

КНЯЗЬКИН СТАНИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ

Разработка технологии создания текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в атомной промышленности.

Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена на кафедре технологии и конструирования
 Димитровградского инженерно-технологического института (филиала)
 Федерального государственного автономного образовательного учреждения
 высшего профессионального образования «Национальный исследовательский
 ядерный университет «МИФИ»

Научный руководитель	Генеральный директор ООО «Нефтегазовые технологии МИФИ» доктор технических наук, профессор Панин Иван Николаевич
Официальные оппоненты	Доктор технических наук, доцент, зам. директора по научной работе, заведующий кафедрой «Технология текстильного производства» Камышинского технологического института, филиала ФГБОУ ВПО Волгоградского государственного технического университета Назарова Маргарита Владимировна. Кандидат технических наук, доцент, консультант по ведению научно-исследовательских работ ЗАО «ТРИ-Д» Сумарукова Раиса Ильинична.
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Костромской государственный технологический университет (КГТУ).

Защита состоится « 21 » апреля 2016 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.144.06 при Московском государственном университете дизайна и технологии по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии» <http://www.mgudt.ru/>

Автореферат разослан « » _____ 2016 года

Ученый секретарь
 диссертационного совета Д 212.144.06
 доктор технических наук, профессор

Е.А. Кирсанова

АННОТАЦИЯ

В работе показано, что текстильные материалы все шире используются в качестве армирующих компонентов композиционных материалов, используемых в атомной энергетике. Главным критерием выбора текстильных материалов для армирования композиционных материалов, используемых в критических отраслях, являются их свойства и устойчивость к воздействию радиации и агрессивных сред. Показано, что технология армирования оказывает существенное влияние на свойства и качественные показатели конечных продуктов. Высокие качественные показатели показывают композиционные материалы, формируемые с помощью «коротких» технологий, оказывающих минимальное истирающее воздействие на нити армирующего компонента. Максимально «легкие» композиционные материалы, армируемые текстильными нитями, могут быть получены только на базе мотальных паковок сомкнутой структуры, имеющие коэффициент заполнения 0,785. К «коротким» технологиям армирования композиционных материалов следует отнести формирование плоских текстильных полотен, формируемых «фальшнамоткой». Для совершенствования технологических процессов армирования композиционных материалов углеродными волокнами на базе тканых структур необходимо проводить специальную подготовку пленочных нитей с целью снижения их истирания о направляющие органы ткацких станков. Для повышения равновесности пленочных нитей из углеродных волокон проведены исследования по их кручению и трещению на отечественном оборудовании. Создание многослойных тканых структур из углеродных нитей возможно при использовании специального przygotowательного и ткацкого оборудования. Натяжные приборы оказывают решающее влияние не только на величину натяжения перерабатываемых нитей, но и на степень их истирания и снижения физико-механических свойств конечных продуктов. На прочностные характеристики композиционных материалов оказывают влияние структурные показатели армирующих компонентов, а именно удельная плотность намотки, угол скрещивания витков и натяжение нитей (степень прессования намотки вышележащими слоями витков). На себестоимость производства композиционных материалов, армируемых текстильными компонентами, решающее влияние оказывают выбранные технологии армирования и она тем ниже, чем «короче» технология. Для производства композиционных материалов, применяемых в атомной энергетике наиболее применимо армирование их термостойкими углеродными и кремнеземными волокнами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Разработка технологии создания текстильных армирующих компонентов композиционных материалов для использования их в критических технологиях,

в том числе и в атомной энергетике, является актуальной проблемой, решение которой позволяет:

- создать с помощью «коротких» технологий способ формирования армирующих компонентов композиционных материалов изготавливаемых из термостойких волокон и нитей;
- создать цельные конструкции изделий специального назначения, применяемых в атомной промышленности для хранения и транспортировки ОЯТ (отработанного ядерного топлива);
- разработать способы формирования комплексных (многослойных) текстильных армирующих компонентов композиционных материалов из тканей, волокон и нитей различной природы;
- создавать специальное мотальное оборудование для формирования намоткой нитей различной природы армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических отраслях и покупаемых за рубежом, обеспечить тем самым импортозамещение данных изделий;

Развитие теоретических положений по созданию текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических технологиях, позволяет существенно расширить ассортимент материалов специального назначения (термостойких, прочных, стойких к воздействию агрессивных сред и радиации), отказавшись от использования аналогичных зарубежных образцов.

