

УДК 677.051. 12, 677.494

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ НАНО- И МИКРОВОЛОКОН  
И ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО РАБОТЫ**

**THE DEVICE FOR MAKING POLYMERIC NANO- AND MICROFIBERS  
AND ITS RESEARCH**

*А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, А.Г. ШУТОВА, В.М. ПОТЕХИН*  
*A.R. KORABELNIKOV, A.G. SHUTOVA, V.M. POTEHIN*

(Костромской государственный технологический университет)  
(Kostroma State Technological University)  
E-mail: tmm@kstu.edu.ru

*Статья посвящена анализу и совершенствованию конструкций устройств для получения нано- и микроволокон методом электроформирования. Предложена оригинальная конструкция устройства для получения нано- и микроволокон, приведены результаты исследования ее работы, определены пути совершенствования конструкции и направления дальнейших исследований.*

*The article is devoted to the analysis and improving of the device constructions for making nano-and microfibers by electroforming. An original construction of the device for making nano- and microfibers has been offered, the results of its operation research have been presented, the ways of constructions improving and further research have been defined.*

**Ключевые слова:** нановолокна, микроволокна, электроформирование, полимерные тонкие волокна.

**Keywords:** nanofibers, microfibers, electroforming, polymeric thin fibers.

Одним из направлений сегодняшнего развития техники и технологии в текстильной промышленности является создание высокотехнологичного текстильного продукта, в том числе нанотекстиля, применяемого в различных сферах деятельности. В настоящее время исследования в этом направлении развиваются интенсивно [1]. Одним из наиболее эффективных способов получения наноструктурного волокнистого материала является способ электроформирования, который позволяет получать волокна диаметром менее 0,5 мкм из растворов полимеров.

Способ был впервые предложен в начале 20 века, в 30-50-х годах получил промышленное применение в СССР, и до сих пор используется для производства фильтровальных материалов различного назначения. Этот способ создавался, изучался и продолжает исследоваться учеными Научно-исследовательского физико-химического института им. Карпова: И.В. Петряновым-Соколовым, Н.Д. Розенблум, Н.А. Фуксом, Ю.Н. Филатовым и другими [2].

Сущность способа заключается в том, что под действием электростатического поля на поверхности полимерного раствора, нанесенного на заряженный электрод, обращенной к противоположному электроду, появляются каплевидные образования, которые приобретают форму так называемого конуса Тейлора. При дальнейшем приложении напряжения к электродам с вершины конуса начинается струйное течение раствора, которое при определенных параметрах превращается в движение вытянутых струй, отрывающихся от поверхности раствора. Двигаясь в электростатическом поле, эти струи расщепляются, утоняются и по мере испарения растворителя приобретают форму волокон, которые осаждаются на противоположный электрод. Волокна, как правило, имеют диаметр менее 0,5 мкм [2]. Способ электроформирования нановолокнистых мате-

риалов сейчас является одним из наиболее быстро развивающихся, так как он очень универсален и позволяет получать волокна из полимеров различного вида. Получаемый волокнистый продукт может использоваться для создания фильтровальных материалов, применяемых в различных отраслях; звуко- и теплоизолирующих материалов; при разработке новых композитных материалов; материалов, используемых в легкой промышленности; при создании топливных элементов и др. [2...5]. Технологический процесс позволяет вводить в раствор различные растворители и добавки, которые, сохраняясь в волокнах после высыхания, меняют их свойства, что находит применение в медицине [3], [6].

Сегодня для получения волокон электроформированием используют два основных типа оборудования: в первом случае поток волокон формируется при помощи фильеры, подающей раствор в зону действия электростатического поля; второй способ основан на возникновении струйного течения полимера с его свободной поверхности под действием электростатического поля.

