

На правах рукописи



МАКАРОВ БОРИС ПАВЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ НИТЕЙ НА ОСНОВЕ
ДВУХСТАДИЙНОГО ФОРМОВАНИЯ**

2.6.16 – Технология производства изделий текстильной и легкой
промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Кострома

2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ).

Научный руководитель

Матрохин Алексей Юрьевич,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты

Шустов Юрий Степанович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
материаловедения и товарной
экспертизы ФГБОУ ВО «Российский
государственный университет им.
А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн.
Искусство)», г. Москва

Медведев Александр Викторович,
доктор технических наук, старший
научный сотрудник АО НПО
«Стеклопластик», Московская область,
г. Солнечногорск

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Ивановский
государственный химико-
технологический университет»,
г. Иваново

Защита состоится «01» ноября 2023 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.317.01 на базе ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет» по адресу: г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17/11, ауд. 331.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»: <http://www.ksu.edu.ru>

Текст автореферата размещен на сайте ВАК России: <http://vak3.ed.gov.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.317.01
доктор технических наук, доцент



Л.Л. Чагина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Согласно сводной стратегии развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года рост производства технического текстиля является одним из приоритетных направлений развития легкой промышленности. Это подтверждается заявленными целевыми значениями по годовым объемам выпуска спецодежды – до 121,1 млрд рублей, технического текстиля – до 238,1 млрд рублей, синтетических и искусственных тканей – до 19,6 млрд рублей. В общих объемах выпуска продукции легкой промышленности эти категории должны составить к 2035 году не менее 25%.

Технический текстиль находит свое применение при производстве фильтровальных рукавных тканей и нетканых полотен, защитной одежды пожарных, нефтяников, сварщиков, металлургов, теплозащитных изделий, негорючих интерьерных тканей, ковров, напольных покрытий; шинного корда, термостойких уплотнений, тормозных колодок и накладок.

Термостойкие волокнистые материалы применяются в том числе в области воздействия высоких и низких температур. На фоне растущего спроса на рынке технического текстиля и спецодежды существует проблема недоступности термостойких волокон отечественного производства. Термостойкие синтетические волокна (Nomex, Kevlar, Kermel, Зейлон, Twaron, PPS) иностранных производителей заняли практически все ниши производства спецтекстиля на отечественных предприятиях легкой промышленности.

На основе проведенного анализа областей применения и потребности в отечественном техническом текстиле выбранная тема диссертационного исследования является актуальной.

Целью диссертационного исследования является повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик полиоксадиазольных нитей за счет совершенствования технологии их изготовления.

Объект исследования: технология получения нитей на основе оксадиазольных систем и опытное оборудование для ее реализации.

В процессе достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Проведен анализ мирового рынка термостойких высокопрочных волокон с определением их главных характеристик.

2. Обоснована перспективность развития сухо-мокрого способа формирования полиоксадиазольных нитей.

3. Проведены конструкторские работы по усовершенствованию узла формирования полиоксадиазольных (ПОД) нитей.

4. Создана опытная установка для получения ПОД-нитей сухо-мокрым способом формирования.

5. Разработана технология получения ПОД-нитей сухо-мокрым способом, реализованная на опытной установке.

6. Изучены физико-механические и эксплуатационные свойства полученных образцов ПОД-нитей.

7. Рассмотрены области применения комплексных ПОД-нитей сухо-мокрого формования в различных отраслях промышленности.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке способа двухстадийного (сухо-мокрого) формования.

В работе впервые:

- разработан двухстадийный (сухо-мокрый) способ формования полиоксадиазольных нитей;

- предложен подход к обоснованию конструктивных и технологических параметров фильер для получения нитей стабильной структуры с высокой степенью разделения филаментов;

- создана опытная установка для получения ПОД-нити двухстадийным способом формования;

- доказаны работоспособные технологические параметры получения полиоксадиазольной комплексной нити с улучшенными свойствами двухстадийным (сухо-мокрым) способом.

Теоретическая значимость работы заключается:

- в разработке процесса формования ПОД-нити с сохранением 100% степени циклизации полимера, исключаяющего влияние дециклизирующего реагента на первой стадии формования;

- создании математической интерпретации технологических факторов формования при продавливании раствора через фильерные капилляры;

- создании условий образования наружного каркаса свежесформованной нити при контакте с воздушной средой;

- определении температурно-временных режимов образования аморфной структуры готовой комплексной ПОД-нити, исключаяющих релаксационные процессы в ней.