Особенностью данной работы является комплексное решение вопросов проектирования и производства текстильных армирующих компонентов из термостойких волокон и нитей, при условии снижения трудозатрат и расходов электроэнергии по сравнению с зарубежными аналогами. Для реализации данных задач используются последние достижения российских ученых текстильщиков, работающих в области технического текстиля.

Целью данной работы является разработка новых способов формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических отраслях (включая атомную энергетику).

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- исследованы существующее и создано новое специальное мотальное оборудование, конструкция которого позволяет формировать многослойные, комплексные армирующие компоненты композиционных материалов из текстильных термостойких волокон и нитей различной природы;
- проведён критический анализ существующих технологий армирования композиционных материалов, применяемых в нашей стране и за рубежом;
- разработаны аналитические методы расчета технологических параметров формирования и параметров структуры текстильных материалов для композитов;
- разработана технология формирования высокопрочных и термостойких композиционных материалов, применяемых в критических отраслях;

- проведены экспериментальные исследования процессов формирования изделий специального назначения на базе намоток и тканей из стеклонитей и углеродных волокон;
- произведена наработка опытных образцов композиционных материалов специального назначения на базе намоток и тканей из термостойких нитей, обеспечивающих импортозамещение зарубежных образцов.

Научная новизна работы заключается в том, что на основе разработки нового способа формирования плоских текстильных полотен из термостойких нитей различной природы методом «фальшнамотки», а также теоретических положений расчета прочностных характеристик композиционных материалов армированными различными структурами намоток. При этом:

- разработан способ формирования армирующих компонентов композиционных материалов на базе мотальных паковок заданной структуры и формы намотки;
- разработана «короткая» технология и способ формирования армирующих компонентов композиционных материалов из нитей различной природы;
- разработаны конструкции специального мотального оборудования, обеспечивающего формирование и импортозамещение армирующих компонентов композиционных материалов на базе тканей и намоток;
- выпущены новые опытные образцы комплексных компонентов композиционных материалов применяемых в критических областях, обеспечивающих импортозамещение аналогичных структур.

Практическая ценность результатов работы заключается в том, что:

- разработаны и внедрены в производство новые способы формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов из термостойких нитей различной природы;
- разработано и внедрено в производство специальное мотальное оборудование, позволяющее выпускать цельные конечные изделия композиционных материалов, армированные текстильными нитями из стекло-, углеродных и базальтовых волокон.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, базируются на большом экспериментальном материале, использовании современных научных теорий, корректном применении методов статистического анализа, использовании современных средств исследования и информационных технологий, подтверждается соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также использованием в качестве базовых исследования достижений ученых-текстильщиков отечественных и зарубежных научных центров, работающих в области создания текстильных материалов для композитов, применяемых в критических отраслях.

Автор защищает:

- разработанную «короткую» технологию создания текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических областях, на базе «фальшнамоток», формируемых из термостойких и высокопрочных волокон различной природы;
- аналитические расчеты прочностных характеристик армирующих компонентов композиционных материалов на базе термостойких текстильных волокон различной природы;
- технологию и конструкции специального мотального оборудования, обеспечивающего выпуск комплексных армирующих компонентов композиционных материалов, применяемых в критических областях;
- результаты экспериментальных исследований процесса формирования композиционных материалов армированных текстильными термостойкими материалами, формируемыми на базе намоток и тканей из стекловолокон.

Апробации и реализация результатов работы:

По результатам работы сделано два доклада на научно-технических конференциях регионального уровня, где получили положительную оценку. Результаты работы апробированы и внедрены в производство композиционных материалов специального назначения на: ЗАО «АК Рубин» г. Балашиха; ОАО «Нефтегазовые технологии МИФИ» г. Димитровград; АО «ГНЦ РФ НИИАР» г. Димитровград.

Публикации:

По материалам диссертационного исследования опубликовано 12 работ, из которых 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 8 статей в сборниках научных трудов, 2 работы в виде тезисов и докладов на всероссийских научно-технических конференциях.

