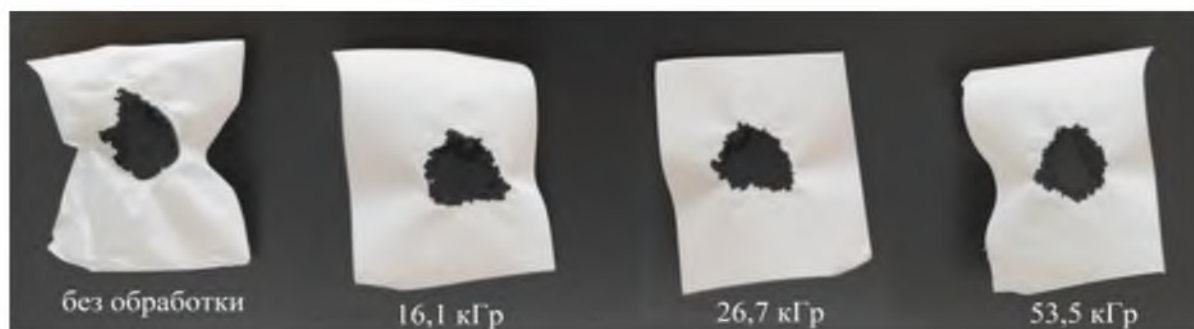


Рис. 2. Образцы нановолокнистого материала после тестирования на растворимость

Таким образом, можно заключить, что для стерилизации биомедицинских нановолокнистых материалов может быть рекомендована радиационная обработка со стандартной дозой облучения 16,1 кГр.

Увеличение дозы радиации не оказывает существенного влияния на свойства нановолокнистого материала, сшивка полимерных нановолокон незначительно увеличивает адгезию их к подложке и друг другу, что приводит к повышенной гладкости получаемого материала и снижению его электризуемости и деформации в процессе эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Balusamy B., Celebioglu A., Senthamizhan A., Uyar T.* Progress in the design and development of “fast-dissolving” electrospun nanofibers based drug delivery systems – A systematic review // *Journal of Controlled Release*. 2020. V. 326. P. 482.
2. *Bakhshayesh A.R.D., Babaie S., Niknafs B., Abedelahi A., Mehdipour A., Ghahremani-Nasab M.* High efficiency biomimetic electrospun fibers for use in regenerative medicine and drug delivery: A review // *Materials Chemistry and Physics*. 2022. V. 279. Art. 125785.
3. *Alturki A.M.* Rationally design of electrospun polysaccharides polymeric nanofiber webs by various tools for biomedical applications: A review // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021. V. 184. P. 648.
4. *Демидова М.А., Новицкая В.А., Рыклин Д.Б., Гвоздев С.В.* Получение гемостатических пленок методом электроформования // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы*. 2021. С. 181.
5. *Руководство по инфекционному контролю в стационаре. Пер.с англ. / Под ред. Р. Венцеля, Т. Бревера, Ж-П. Бутцлера. – Смоленск: МАКМАХ, 2003. - 272 с.*
6. *Основы инфекционного контроля: Практическое руководство/ Американский международный союз здравоохранения. Пер. с англ., 2-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2003. – 478 с.*
7. *Радиационная сшивка полимеров // 2022. <https://tecleor.tech/sfery-primeneniya/prochie-sfery-primeneniya/radiatsionnaya-sshivka-polimerov/>*
8. *Попова, И.Н.* Экономика производства и применения полимеризационных пластмасс / И. Н. Попова, Е. Д. Файнберг, Ю. Т. Лившиц. – Ленинград: Химия, 1977. – 200 с.