Практическая значимость работы. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при освоении серийного выпуска отечественных термостойких волокон на основе полиоксадиазольных систем с улучшенными эксплуатационными характеристиками взамен импортных. Полученные нити нашли применение при изготовлении multifunctional материалов, в том числе для фильтрации горячих технологических газов и промышленного воздуха (патент RU2021110219 от 13.04.21).

Соответствие паспорту специальности. Работа выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 2.6.16 – Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности, а именно: п.1 Инновационное развитие технологий первичной обработки и переработки волокон и производства нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности; п.3 Технологии (в том числе нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности; п.19 Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства изделий текстильной и легкой промышленности.

Методики и методы исследования. Поставленные задачи решались путем использования современных теоретических и экспериментальных методов исследования. Основу теоретических исследований составили положения теории физики полимеров и структурных преобразований волокнообразующих систем. При исследовании свойств ПОД-нитей применены методы термомеханического анализа (ТМА), динамической термогравиметрии (ТГА), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), дифференциального термического анализа (ДТА). Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики.

Достоверность полученных результатов исследования обеспечена применением комплекса современных методик и стандартного оборудования, согласованностью результатов, полученных различными методами, а также экспериментальной проверкой в ходе натурных исследований на опытной установке.

Положения, выносимые на защиту:

1. Двухстадийный (сухо-мокрый) способ формования ПОД-нитей.
2. Опытная установка получения полиоксадиазольных комплексных нитей.
3. Технология получения ПОД-нитей сухо-мокрого формования на опытной установке.
4. Экспериментальные данные по исследованию эксплуатационных свойств ПОД-нитей предложенного способа формования.

Личный вклад автора состоит в постановке проблемы, разработке двухстадийного способа формования полиоксадиазольных нитей, усовершенствовании узлов и компоновке опытной установки для производства термостойких нитей на основе полиоксадиазольных систем, отработке технологии получения волокон сухо-мокрого формования на созданной установке, выборе методов исследования, анализе, обобщении и интерпретации результатов экспериментов. Обсуждение программы работы и результатов проведено автором при участии соавторов публикаций и научного руководителя.

Апробация результатов. Основные положения научно-квалификационной работы докладывались на следующих конференциях: XXI, XXII, XXIII, XXIV Международный практический форум «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX-2018, 2019, 2020, 2021) (Иваново, ИВГПУ, 2018, 2019, 2020, 2021); Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-техническая конференция «Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы» (ПОИСК-2019, 2021) (Иваново, ИВГПУ, 2019, 2021).

Публикации. По теме диссертационного исследования имеется 16 публикаций, из них две статьи в журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования «Scopus» и Web of Science, две статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ, два патента РФ на изобретение, 10 статей в журналах различного уровня.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы (95 наименований), приложений. Основная часть работы изложена на 109 страницах машинописного текста, включая 29 рисунков, 37 таблиц и 8 приложений на 8 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна, практическая и теоретическая значимость результатов, выносимых на защиту.

В первой главе на основе литературного обзора проведен анализ свойств термостойких и огнезащитных высокомодульных высокопрочных химических волокон отечественных и зарубежных производителей.

Большой вклад в области получения термостойких волокон и изучения их свойств внесли отечественные ученые проф. Г.И. Кудрявцев, проф. М.В. Шаблыгин, д.т.н. В.Н. Кия-Оглу, д.т.н. А.В. Волохина, проф. А.П. Морыганов, д.х.н. Н.С. Зубкова и др.

В главе приведены сравнительные характеристики основных известных термостойких волокон. Обоснован выбор класса термостойких волокнообразующих полиоксадиазольных систем и способ их формования для исследований.

Во второй главе приведен анализ известных способов формования синтетических нитей, показаны преимущества и недостатки каждого из них.

Показано, что в процессах получения химических волокон происходит образование структур за счет ориентационных процессов с циклизацией в макромолекулах, следствием которых является повышение их физико-механических показателей. На рис. 1 показана общая схема ориентационных процессов.