Объем и структура работы:

Диссертационная работа изложена на 175 странице машинописного текста и состоит из пяти глав, общих выводов по работе, 3 приложений, списка использованной литературы, включающего 74 наименований источников, включает 21 таблицу и 30 иллюстраций.

Содержание работы

Во введении приведено обоснование выбора темы исследования, её актуальность, отражена научная новизна и практическая значимость работы, сформулирована цель и задачи исследований.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу технологических процессов изготовления текстильных материалов для композитов.

Критический анализ технологических процессов формирования армирующих компонентов композиционных материалов на базе текстиля показал, что большинство существующих технологий многостадийны, энергоемки и трудозатратны, снижают прочностные характеристики исходного сырья (углеродных

нитей). Вследствие многократного истирания нитей о направляющие органы технологического оборудования, снижаются качественные характеристики конечных продуктов. Оптимальным, для формирования армирующих компонентов композитов, следует считать однопроцессные «короткие» технологии и способы армирования.

В настоящее время исследователями, занимающимися разработкой новых композиционных материалов, применяемых в атомной промышленности, ракетостроении и авиации, то есть в так называемых «критических отраслях», все больше внимания уделяется текстильным технологиям, с помощью которых производится армирование композитов. Прежде всего, это относится к области переработки термостойких материалов, устойчивых к воздействию ударных нагрузок и агрессивных сред. Об этом подробно говорится в работах, нацеленных на создание композиционных материалов нового поколения, где подчеркивается важность и их импортозамещения.

Углеродные волокна отечественные производители вырабатывают при термообработке, превышающей температуру графитизации (1400°C), их называют ПАН-волокна. Температура термообработки волокон обеспечивает формирование: «НТ-волокон» (низкотемпературных до 1400°C); «СТ-волокон» (среднетемпературных $1300\div 2000^{\circ}\text{C}$); «ВТ-волокон» (высокотемпературных более 2000°C).

Теоретический предел прочности волокон определяется по формуле:

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{E\gamma}{a}}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости; a – межатомное расстояние; γ – энергия расширения.

Для графита $\sigma_{теор} \approx \frac{E}{10}$, теоретическая прочность углеродного волокна составляет 100 ГПа. Несмотря на высокие прочностные характеристики углеродных волокон, до сих пор точного ответа о максимально возможном наполнении им композиционного материала не существует. Как показали расчеты максимально возможный коэффициент заполнения объема композиционного материала армирующим компонентом обеспечивает сомкнутая намотка углеродных нитей на цилиндрическую паковку и он составляет $k_3 = 0,785$. Данный вывод получен на основании расчетов упорядоченного расположения волокон в мультифиламентных нитях (жгуты), которых может быть от 12000 до 3200000 моноволокон. Такое наполнение армирующим компонентом позволяет проектировать создание самых легких композиционных материалов для атомной промышленности, авиации и космонавтики.

Такие материалы в атомной энергетике применяются для длительного хранения и транспортировки отработанного ядерного топлива (ОЯТ) как контейнеры, включающие от двух до четырех термостойких герметичных пеналов, в которые помещают по одной тепловыделяющей сборке (ТВС).

Определено направление исследований по созданию новых способов формирования термостойких плоских и объемных армирующих компонентов заданной формы с помощью «фальшнамоток».

Установлено, что:

- применение высокопрочных и термостойких текстильных волокон, нитей, тканей, нетканых полотен имеют большое значение для создания новых материалов для всех критических технологий, включая атомную энергетику;
- основным критерием выбора того или иного армирующего наполнителя композиционных материалов являются свойства исходных текстильных волокон и нитей, а также технология их переработки;
- технология армирования композитов оказывает существенное влияние на долевое содержание в изделии связующего и армирующего компонентов, что определяет в итоге вес конечного продукта;
- применение волокон в качестве армирующего компонента композиционных материалов требует большого объема связующих смол, при этом структура армирования остается хаотичной, что снижает прочностные характеристики конечного продукта;
- благодаря низкому содержанию бора кремнеземные волокна могут быть использованы для создания тепловых экранов и воздействия нейтронов и γ -лучей в атомной энергетике;
- высокую эффективность показывают при их использовании в атомной энергетике волокна из кремнекислого алюминия – «файберфракс», но с учетом их ограниченного выпуска необходимо провести мероприятия по импортозамещению, то есть увеличить объемы выпуска этих волокон в нашей стране;
- применение нитей специального назначения в качестве армирующего компонента позволяет расширить технологии их переработки, но при этом необходимо применять более «короткие» технологии, оказывающие меньшее истирающее воздействие на нити;
- армирование ткаными структурами композиционных материалов обеспечивает формирование цельных конечных изделий, но требует специального технологического оборудования, причем для переработки каждого вида (сырья) из которого изготовлены нити основы и утка;
- оптимизация новых «коротких» технологических процессов изготовления композиционных материалов с использованием текстильных армирующих компонентов является актуальной задачей;
- использование «коротких» технологий армирования композитов обеспечивает не только снижение трудозатрат на их изготовление, но главное позволит повысить их прочность за счет снижения вредного истирания нитей в процессе их переработки в изделие.