В [7] и [8] описаны принципы работы оборудования для получения нановолокон, которые заключаются в том, что раствор полимера подается через фильеру в зону электростатического поля, одним полюсом которого является сама фильера, имеющая электростатический заряд, другим полюсом является заземленный собирающий электрод. Под действием этого поля струя раствора полимера, подаваемая через фильеру, принимает форму конуса Тейлора, с вершины которого образуется струя волокон. При дальнейшем движении она отрывается от раствора и, двигаясь в электростатическом поле, дополнительно расщепляется, образуя волокна различной длины и различной ориентации, которые под действием электростатического поля осаждаются на электрод. Для интенсифи-

кации этого процесса могут использоваться попутные движению волокон потоки воздуха [7]. А для повышения выхода волокон с толщиной менее 0,1 мкм на дополнительные электроды подается напряжение меньшее, чем напряжение, подаваемое на основные электроды [8].

Оборудование, действующее по этому принципу, было разработано в 50-60-х годах прошлого века в СССР и используется сегодня для производства фильтровальных материалов. В настоящее время на рынке не представлены предложения по этому типу оборудования.

Второй тип оборудования производит компания "ELMARKO" (Чехия), которая выпускает лабораторные и промышленные установки для получения наноструктурных волокнистых материалов.

Работает это оборудование следующим образом. Электрод вращается в растворе полимера и вводит его в зону действия электростатического поля. На поверхности электрода образуется тонкая пленка раствора, на которой под действием кулоновских сил создаются каплевидные образования, имеющие форму конуса, из которых под действием тех же сил образуются по-

токи волокон. Они движутся под действием кулоновских сил к противоположному электроду и осаждаются на его поверхность или на подложку, находящуюся между электродами. Для увеличения равномерности слоя осаждаемых волокон и предотвращения распыления волокон за зону осаднения авторами работы [7] предлагается создать в зоне между электродами воздушные потоки за счет создания пониженного давления за приемным электродом, имеющим перфорированную поверхность, а собирающую подложку, на которую осаждается масса волокон, предлагается выполнять воздухопроницаемой. Это решение реализовано в оборудовании, выпускаемом компанией "ELMARKO". Однако, по нашему мнению, это приводит к снижению качества получаемого волокна, увеличению его толщины за счет ускоренного испарения растворителя, а также увеличивает энергозатраты при производстве волокон.

Нами разработано устройство для получения нано- и микроволокон [9], принципиальная схема которого изображена на рис. 1.

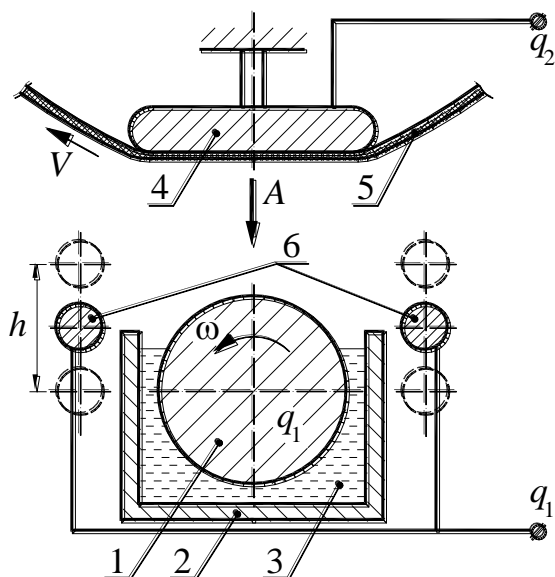


Рис. 1

Устройство работает следующим образом. Электрод 1 вращается в сосуде 2 с раствором полимера 3, при движении в

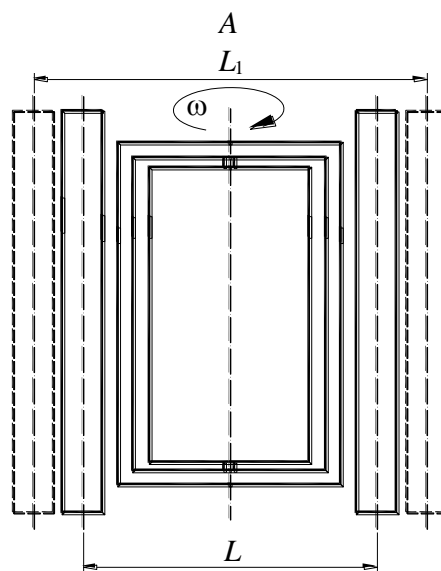


Рис. 2

вязкой среде на поверхности электрода создается пленка из раствора полимера, которая имеет электрический заряд, полу-