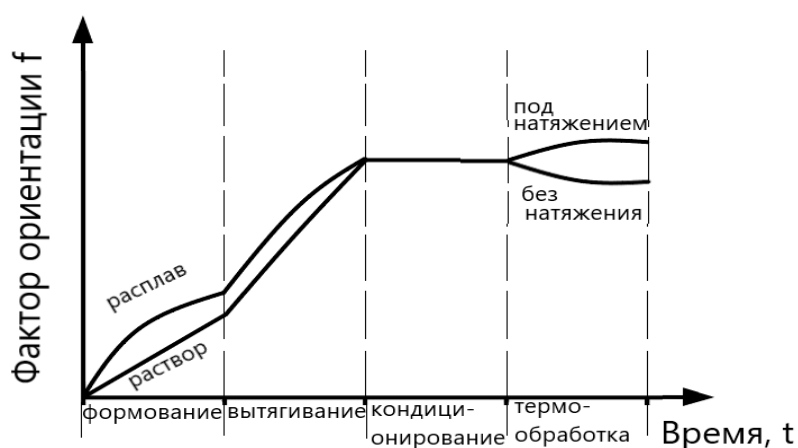


Рис. 1. Общая схема ориентационных изменений при получении химических волокон

Эти данные свидетельствуют о том, что основное структурообразование происходит при вытягивании за счет ориентационных процессов (пластификационная и термовытяжка).

Кратность ориентационной вытяжки μ рассчитывается по формуле:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{1 - c_H}{c_{кр} - c_H} \right), \quad (1)$$

где μ_0 – максимально возможная кратность ориентационной вытяжки.

Образование структурных сегментов является результатом фазовых переходов в прядильном растворе. Согласно модели, предложенной исследователями физико-технического института Российской академии наук, ориентационное упрочнение рассматривается как результат перестройки внутри молекулярных цепей и между ними.

Описан механизм образования непрерывной жидкой нити и приведены формулы расчета критической скорости истечения струи прядильного раствора, установлена кратность вытяжки для определения технологических параметров процесса.

Показаны энергетические затраты при переходе изолированной капли в непрерывную цилиндрическую струю:

$$E_{кин} + E_n = E_{пов}^u - E_{пов}^k, \quad (2)$$

где $E_{кин}$, E_n – кинетическая и потенциальная энергия капли;

$E_{пов}^u$ – поверхностная энергия струи;

$E_{пов}^k$ – поверхностная энергия капли.

Подставив значения энергий, получаем:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{mgl}{2} = \pi d_n l_\sigma d_k^2 \pi \sigma. \quad (3)$$

Подставив значения массы и длины струи и решив уравнение относительно критической скорости истечения струи, получаем:

$$V = [2g(r/3 d^{-1}H - r^{2/3}d^{-1})]^{1/2}. \quad (4)$$

Проведенный анализ различных способов формования выявил особенности каждого из них. Способ сухого формования имеет ограничения по использованным сырьевым компонентам, по линейной плотности и количеству филаментов в нити.

При формовании из растворов по мокрому способу происходят процессы взаимной диффузии растворителя и осадителя, что затрудняет регулирование структурообразования внутри макромолекул и поддержание постоянства состава сополимера. Высказано предположение, что сухо-мокрый способ формования ПОД-системы, ранее не применяемый для этих полимеров, может позволить сохранить степень циклизации, достигнутую при поликонденсации, ввиду отсутствия активатора дециклизации на первой стадии формования.

В результате исследований предложен способ двухстадийного формования растворов полиоксидазольных волокнообразующих систем. Первую фазу формования осуществляли через отверстия фильеры в газовую среду, а вторую фазу проводили в осадительной ванне разбавленной серной кислоты.

Третья глава содержит описание конструкционных разработок для формования ПОД-нитей сухо-мокрым способом. Проведена модернизация конструкции фильеры (рис. 2).

При исследовании параметров конструкции фильеры установлено, что формование по сухо-мокрому способу потребовало сокращения количества отверстий в фильере и соответственно уменьшения диаметра доньшка, значительного увеличения расстояния между отверстиями и изменения характера расположения их в доньшке фильеры. Сокращение количества отверстий в фильере позволило изменить форму отверстий с цилиндрической на коническую.