Во второй главе представлены исследования различных технологических процессов армирования композиционных материалов с использованием термостойких волокон. Потребность в получении для критических отраслей и производств (в том числе и атомной промышленности) материалов с оптимальными физико-механическими характеристиками, (устойчивостью к воздействию высоких температур, агрессивных сред и т.д.), привела конструкторов к изучению и разработке новых технологий армирования термостойкими волокнами композиционных материалов и изделий специальными связующими (в основном терморезистивными смолами).

Для выработки плоских однослойных и многослойных тканых структур бесчелночные тканые станки использоваться не могут, так как они формируют искусственную – закладную или перевивочную кромку. Без разрыва уточной нити ткани можно сформировать только на челночных механических ткацких станках. Для чего уточная нить должна быть перемотана в уточную паковку (уточную шпулю или трубчатый початок), которая может быть помещена в челнок. Для этого плоским углеродным нитям необходимо придать округлую форму.

Для создания таких нитей были определены основные параметры кручения плеточных плоских нитей, к которым относятся: величина крутки (K); величина укрутки (Y); скорость выпуска нити передним (питающим) цилиндром в зону кручения ($v_{\text{пц}}$); натяжение нити в процессе кручения (F);

Величина крутки определяется по формуле:

$$K = \frac{n_B}{v_{\text{пц}}} \approx \frac{n_B}{v_{\text{пц}}}, \quad (2)$$

где n_B – частота вращения бегунка, об/мин; n_V – частота вращения веретена, об/мин; $v_{\text{пц}}$ – скорость выпуска нити передним (питающим) цилиндром.

Укрутка – процентное укорочение плеточной нити вследствие крутки, определяется по формуле:

$$y = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где l_1 – первоначальная длина одной или нескольких строченных нитей; l_2 – длина плоской нити на том же участке после кручения.

Коэффициенты укрутки:

$$K_y = \frac{l_2}{l_1} = \frac{100 - Y}{100}; \quad (4)$$

Наименьшее истирающее воздействие при переработке испытывают нити при перемотке, а использование разверток намотки позволяет создавать плоские нетканые полотна заданных размеров.

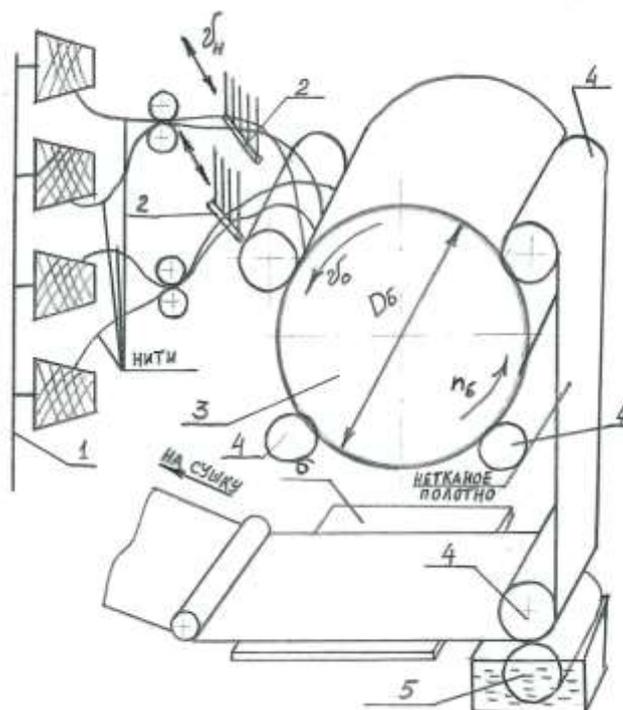
Поэтому, с учетом выше изложенного, вопрос о разработке новых – «коротких» технологий выработки из термостойких материалов плоских текстильных полотен различной ширины имеет большое практическое значение, особенно для производителей новых легких материалов, применяемых в критических отраслях.