ченный от вращающегося электрода. Под действием электрического поля на поверхности пленки образуются струи раствора, которые притягиваются противоположным электродом 4. При движении между электродами растворитель испаряется, волокна принимают форму, после чего осаждаются на подложку 5, которая располагается между приемным 4 и вращающимся электродом 1. Дополнительные электроды 6, имеющие электрический заряд, меняют конфигурацию поля в части рабочего пространства между электродами таким образом, что сужают возможную область движения волокон между электродами 1 и 4 и препятствуют их дрейфу в стороны от приемной подложки 5. Применение дополнительных электродов 6 позволяет не использовать для осаждения волокон принудительно создаваемые попутные воздушные потоки. Расположение дополнительных электродов 6 относительно вращающегося электрода 1 можно изменять в процессе работы установки в вертикальном направлении с размахом  $h$  и в горизонтальном направлении с размахом  $(L_1-L)$  (рис. 1). Например, в момент запуска процесса дополнительные электроды могут находиться ниже верхней точки поверхности вращающегося электрода, не оказывая влияния на начало процесса формирования волокон. При установившемся процессе дополнительные электроды 6 устанавливаются по вертикали и по горизонтали на некотором расстоянии от вращающегося электрода 1, при котором поток волокон будет более сфокусированным на подложке 5, а слой получаемых волокон будет более равномерным.

Процесс образования волокон зависит от многих факторов. Прежде всего, это гидродинамические, электрические свойства раствора и химические свойства полимера. Однако и конструктивные параметры устройств оказывают значительное воздействие на этот процесс. К таким конструктивным и технологическим параметрам относятся: напряжение и расстояние между электродами, их форма, скорость вращения питающего электрода, электрические свойства собирающей подложки,

диэлектрические свойства пространства между электродами, наличие дополнительных устройств, влияющих на движение волокна и испарение растворителя.

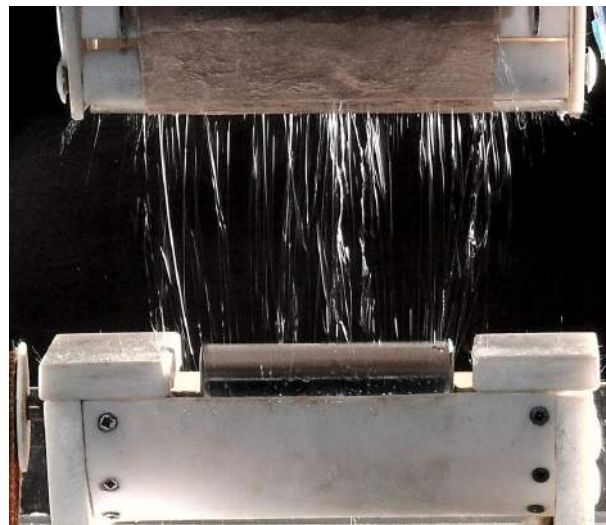


Рис. 2

Нами были проведены экспериментальные исследования работы установки (рис. 2 – начало образования волокон), в ходе которых изучался процесс получения нано- и микроволокон из 12% раствора полиметилметакрилата в смеси 95% дихлорэтана и 5% ацетона. Разность потенциалов между электродами составляла постоянное значение. Определялось расстояние между электродами, способствующее устойчивому протеканию процесса образования волокон, расстояние при котором этот процесс начинался, и расстояние, при котором образование волокон прекращалось.