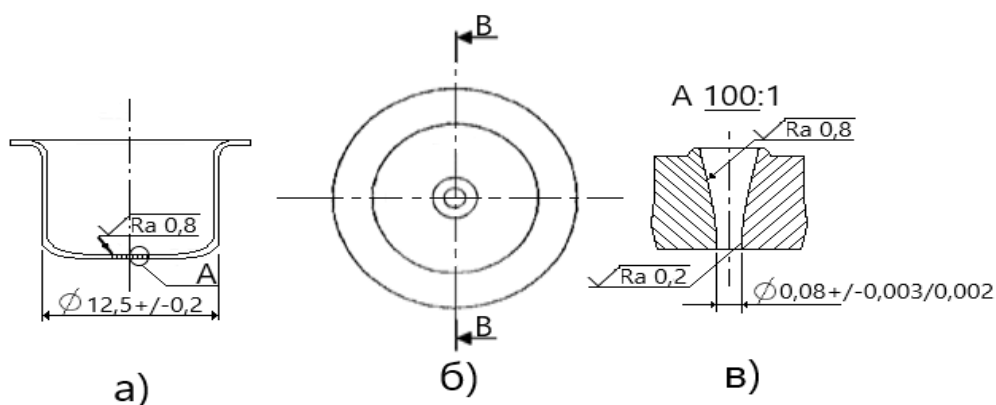


Рис. 2. Конструкция фильеры:
а) общий вид; б) вид сверху; в) разрез по вертикали

Для реализации выбранного способа получения ПОД-нитей с повышенными прочностными свойствами разработана опытная установка (рис. 3).



Рис. 3. Опытная установка:
1) узел полимеризации и формования; 2) узел намотки

На опытной установке разработаны контролируемые технологические параметры: давление на фильеру, скорость истечения раствора из фильеры, длина воздушной прослойки 10-20 мм, длина пути в осадительной ванне, скорость приема нити на приемную галету, рабочая скорость на вытяжной галете, температура сушки, температура термообработки.

Дана математическая интерпретация технологических факторов течения раствора через фильерные капилляры, включая скорость течения раствора в различных сечениях и фильерную вытяжку.

Для расчетов составили упрощенную конструктивную схему капилляра фильеры (рис. 4).