Для реализации данной задачи нами разработан способ формирования плоских нетканых полотен заданной ширины с помощью «фальшнамотки». Данный способ холстообразования одностадиен и базируется на использовании преимуществ технологии намотки нитей на паковку, но позволяет формировать протяженное полотно любой длины.

Суть способа поясняется чертежом, показанным на рис 1, где приведена технологическая схема процесса формирования плоских нетканых полотен из термостойких текстильных волокон методом «фальшнамотки».

Нити со шпулярика 1 подаются в зону перемещения гребенок 2, которые движутся навстречу друг другу по заданному закону. Нити, пробранные в раз-

ные гребенки, переплетаются между собой и навиваются на вращающийся барабан 3, причем, только на часть его периметра ($\frac{2}{3}$ периметра). Прижимные валы 4 направляют сформированное плоское полотно в клеевое корыто 5, где с помощью клеевого связующего происходит закрепление перекрещенных между собой нитей. Из клеевого корыта сформированное «фальшнамоткой» плоское полотно поступает в сушильную часть 6 для термофиксации.



Установлено, что:

- самые, максимально легкие по весу конструкции композиционных материалов с использованием в них текстильных армирующих компонентов (волокон, нитей, тканей, намоток и т.д.) могут быть получены только на базе сомкнутых намоток нитей на оправки цилиндрической намотки;
- максимально-возможное заполнение композиционных материалов текстильным армирующим компонентом обеспечивает односомкнутая намотка нитей, которое составляет величину равную 0,785;
- прессующее воздействие на текстильный армирующий материал (при сохранении его структуры) в незначительной степени влияет на коэффициент заполнения объема композита армирующим компонентом;
- для совершенствования технологического процесса выработки армирующих компонентов композитов на базе сложной структуры необходимо проводить предварительную подготовку нитей, которая обеспечивала бы оптимальные условия их переработки на ткацком станке (кручение, трощение и т.д.);
- с целью получения равновесных нитей из плоских углеродных (жгутовых) волокон целесообразно использовать двойную встречную SZ крутку, что обеспечивает повышение их равновесности, снижение степени истирания о направляющие органы ткацких станков (за счет более округлой формы и сни-

жения площади контакта нитей с бердом), а, следовательно, снижения вредного трения нитей;

- разработаны способы получения многосекционных слоисто-каркасных тканей, которые дают возможность вырабатывать углеродные ткани значительной толщины и удельной плотности;

- соединение секций в многослойной ткани между собой с помощью нитей рекомендуется применять в тех случаях, когда необходимо получать тканое изделие большой толщины и высокой удельной плотности.

- разработан новый способ формирования плоских нетканых полотен из текстильных термостойких волокон методом «фальшнамотки».

Третья глава раскрывает суть экспериментальных исследований процессов формирования армирующих компонентов композиционных материалов из термостойких волокон. Очевидно, что характер расположения витков на поверхности намотки будет оказывать существенное влияние на величину давления верхних витков на нижние наряду с величиной натяжения нити. Так, при параллельной намотке нити на цилиндрическую паковку силы, действующие на нить, находящуюся под натяжением t , будут оказывать давление на нижележащие слои намотки и на оправку. Давление витка нити в этом случае можно определить из выражения:

$$\frac{dN}{2} = t \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} \approx t \frac{d\varphi}{2}, \quad (5)$$

где: N – величина нормального давления нити на паковку в зоне контакта;

t – заправочное натяжение нити на мотальной машине;

При крестовой структуре намотки нитей на цилиндрическую паковку, распределение давления витков нитей на поверхность паковки определяется из выражения:

$$dN = t \cos \frac{\beta}{2} d\varphi, \quad (6)$$

где: β – угол скрещивания витков.