При работе установки без дополнительных электродов 6 (рис. 1) наблюдается дрейф волокон за пределы границы собирающего электрода, что связано с концентрацией зарядов на краях электрода. Для того чтобы предотвратить дрейф волокна, за границы рабочей зоны нами были установлены дополнительные электроды. За счет этого удалось предотвратить дрейф волокон вне рабочей зоны и повысить равномерность слоя получаемого волокна. Применение дополнительных электродов позволяет регулировать плотность потока волокон в ходе работы установки.

В дальнейшем на разработанной нами установке необходимо провести исследования по определению влияния вышеуказанных конструктивных и технологических параметров установки на толщину и качество получаемых волокон, изучить влияние свойств раствора и полимера на качество получаемого волокна и на качественные показатели слоя, образуемого волокнами. Эти исследования позволят усовершенствовать установку и разработать систему управления ее работой.

## ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ существующих способов получения нано- и микроволокон методом электроформирования и конструкций устройств, реализующих этот способ, на основании которого намечены пути совершенствования такого оборудования.

2. Предложена конструкция устройства для получения нано- и микроволокон методом электроформирования, имеющая в своем составе дополнительные электроды, влияющие на плотность потока волокон.

3. Проведены испытания устройства, которые подтвердили его работоспособность и показали, что в том случае, когда между электродами отсутствуют принудительно создаваемые потоки воздуха, способствующие перемещению волокна на приемный электрод, возможен дрейф волокон из рабочей зоны.

4. Введение в конструкцию устройства дополнительных электродов позволило устранить дрейф волокон из рабочей зоны между электродами и регулировать плотность потока волокон, а также снизить энергозатраты на производство волокон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Кричевский Г.Е.* Прошлое, настоящее и будущее мирового текстиля. Революционное и эволюционное развитие // *Международ. научн.-практ. конф.: Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных высоких технологий / Тезисы докладов / Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Инсти-*

*тут химии растворов им. Г.А. Крестова. – Иваново: Изд-во: "Иваново", 2012. С. 5.*

2. *Филатов Ю.Н.* Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс) / Под ред. В. Н. Кириченко. – М.: Нефть и газ, 1997.

3. *Кильдеева Н.Р., Вихорева Г.А.* Электроформование ультратонких волокон из аминоксодержащих полимеров для медицины // *Международ. научн.-практ. конф.: Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных высоких технологий / Тезисы докладов / Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова. – Иваново: Изд-во: "Иваново", 2012. С. 5.*

4. *Лаврентьев А.В., Бокова Е.С., Коваленко Г.М.* Электроформование нановолокон нетканых полотен из индивидуальных и модифицированных растворов полиэфируретанов // *Международ. научн.-практ. конф.: Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных высоких технологий / Тезисы докладов / Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова. – Иваново: Изд-во: "Иваново", 2012.*

5. *Корабельников А.Р.* О способе производства полимерных нановолокон // *Международ. научн.-техн. конф.: Современные наукоемкие инновационные технологии развития промышленности региона. – Кострома, КГТУ 2008.*

6. *Рылкова М.В., Бокова Е.С., Коваленко Г.М.* Получение нетканых нановолокнистых материалов санитарно-гигиенического и медицинского назначения // *Международ. научн.-практ. конф.: Сегодня и завтра медицинского, технического и защитного текстиля. Роль традиционных высоких технологий / Тезисы докладов / Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова. – Иваново: Изд-во: "Иваново", 2012.*

7. *Иржак О., Санетрник Ф., Лукас Д., Котек В., Мартинова Л., Халоупек И.* Способ изготовления нановолокон из полимерного раствора и устройство для его осуществления // *Патент RU 2365686 С2.*

8. *Товмаш А.В., Полезов В.Н.* Способ получения тонких полимерных волокон // *Патент RU 2242546 С1.*

9. *Корабельников А.Р., Потехин В.М.* Установка для получения нановолокон // *Международ. научн.-техн. конф.: Актуальные проблемы науки в развитии информационных технологий. – Кострома, КГТУ, 2012.*

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 01.04.13.