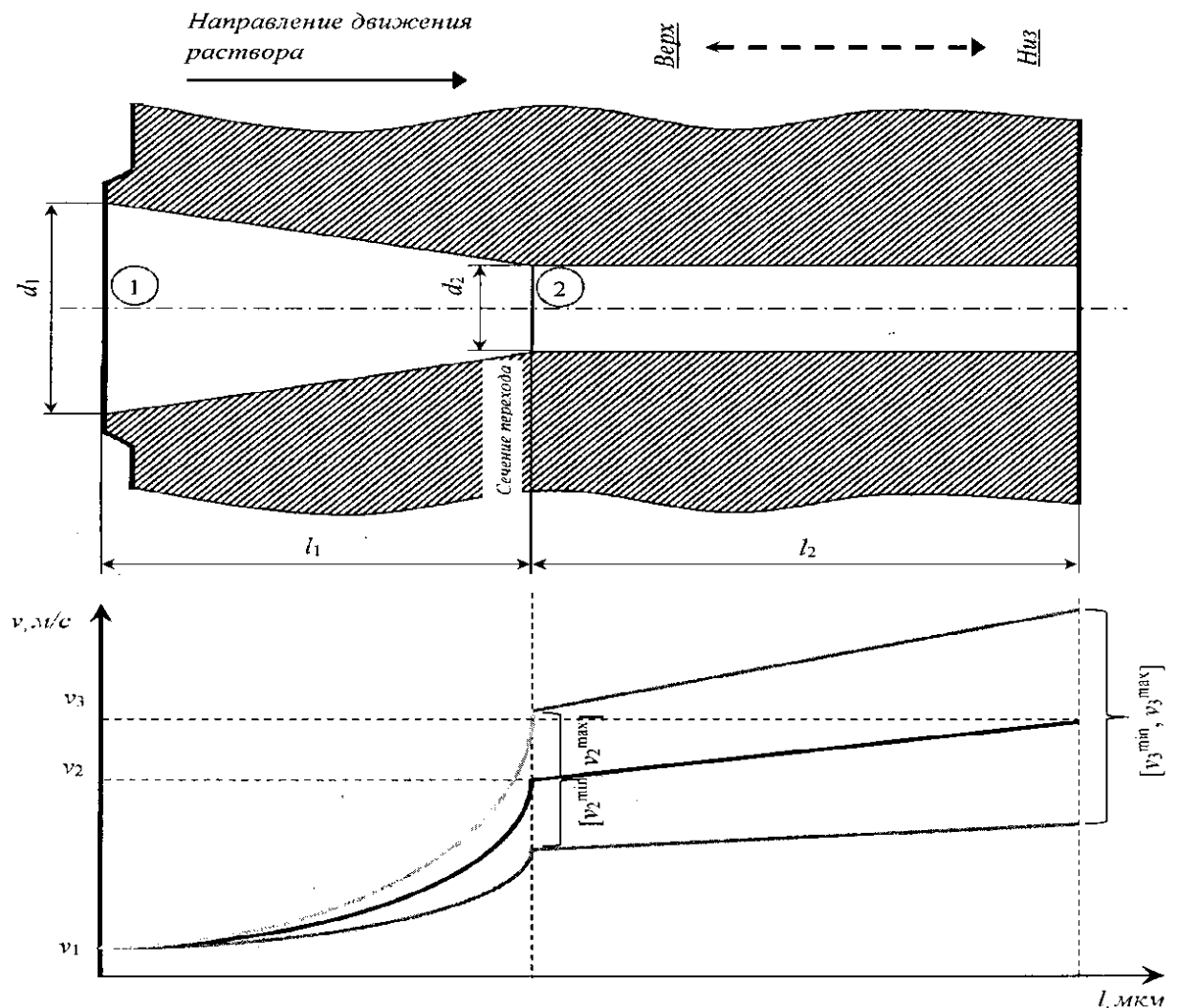


Рис. 4. Схема капилляра фильеры и эпюра скоростей движения раствора в капилляре

Основным движущим фактором на первом участке является внешнее давление на фильеру, которое определяет скорость V_1 . Тогда скорость V_2 в сечении перехода определяется:

$$v_2 = v_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2. \quad (5)$$

Для расчета скорости на выходе из фильеры принимаем, что сила, действующая на раствор:

$$F = F_T + F_B - F_C, \quad (6)$$

где F_T – сила тяжести, Н; F_B – сила вытягивания, Н; F_C – сила сопротивления, Н.

Тогда скорость на выходе из фильеры

$$E_2 = 1 + \frac{gt_2}{\rho v_2} \left(\frac{1 - 0,5\lambda \frac{v_2^2}{d_2 g^2}}{1 - \eta} \right). \quad (7)$$

Управление скоростными режимами течения раствора полимера через фильерные капилляры осуществляется регулированием таких конструктивных и технологических параметров, как давление на фильеру, соотношение диаметров входного d_1 и выходного d_2 отверстий капилляра, скорость приема нити на приемную и вытяжную галеты.

В четвертой главе представлены результаты исследования и анализ эксплуатационных свойств ПОД-нитей сухо-мокрого формования.

Результаты термического анализа (ТГА и ДСК) подтвердили высокую термостойкость и теплостойкость полученных волокон (рис. 5, 6).

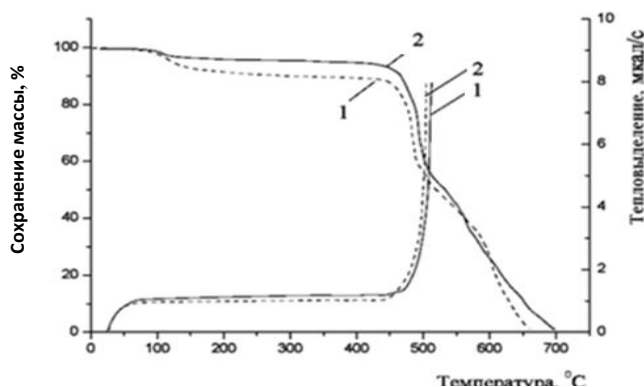


Рис. 5. Термостойкость полиоксадиазольных нитей:
1 – стандартная нить; 2 – нить сухо-мокрого формования

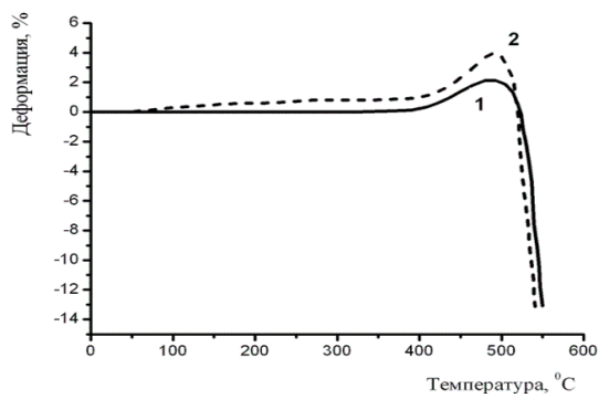


Рис. 6. Зависимость деформации от температуры:
1 – стандартная нить; 2 – нить сухо-мокрого формования

Исследование термостойких и теплостойких свойств известных ПОД-волокон и нитей сухо-мокрого способа указывает на отсутствие снижения этих свойств, которые сохраняются при разработанном способе формования до температур 400 °С. При таком значении температуры сохраняется химический состав и степень поликонденсации полимера независимо от способа формования.