Изменение величины давления нити на паковку от числа витков на участке дуги АВ от числа витков i составит:

$$\Delta N = dNi, \quad (7)$$

Установлено, что:

- для формирования армирующих компонентов композиционных материалов намоткой необходимо специальное мотальное оборудование, которого отечественная промышленность не выпускает;

- мотальное оборудование фрикционного типа применять для создания композиционных материалов из термостойких волокон и нитей нельзя, так как оно вызывает дополнительное вредное истирание нитей мотальным барабанчиком и не позволяет получать прецизионную (заданную) структуру намотки нитей на паковке;

- натяжные приборы оказывают решающее влияние не только на величину натяжения нитей при перематывании, но и на их истирание, а также степень

прессования намотки, что необходимо учитывать при формировании армирующих компонентов композитов;

- величина натяжения нитей при формировании мотальных паковок оказывает влияние на степень прессования намотки и структуру расположения армирующих нитей в композиционном материале;

- форма намотки мотальных паковок и кривизна их поверхности, а также угол скрещивания витков, оказывают существенное влияние на степень прессования намотки вышележащими витками нитей;

- взаимное расположение нитей в структуре намотки армирующих компонентов оказывает существенное влияние на напряжения, возникающие в нитях в композиционном материале;

- при расчете напряжений нитей, возникающих в структуре композиционных материалов, формируемых намоткой, необходимо учитывать взаимное расположение нитей во всем объеме формируемого армирующего материала;

- расчет напряжений в армирующих нитях клеевых компонентов композиционных материалов, формируемых намоткой, следует выполнять с предварительным расчетом числа витков нитей в замкнутом намоткой объеме.

Четвёртая глава посвящена методам контроля качества формируемых армирующих компонентов композитов. Контроль качества формируемых изделий может производиться общеизвестными методами: обмером изделий и сравнением их с эталонами (образцами); испытаниями на герметичность и физико-механических свойств (разрыв); неразрушающим контролем структур с помощью ультразвуковых установок.

Контроль конструктивных и технологических параметров, формируемых изделий, необходим для своевременного исправления возможных изменений технологического процесса в режиме формирования. Например, по расчетному и фактическому показателю удельной плотности намотки можно установить оптимальную величину натяжения нитей и степени прессования намотки, а по значениям плотности пористости тканей можно рассчитать коэффициент заполнения будущего композита армирующим компонентом и результирующий вес готового изделия.

Особое внимание необходимо уделить подготовке связующих наполнителей (смола), используемых при формировании композиционных материалов. Это могут быть терморезактивные смолы (отверждаемые при нагреве, переходя в неплавкое и нерастворимое состояние), в то время как термопластичные смолы при нагревании размягчаются и отверждаются при охлаждении. Связующее на армирующий наполнитель композита наносят методами пропитки, вакуумного заполнения, распыления, окунания и т.д. Выбор связующего определяет особенности изготовления композиционных материалов и его способности склеивать отдельные волокна и слои армирующего материала, то есть от адгезионных свойств смол.

Для определения факторов, оказывающих решающее влияние на структуру намоток армирующих материалов, были проведены испытания: на специальном оборудовании формировались цилиндрические и конические паковки из различных термостойких волокон.

За выходной параметр была принята удельная плотность намотки формируемых паковок, а основными независимыми факторами приняты:

- диаметр намотки мотальной паковки – X_1 (см);
- натяжение наматываемой нити – X_2 (сн);

Как показывают расчеты и графики при возрастании диаметра намотки x_1 , удельного давления укатывающего валика на намотку x_3 и натяжения наматываемой нити x_2 удельная плотность намотки увеличивается.

При исследовании удельной плотности мотальных паковок сомкнутой структуры в качестве матрицы планирования эксперимента была реализована матрица B_3 бокса.

Исследования показали, что на величину плотности намотки паковок сомкнутой структуры оказывают влияние натяжение наматываемой нити, степень прессования намотки укатывающим валиком и средний диаметр намотки паковки. Однако, влияние этих факторов на плотность намотки паковок сомкнутой структуры значительно слабее по сравнению с их влиянием на плотность намотки паковок обычной (застилистой) структуры. Таким образом, проведенные исследования показали, что на качество армирования композиционных материалов из стекло- и углеродных волокон решающее влияние оказывает структура намотки паковок. У сомкнутых структур она наиболее плотнее и постоянная в осевом и радиальном направлениях армирования.

Экспериментальные исследования позволили установить, что:

- на структуру армирующих компонентов композиционных материалов, формируемых из стекло- и углеродных волокон, оказывают различные факторы, а прежде всего удельная плотность волокон в структуре композита;

- для армирующих структур, предназначенных для формирования легких изделий (летательных конструкций) целесообразнее использовать намоточные технологии их формирования, которые обеспечивают максимальную удельную плотность нитей на паковку, а, следовательно, и максимальный коэффициент заполнения композита армирующим материалом;

- на структуру намоточных армирующих компонентов влияют технологические параметры мотального оборудования: натяжение наматываемых нитей, степень их прессования, конусность паковок и т.д.;

- для выявления наиболее значимых факторов, влияющих на структуру армирующих компонентов из дорогостоящего сырья, нами был проведен полнофакторный эксперимент второго порядка для цилиндрических и конических паковок;

- основными факторами, влияющими на структуру намоток армирующих компонентов композитов, формируемых намоткой, были приняты: диаметр намотки паковки; величина натяжения нити; степень прессования намотки;

- оценка коэффициентов регрессии показала, что с увеличением степени прессования намотки, величины натяжения и диаметра, удельная плотность – как выходной параметр, тоже возрастает, однако, при сомкнутой структуре намотки нитей на паковку это влияние минимально;

- на удельную плотность намоток армирующих компонентов конической формы угол конуса оказывает незначительное влияние только при сомкнутой

структуре нитей, при размыкании нитей возрастает влияние степени прессования намотки и натяжения нитей;

- на качество армирования композиционных материалов из стекло- и углеродных волокон решающее влияние оказывает структура намотки паковок. У сомкнутых структур она наиболее плотнее и постоянная в осевом и радиальном направлениях армирования.

Пятая глава диссертации посвящена расчётам экономической эффективности производства армирующих текстильных материалов композиционных материалов.

В настоящее время производство армирующих компонентов композиционных материалов намоткой нитей требуемой структуры на оправки заданной формы значительно укорачивает технологический процесс и полностью исключает стадии снования и самого ткачества. Кроме того, при создании композитов на базе тел вращения отпадает необходимость раскроя препрегов, так как создается сразу сам композит в цельной форме.

Однако, для формирования намоточных элементов необходимо специальное мотальное оборудование, которого в России не выпускают, а стоимость его за рубежом значительно выше стоимости ткацких станков и сновальных машин, что, соответственно, обуславливает высокую себестоимость изготовления композиционного материала.

Поэтому создание отечественного специального мотального оборудования и использование укороченных технологий для производства текстильных армирующих компонентов композиционных материалов, позволяет также (используя развертки тел вращения заданной формы) получать препреги требуемой структуры или цельные элементы требуемой формы композитов. Это позволяет сравнивать затраты на производство текстильных армирующих компонентов композитов, создаваемых намоткой и ткачеством. Годовой эффект по сравниваемым вариантам производств:

$$Э_{год} = П_2 - П_1 = 5376 - 3676000 = 170000 \text{ руб/год}$$

Общие выводы по работе:

1. Анализ литературных источников показал, что текстильные материалы все шире используются в качестве армирующих компонентов композиционных материалов, используемых в атомной энергетике.

2. Основным критерием выбора текстильных материалов для армирования композиционных материалов, используемых в критических отраслях, являются их свойства и устойчивость к воздействию радиации и агрессивных сред.

3. Установлено, что технология формирования текстильных армирующих материалов оказывает существенное влияние на свойства и качественные показатели конечных продуктов.

4. Высокие качественные показатели показывают композиционные материалы, формируемые с помощью «коротких» технологий, оказывающих минимальное истирающее воздействие на нити армирующего компонента.

5. Максимально «легкие» композиционные материалы, армируемые текстильными нитями, могут быть получены на базе мотальных паковок сомкнутой структуры, имеющие коэффициент заполнения 0,785.

6. К «коротким» технологиям армирования композиционных материалов следует отнести формирование плоских текстильных полотен «фальшшамоткой».