Исследование процесса термообработки нитей в различных температурно-временных режимах проводили в свободном состоянии и под натяжением (рис. 7, 8).

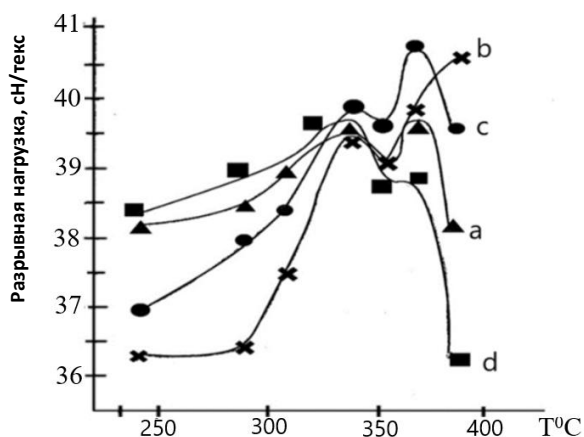


Рис. 7. Зависимость разрывной нагрузки ПОД-нити от температуры ее термообработки в свободном состоянии (время термообработки: а – 5 мин; б – 10 мин; в – 15 мин; г – 20 мин)

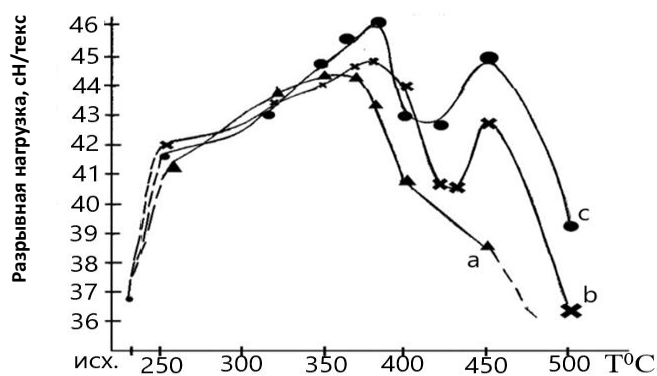


Рис. 8. Зависимость разрывной нагрузки нити от температуры ее обработки при кратности вытяжки 3...4 (время термообработки: а – 1-2 с; б – 2-4 с; в – 3-9 с)

Показано, что в обоих случаях термообработки ПОД-нити как с вытяжкой, так и без неё наблюдается бимодальная зависимость прочности от температуры обработки. Однако вследствие того, что в одном случае термообработке подвергалась нить в свободном состоянии и сравнительно

продолжительное время, а в другом случае – под натяжением и несколько секунд, наблюдается некоторый сдвиг первого и второго максимума в случае обработки в свободном состоянии в сторону более низких температур, а также при термовытягивании удельная разрывная нагрузка достигается несколько выше, чем при обработке в свободном состоянии.

На основании представленных результатов можно считать, что термическая обработка полиоксадиазольных волокон вызывает как деструктивные процессы, приводящие к потере прочности, так и процессы упорядочения структуры аморфных областей и более равномерное нагружение полимерных цепей, воспринимающих нагрузку, что в итоге обеспечивает повышение механических свойств.

Основные физико-механические характеристики ПОД-волокон и нитей сухо-мокрого формования приведены в табл. 1.

Таблица 1. Свойства ПОД-нитей сухо-мокрого формования

Показатели свойств	Волокно	Нить
Линейная плотность, текс	0,08 - 0,44	29,4 - 200
Плотность, г/см ³	1,42 - 1,44	
Модуль деформации, ГПа	-	15 - 30
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	25 - 35	30 - 50
Сохранение прочности в мокром состоянии, %	80 - 90	
Удлинение при разрыве, %	Более 20	Более 5
Влажность при нормальных условиях, %	12	4 - 6
Кислородный индекс, %	30-32 (галогенпроизводные сырьевые компоненты)	
Электрическое сопротивление, Ом мм ² /м, не менее	10 ¹⁰⁻¹¹	
Коэффициент трения (по металлу)	0,2	

В пятой главе сообщаются результаты исследования возможности применения ПОД-нитей сухо-мокрого формования. Для прогнозирования областей применения указанных комплексных ПОД-нитей выполнен эксперимент, задачей которого являлось создание структуры текстильного материала на основе полиоксадиазольных нитей сухо-мокрого способа формования, обеспечивающей удержание мелкодисперсной пыли металлов размером до 1 мкм и позволяющей гарантированно выдерживать нормы предельно-допустимого выброса в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02-2014.

В ходе исследований получен опытный образец материала, и результаты сравнительных испытаний свидетельствуют о том, что текстильные материалы предлагаемых структур на основе полиоксадиазольных волокон обладают комплексом свойств, требуемых при фильтрации горячих технологических газов и промышленного воздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложена технология производства полиоксадиазольных волокон с повышенными эксплуатационными свойствами.

По диссертационной работе сделаны основные выводы:

1. На основе проведенного анализа мировой конъюнктуры обоснована возможность получения термостойких высокопрочных комплексных нитей на основе полиоксадиазольных систем отечественного производства взамен импортных.

2. Рассмотрен механизм образования непрерывной жидкой нити и приведены формулы расчета критической скорости истечения струи прядильного раствора и кратности вытяжки для разработки технологических параметров процесса.

3. С учетом преимуществ и недостатков известных способов формования химических нитей доказана возможность применения сухо-мокрого способа формования ПОД-систем при сохранении степени циклизации, достигнутой при поликонденсации. Ранее этот способ не применялся для волокнообразующих ПОД-систем.

4. В целях обоснования конструктивных и технологических параметров фильер предложена математическая интерпретация технологических факторов сухо-мокрого формования комплексной ПОД-нити стабильной структуры.

5. В условиях сухо-мокрого способа формования комплексной ПОД-нити предложена усовершенствованная фильера с 200...300 капиллярами конической формы, расстоянием между отверстиями 0,85 мм и диаметром доньшка фильеры 12,5 мм.

6. Установлена длина пути жгутика в осадительной ванне 85 см и кратность пластификационной вытяжки 3...4.

7. Разработана опытная установка для получения комплексной ПОД-нити сухо-мокрым способом, оборудованная КИП для контроля параметров, установлены технологические параметры формования ПОД-нитей сухо-мокрым способом.

8. Показано, что разработанный способ получения нитей на основе волокнообразующих полиоксадиазольных систем позволил придать им набор улучшенных эксплуатационных свойств, таких, как безусадочность, повышенная механическая удельная разрывная нагрузка и равновесная влажность, пониженное относительное удлинение и электросопротивление, а также высокая морозостойкость (до -70°C).

9. Предложен текстильный материал на основе полиоксадиазольных нитей и волокон для фильтрации горячих технологических газов, обеспечивающий удержание мелкодисперсной пыли металлов размером до 1 мкм.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Проведенные исследования являются основой для комплекса разработок технологического плана, направленных на создание текстильных материалов, конструкций и технологий их получения, предназначенных для применения в области фильтрующих и покровных элементов, специальной одежды для работников и служащих в различных отраслях промышленности взамен импортных.

Последующие работы предусматривают:

- исследования по расширению областей применения ПОД-нитей сухомокрого формования и изучение требований, предъявляемых к изделиям;
- разработку технологии получения пряжи широкого ассортимента из ПОД-волокна в соответствии с условиями эксплуатации изделий;
- разработку ассортимента тканых, нетканых и трикотажных полотен для различного применения;
- проведение серии натуральных испытаний изделий с использованием ПОД-нитей с целью оптимизации свойств материалов конструкции;
- разработку математических моделей новых материалов для целенаправленного выбора их структуры и свойств.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования «Scopus» и Web of Science

1. Makarov B.P. Study and analysis of the properties of poly(paraphenylene-1,3,4-oxadiazole) fibers design ed for textile items / B.P. Makarov, M.V. Shablygin, A.Y. Matrokhin, M.P. Mikhailova // Fibre chemistry. – 2020. – №5, art. 384-386.
2. Makarov B.P. A method for producing nonwoven fabric based on Arselon fiber for filtration of air mixtures / B.P. Makarov, M.V. Shablygin, A.Y. Matrokhin, M.P. Mikhailova // Fibre chemistry. – 2020. – №6, art. 437-439.

Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ

3. Макаров Б.П. К оценкам изменения коэффициентов вязкости синтетических нитей в процессе их деформации / Б.П. Макаров, В.Ш. Саркисов, П.Ю. Тер-Микаэлян, М.В. Шаблыгин // Химические волокна. – 2021. – №6. – С. 34-36.
4. Макаров Б.П., Шаблыгин М.В., Михайлова М.П. Текстильный материал для фильтрации горячих технических газов и промышленного воздуха // Химические волокна. – 2022. – №5. – С. 26-27.

Патенты

5. Патент RU 2760532. Текстильный материал для фильтрации горячих технологических газов и промышленного воздуха / Макаров Б.П., Макаров П.Б., Макарова И.П., Захарова Е.П., Михайлова М.П.; заявитель и патентообладатель ООО НПФ «Термостойкие изделия». – 2021110219; заявл. 13.04.2021; опубл. 26.11.2021, Бюл. №33.

6. Патент RU 2022113790/04. Способ получения полиоксадиазольной нити / Макаров Б.П., Макаров П.Б., Макарова И.П., Захарова Е.П., Михайлова М.П.; заявитель и патентообладатель ООО НПФ «Термостойкие изделия». – 2022113790; заявл. 24.05.2022; опубл. 28.11.2022, Бюл. №34.

Материалы научных изданий, технических конференций и выставок

7. Макаров Б.П. Способ получения ворсовой ткани из химических полиоксадиазольных комплексных нитей / Б.П. Макаров // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018): сб. матер. XXI Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2018. – Ч. 2. – С. 29-32.

8. Макаров Б.П. Разработка нового (отечественного) способа получения мономера для производства полиоксадиазольного волокна (Арселон) новым способом / Б.П. Макаров, П.Б. Макаров, М.В. Шаблыгин // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018): сб. матер. XXI Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2018. – Ч. 2. – С. 69-74.

9. Макаров Б.П. Ткань для фильтрации воздушных и газообразных систем / Б.П. Макаров, М.П. Михайлова, В.С. Колтунчиков // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2018): сб. матер. XXI Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2018. – С. 92-95.

10. Макаров Б.П. Создание лабораторной установки для получения арселоновых волокон нового поколения / Б.П. Макаров, А.Ю. Матрохин // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК-2019): сб. матер. всерос. (с международным участием) молодёжной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2019. – Ч. 2. – С. 7-9.

11. Макаров Б.П. Изучение возможности применения сухо-мокрого формования полиоксадиазольного волокна на опытной установке / Б.П. Макаров, М.В. Шаблыгин, А.Ю. Матрохин, М.П. Михайлова // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2019): сб. матер. XXII Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2019. – Ч.1. – С. 126-129.

12. Макаров Б.П. Изучение возможности улучшения условий формования полиоксадиазольных волокон путем подбора фильер / Б.П. Макаров // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2019): сб. матер. XXII Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2019. – Ч. 1. – С. 130-133.

13. Макаров Б.П. Влияние содержания растворителя в волокне Арселон на его прочность при термообработке / Б.П. Макаров // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2020): сб. матер. XXIII Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2020. – Ч. 1. – С. 235-236.

14. Макаров Б.П. К вопросу об использовании оксадиазольных волокон нового поколения в текстильных изделиях / Б.П. Макаров, А.Ю. Матрохин // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК-2021): сб. матер. всерос. (с международным участием) молодёжной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2021. – С. 84-87.

15. Макаров Б.П. К вопросу исследования влияния термообработок на гидролитические свойства полиоксадиазольных волокон / Б.П. Макаров, А.Ю. Матрохин, М.П. Михайлова // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2021): сб. матер. XXIV Междунар. науч.-практ. форума. – Иваново: ИВГПУ, 2021. – Ч. 1. – С. 121-124.

16. Макаров Б.П. Технические изделия на основе поликонденсационных оксадиазольных систем / Б.П. Макаров, П.Б. Макаров, М.П. Михайлова // Композитный мир. – 2022. – №3 (100). – С. 8-10.

Макаров Борис Павлович

Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 28.06.2023 . Усл. печ. л. 1,0. Тираж 80 экз.

156005, Кострома, ул. Дзержинского, д.17/11