7. Для совершенствования технологических процессов армирования композиционных материалов их углеродных волокон на базе тканых структур необходимо проводить специальную подготовку пленочных нитей с целью снижения их истирания о направляющие органы ткацких станков.

8. Для повышения равновесности пленочных нитей из углеродных волокон при их переработке необходимо предусмотреть процессы кручения и трощения, в работе показана эффективность использования отечественного оборудования.

9. Предлагается новая конструкция натяжного прибора, обеспечивающая значительное снижение неравномерности формирования текстильного материала, обеспечивающая не только заданную величину натяжения перерабатываемых нитей, но их минимальное истирание и снижение физико-механических свойств конечных продуктов.

10. На прочностные характеристики композиционных материалов оказывают влияние структурные показатели армирующих компонентов, а именно удельная плотность намотки, угол скрещивания витков и натяжение нитей (степень прессования намотки вышележащими слоями витков).

10. На себестоимость производства композиционных материалов, армируемых текстильными компонентами, решающее влияние оказывают выбранные технологии армирования и она тем ниже, чем «короче» технология.

11. Для производства композиционных материалов, применяемых в атомной энергетике наиболее применимо армирование их термостойкими углеродными и кремнеземными волокнами.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации:

1. Князькин С.В., Кащеев О.В., Николаева Н.А., Панин М.И., Кротов С.Ю. «Расчет нагрузок композиционных материалов, формируемых намоткой». Журнал «Химические волокна» № 2, 2014

2. С.В.Князькин, И.Н.Панин. Текстильные армирующие материалы для композитов. Швейная промышленность. – 2015, №1-2.

3. Князькин С.В., Пайметов А.Н., Панин А.И., Лушников А.А. «Анализ использования текстильных фильтров, применяемых при очистке воздуха от пыли». Журнал «Транспортное дело России» № 4, 2014

4. Князькин С.В., Пайметов А.Н., Панин А.И., Лушников А.А. «Методика выбора структур текстильных фильтровальных перегородок с помощью констант фильтрации». Журнал «Инновации и инвестиции» № 9, 2014

5. Князькин С.В., Пайметов А.Н., Панин А.И., Лушников А.А. «Исследование процесса фильтрации запыленных газов на металлических тканях». Журнал «Инновации и инвестиции» № 10, 2014

6. Князькин С.В., Сухотерин Л.Я., Калмыков А.А., Кротов С.Ю. «О влиянии структуры текстильных диспергаторов на работу воздуходувок». Журнал «Вестник ДИТИ НИЯУ МИФИ» № 1, 2013
7. Князькин С.В., Панин М.И. «Исследование закономерности движения нитеводителя при наматывании паковок произвольной формы намотки». Журнал «Вестник ДИТИ НИЯУ МИФИ» № 1, 2014
8. Князькин С.В., Панин М.И. «О рациональной технологии формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов». Журнал «Вестник ДИТИ НИЯУ МИФИ» №1, 2014.
9. Князькин С.В., Кашеев О.В., Николаева Н.А., Панин М.И., Кротов С.Ю. «Расчет параметров подготовки (кручения) пленочных нитей для выработки технических сукон прессовой группы» Журнал «Вестник ДИТИ НИЯУ МИФИ» № 1, 2013
10. Князькин С.В., Панин И.Н., Пайметов А.Н. Место текстильных паковок специального назначения в решении экологических задач. Сборник научных статей ДИТИ НИЯУ МИФИ «Теоретические и практические аспекты развития современной науки и образования. 2011, с. 118.
11. Князькин С.В., Панин А.И., Сухотерин Л.Я. О дефектах намотки мотальных паковок, причины их возникновения и способы устранения. Сборник научных статей по итогам научной конференции ППС ДИТИ НИЯУ МИФИ «Развитие и перспективы вузовской науки и образования в современных условиях, 2012 с. 186.
12. Панин А.И., Ракова О.А., Евсюкова Е.В., Ковалева О.В., Князькин С.В., Анализ питания ткацких станков СТБ утком. Новое в технике и технологии текстильной и лёгкой промышленности. Материалы докладов международной научно-технической конференции. Витебск, 27-28 ноября 2013

КНЯЗЬКИН СТАНИСЛАВ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ
АРМИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ №