

На правах рукописи



ПАНИН МИХАИЛ ИВАНОВИЧ

**Разработка технологических процессов создания армирующих
структур полимерных и углерод-углеродных композиционных
материалов на базе мотальных паковок**

Специальность 2.6.16 - Технология производства изделий текстильной и
легкой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Кострома - 2025

Работа выполнена в Акционерном обществе «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит» (АО «НИИГрафит»)

**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

Карева Татьяна Юрьевна,
доктор технических наук, профессор научно-образовательного центра «Центр компетенций текстильной и легкой промышленности» инжинирингового центра текстильной и легкой промышленности (НОЦ ЦКТиЛП ИЦТиЛП) ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

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

**Ведущая
организация:**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (СПбГУПТД), г. Санкт-Петербург

Защита состоится «21» мая 2025 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.317.01 на базе ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет» по адресу: г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17/11, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и сайте ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»: [http:// www.kosgoss.ru](http://www.kosgoss.ru).

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

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 24.2.317.01
доктор технических наук, доцент

Л. Л. Чагина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность диссертационной работы.

Вызовы времени требуют инновационного развития промышленности страны и, в первую очередь, разработки новых видов конструкционных композиционных материалов, применяемых в различных областях промышленности.

Следует отметить, что в 1980-е годы СССР занимал третье место в мире по производству и потреблению композиционных материалов. Сейчас российский рынок композитов составляет около 1 % мирового.

В 1990-е композитное производство в России практически исчезло. Ситуация стала меняться лишь в последнее десятилетие: модернизируются заводы советской эпохи, растет спрос на углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ). За последнее время ГК «Росатом» открыл производство углеволокна, ПАН-прекурсора, сформировав единственную в СНГ и Восточной Европе полную технологическую цепочку по углекомпозитам. Но безусловно в данной отрасли есть области, где зависимость от импорта критическая. Кроме того, слабо развиты отечественные технологии формирования высокопрочных армирующих структур полимерных и УУКМ, устойчивых к высоким температурам и внешним нагрузкам, а в сегменте термореактивных эпоксидных смол доля зарубежных поставок базовых компонентов превышает 95%.

В настоящее время лидерами мирового рынка композиционных материалов являются следующие фирмы: японские Toray Industries и Teijin, американская Hexcel, немецкая SGL Carbon. Эти фирмы вкладывают большие средства в новые разработки и цифровизацию. В 2019–2021 годы только на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы эти компании потратили 3,5 млрд. долларов.

По данным исследования компании JEC Group, в 2021 году объем мирового рынка композиционных материалов и изделий из них составил 12,1 млн. т (100 млрд. долларов). 50% потребления приходится на две ключевые отрасли — строительство (27%) и транспорт (23%). За ними следует электронная промышленность (17%) и энергетика (13%). Регионы — лидеры по потреблению композитов — Азия (49%), Северная Америка (25%) и Европа (19%). Эксперты прогнозируют, что в 2026 году объем мирового рынка композиционных материалов и изделий из них вырастет до 15,5 млн. т.

Чтобы нивелировать отставание, 18 июля 2023 года Правительство РФ подписало распоряжение, утверждающее комплексную научно-техническую Программу полного инновационного цикла «Новые композиционные материалы: технологии конструирования и производства». Главная цель программы – добиться технологического лидерства страны за счет создания передовых технологий производства композиционных материалов и изделий из них. Важно отметить, что применение отечественных композиционных материалов позволит повысить

конкурентоспособность ключевых отраслей, прежде всего космоса, судо- и авиастроения, автопрома, транспортного сектора, энергетики, строительного комплекса. В соответствии с разработанной программой эти риски для атомной, авиакосмической, строительной, нефтегазовой и других стратегических отраслей должны быть к 2027 году нивелированы.

Основная задача развития данных направлений состоит в расширение производств конструкционных материалов различного назначения, а именно, совершенствования существующих структур армирования и технологических процессов их изготовления. Разработка технологий создания композиционных материалов с использованием технического текстиля, способных по свойствам и качественным показателям заменить металлы и керамику является одной из задач, решаемых в рамках Программы. В связи с этим настоящая диссертация представляется актуальной.

Особенностью данной работы является проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований, а также практическая реализация наработок в производственных процессах, армирования полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов, с использованием мотальных паков.

Разработанные намоточные структуры 3D намоток, могут использоваться в качестве базовых, не только при производстве цельных композитов, но также при создании новых конструкционных композиционных материалов, выпускаемых на базе их разверток намоток на плоскость.

Композиционные материалы различного назначения, формируемые на базе различных текстильных технологий, позволяют создавать не только отдельные элементы конструкций с максимальным заполнением объёмов наполнителем, но и цельные изделия с наперед заданными свойствами, требуемой формы и типоразмеров. Особенно актуально использование композиционных материалов в авиационной, судостроительной, атомной энергетике и ряде других критических отраслях. В настоящее время, для нашей страны, это стало приоритетной задачей, успешное решение которой обеспечивает её национальную безопасность. Создание новых видов летательных аппаратов, (в том числе беспилотных), самолетов, морских судов, надводного и подводного флота, разработка отдельных узлов и элементов машин, с использованием полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов. В данных композитах, вне зависимости от вида связующего и способа формования, решающую роль играют армирующие структуры текстильных материалов и используемые технологии, которые позволяют придать конечному выходному продукту новые свойства, повысить прочность и надежность в эксплуатации, технологичность и серийность изготовления. Разработка новых технологий армирования и изготовления композитов, с использованием технического текстиля, должна обеспечивать снижение их себестоимости. Именно по пути создания новых технологий производства композиционных материалов идут специалисты текстильщики и машиностроители за рубежом. Разработка рациональных структур армирующих

компонентов композитов, с применением для их формирования коротких технологий и минимального парка технологического оборудования, также является актуальной задачей. Что обусловлено, не только с точки зрения сокращения технологического цикла производства конечного продукта, при сохранении прочностных свойств, используемых нитей, но и с точки зрения ресурсосбережения (экономии дорогостоящего сырья, снижения энерго и трудозатрат), и, как следствие, снижение себестоимости выпускаемой продукции.

Следует отметить, что для создания новых конструкционных материалов на базе композитов необходимы совместные усилия специалистов химиков, технологов, материаловедов, IT-технологий и даже управленческого аппарата, чтобы обеспечивать быстрое внедрение результатов разработок в реальное производство.

На основании выше изложенного следует констатировать, что разработка новых технологий армирования и производства конструкционных композиционных материалов различного назначения, в том числе УУКМ, с максимальным заполнением объемов композита армирующим компонентом (наполнителем), является актуальной и требующей безотлагательного решения задач.

Степень разработанности темы исследования. Современные теоретические положения по разработке процессов формирования мотальных паков и исследованию их структур, в том числе используемых в качестве армирующих наполнителей композиционных материалов, опубликованы в трудах Образцова И.Ф., Перепелкина К.Е., Труевцева А.В., Рокотова Н.В., Гордеева В.А., Зайцева В.П., Ефремова Е.Д., Прошкова А.Ф., Андросова В.Ф., Сухарева В.А., Гречухина А.П., Рудовского П.Н. и др. Проведенный анализ научно-исследовательских работ по данной тематике, позволил выявить актуальные проблемы в части совершенствования технологий армирования полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов, с использованием мотальных паков, а также определить пути их совершенствования, с целью создания новых высокопрочных конструкционных композиционных материалов, устойчивых к воздействию высоких температур и внешних нагрузок при их эксплуатации.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является развитие теории формирования мотальных паков и создание на ее основе технологии получения армирующих структур для композиционных материалов на базе 3D намоток, устойчивых к сдвигу и расслоению в экстремальных условиях эксплуатации.

Для реализации указанной цели поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ структур армирующих намоток и факторов, оказывающих влияние на их качественные показатели, а также возможность использования их в качестве наполнителей композиционных материалов различного назначения;
- установлены параметры формирования специальных структур намоток, таких как сомкнутые, замкнутые, спиралевидные, а также предложены принципиально новые структур – 3D намотки и параметры их формирования;

- теоретически обоснованы условия формирования прецизионных структур 3D намоток из двух и более систем нитей различной линейной плотности;
- разработан ряд новых показателей, характеризующих структуру и свойства 3D намоток;
- проведены экспериментальные исследования влияния основных факторов - угла скрещивания витков, натяжения нити и степени прессования намотки на структуру армирующих оболочек, формируемых намоткой;
- установлены закономерности движения нитераскладчика вдоль образующей паковки в течение всего процесса формирования заготовки, исключающие искажения формы намотки за счет изменения величины «свободного отрезка нити» между нитераскладчиком и точкой входа нити на паковку;
- разработана и запатентована конструкция механизма раскладки нити для формирования мотальных паковок с заданной кривизной поверхности;
- обоснована возможность армирования композиционных материалов плоской формы с помощью разверток намоток;
- разработана технология получения разверток углерод-углеродных композиционных материалов, используемых в качестве конструктивных элементов и нагревателей высокотемпературного оборудования;
- разработана технология производства заготовок углерод-углеродных тренияльных материалов на модернизированных прецизионных мотальных машинах.

Объектом исследования являются мотальные паковки различных структур и текстильные композитные изделия, формируемые на их основе.

Предметом исследования являются технологии армирования полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов намоткой нитей различной природы на паковки заданной формы и типоразмеров.

Научная новизна заключается в развитии теоретических основ процессов формирования структур 3D намоток, применяемых при армировании полимерных и УУКМ и создании технологии их получения.

В диссертации впервые:

- разработаны новые 3D намотки нитей в мотальные паковки, структура которых устойчива к сдвигу и расслоению нитей при работе конечных изделий в экстремальных условиях;
- разработаны теоретические основы расчетов прочностных характеристик армирующих заготовок, формируемых на базе 3D намоток, а именно коэффициентов объёмного заполнения, жесткости и связности структур;
- теоретически установлено влияния натяжения нитей на структуру намотки, при армировании композиционных материалов;
- разработан способ создания намоткой толстостенных плоских текстильных полотен заданной 3D структуры, используемых в качестве армирующих наполнителей композитов, формируемых на базе разверток намотки на плоскость;

- проведен теоретический расчет прочностных характеристик полимерных композитов в виде цилиндрических оболочек, армированных намоточными структурами;
- разработаны способы армирования полимерных композиционных материалов, формируемых на базе мотальных паковок различных структур и их разверток на плоскость;
- разработана теория формирования мотальных паковок слоисто-каркасной структуры и заданной формы намотки;
- предложены и обоснованы новые структурные параметры 3D намоток такие как: раппорт 3D намотки по углу сдвига, раппорт 3D намотки по ширине раскладки, раппорт 3D структуры намотки базовых нитей, раппорт 3D структуры намотки перевивочных нитей, коэффициент жесткости (переплетения) 3D намотки, коэффициент связности 3D намоток;
- разработаны конструкции мотального оборудования для формирования паковок различного назначения;
- разработана технология производства композиционных текстильных фильтров, на базе различных структур намотки паковок специального назначения.

Практическая значимость результатов работы заключается в:

- разработке новых способов создания конструкционных композиционных материалов, формируемых на базе 3D намоток мотальных паковок различной степени замыкания намотки, как цельных, так и отдельных элементов (преформ) композиционных материалов (патенты РФ № RU 2820117, RU 2808762);
- разработке и создании новых конструкций мотального оборудования, необходимого для формирования преформ композиционных материалов заданной формы и требуемых размеров, на базе 3D намоток мотальных паковок;
- разработке метода расчета кинематических параметров мотального механизма, необходимых для формирования требуемых структур 3D намоток;
- получении опытных образцов полимерных композиционных материалов, армируемых различными структурами 3D намоток различного назначения;
- внедрении в производство технологии армирования композиционных материалов, формируемых на базе мотальных паковок различных структур (в том числе 3D намоток) и их разверток на плоскость;
- предложены и доведены до промышленного внедрения новые конструкции фильтров (патенты РФ № RU 226225, RU 219377 U1).

Используемые в работе методы исследования. В теоретических исследованиях использованы методы дифференциального и интегрального исчислений. При расчете давления витков намотки на паковках заданной кривизны поверхности использовали выражение квадрата кривизны винтовой линии. При расчетах величин передаточного отношения от паковки к нитераскладчикам, использовался алгоритм Евклида для разложения иррациональных чисел в подходящие цепные дроби, разработан авторский программный продукт, позволяющий реализовать его на специальном мотальном оборудовании, оснащенном ПЭВМ.

Автор защищает:

- технологию формирования структур 3D - намоток мотальных паковок;
- способы армирования полимерных композиционных материалов на базе различных структур намотки мотальных паковок;
- теоретические положения по формированию композиционных материалов с максимальным коэффициентом заполнения их армирующим компонентом;
- способ создания плоских, объемных текстильных заготовок увеличенной толщины, используемых в качестве заготовок при производстве композиционных материалов, формируемых на базе разверток намотки на плоскость;
- теоретические положения по процессу формирования намоткой паковок произвольной кривизны поверхности и заданных размеров, используемых в качестве заготовок цельных композитов;
- конструкции мотальных механизмов, обеспечивающих формирование прецизионных намоток и паковок слоисто – каркасной структуры, требуемой формы, заданной кривизны поверхности и типоразмеров;
- метод расчета кинематических параметров мотального механизма, необходимых для формирования прецизионных (точных) армирующих структур намотки мотальных паковок специального назначения;
- рекомендации по оптимизации структур конструкционных материалов и технологии создания полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов, формируемых на базе текстильных технологий и мотальных паковок.
- разработку композиционных фильтров тонкой очистки и обеззараживания воздуха, без использования ультрафиолетового излучения.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендации, сформированных в диссертации, подтверждается достаточным для практики соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, современными методами их решения, применением известных положений фундаментальных наук в области создания композиционных материалов с использованием текстильных технологий.

Публикации, апробация и реализация результатов работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в 32 публикациях в том числе 12 в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, из них 6 статей в журналах, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus.

Получено 8 патентов на изобретение и полезную модель.

Результаты работы представлены и получили положительную оценку на:

- международной научно-технической конференции. «Прогресс-2013» Иваново, Ивановский политехнический университет 2013 г;
- международной научно-технической конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности». Москва, МГУДТ, 2013 г;

- шестом международном экономическом форуме в рамках Технологической платформы легкой промышленности. Чебоксары, 2013 г;
- международной научно-технической конференции «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» Республика Беларусь. Витебск, 2013 г;
- международном научно-практическом симпозиуме «Технический текстиль России: Нетканые материалы, сырье. Реинжиниринг». Москва МВЦ "Крокус Экспо", 2023 г;
- Китайско-Российском конкурсе инноваций, с демонстрацией разработанных композиционных фильтров для очистки и обеззараживания воздуха, 2023 г.;
- всероссийском семинаре по теории механизмов и машин (Костромского филиала РАН РФ институт машиноведения им. А.А. Благонравова) секция «Текстильное машиноведение», Кострома, 31.10.2024.

Результаты работы внедрены в производство ряда предприятий атомной отрасли, и при создании систем экологической безопасности человека, а именно на предприятиях: АО «НИИГрафит» г. Москва; ООО «ООО НИЭК», Московская область, г. Люберцы.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности. Диссертационное исследование (предмет исследования, содержание задач и результаты решения) соответствует паспорту специальности **2.6.16 Технология производства изделий текстильной и лёгкой промышленности:**

- п.1 в части «инновационное развитие технологий переработки материалов текстильной промышленности»;
- п.2 в части «проектирование структуры и прогнозирование свойств материалов»;
- п. 10 в части «развитие теоретических основ проектирования и переработки материалов»;
- п. 13 в части «разработка оптимальных структур материалов для снижения затрат на организацию их производства и повышение качества»;
- п. 19 в части «разработка новых материалов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства изделий текстильной и легкой промышленности (ИТЛП)».

Объем и структура диссертации.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы, семи приложений. Работа изложена на 307 страницах машинописного текста, включая 62 рисунка, 4 таблицы и 7 приложений на 40 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цели и задачи проводимых исследований, отмечены научная новизна и практическая значимость полученных результатов и проведена апробация работы.

В первой главе диссертации проведён критический анализ современного уровня развития теории и процессов армирования композиционных материалов с использованием различных текстильных технологий. Современные композиционные материалы представляют собой многокомпонентные структуры, состоящие не только из пластичной основы (матрицы) и наполнителя (текстильного материала в виде волокон, нитей, тканей, трикотажа, нетканого материала), но и углерод-углеродных соединений. Именно структура наполнителей, являющаяся армирующим текстильным материалом, определяет свойства конечных изделий, чаще всего прочностные.

Следует отметить, что исследованием армирования КМ, с использованием текстильных технологий и материалов, занимались многие ученые, как в нашей стране, так и за рубежом. К таким исследованиям следует отнести работы ученых всех текстильных ВУЗов страны, таких как: Перепелкин К. Е., Труевцев А. В., Карева Т.Ю., Киселев А. М., Трещалин М. Ю., Гречухин А.П., Рудовский П. Н. и многих других, кто разрабатывал армирующие структуры КМ на базе различных текстильных технологий. Для обобщения результатов сравнительного анализа технологий армирования композиционных материалов были проведены исследования, результаты которых сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

№ п/п	Способы армирования	Результат сравнительного анализа технологий армирования			
		Коэффициент заполнения композиты армирующим компонентом, K_z	Выходной продукт	Трудоемкость и стадийность	Потери сырья, угары, %
1	Нетканые полотна	0,37	Плоские структуры	1) подготовка волокон, 2) формование полотна.	до 0,4
2	Ткачество	0,62	Плоские структуры	1) подготовка нитей основы и утка, 2) сновка, 3) ткачество, 4) обработка.	до 5
3	Трикотажные полотна	0,47	Объемные элементы малой прочности	1) подготовка, 2) вязание, 3) обработка.	до 4
4	Намотки	0,785	Тела имеющие ось вращения	перемотка	0,01

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать вывод, о том, что намоточные структуры имеют ряд преимуществ перед другими текстильными технологическими решениями производства армирующих компонентов композитов. Армирование композиционных материалов с использованием структур сомкнутых и замкнутых намоток позволяет при минимальной трудоемкости и отходах получить продукт с максимально возможным или заданным коэффициентом заполнения объема композита волокнистым материалом, одностадийным способом.

Применение замкнутых намоток с различной степенью замыкания p , а, следовательно, с расчетной пористостью и проницаемостью структуры, позволяет проектировать углерод-углеродный композиционный материал с наперед заданными свойствами. Мотальные паковки заданной (произвольной) формы могут использоваться в качестве армирующих компонентов композиционных материалов при изготовлении различного рода цельных деталей, имеющих ось вращения.

Главным критерием оценки качества создаваемых композиционных материалов, с использованием текстиля в качестве наполнителя, является его долевое содержание в общем объеме композита, по отношению с долевым содержанием связующего материала, а именно - коэффициент заполнения композита армирующим компонентом (волокнистым наполнителем).

Вторая глава работы посвящена исследованию структур армирующих намоток мотальных паковок и факторов, оказывающих влияние на их качественные показатели - условия их формирования на паковках (величину угла сдвига витков и требуемую величину передаточного отношения, создаваемого мотальным механизмом), а также возможность использования их в качестве наполнителей композиционных материалов различного назначения. Композитные материалы с армирующими намоточными структурами составляют значительную долю изделий, применяемых в самых различных областях жизнедеятельности человека. Особенно широко используются композитные материалы с намоточным армированием (углеродными и арамидными нитями) в авиастроении, где кроме высоких прочностных характеристик, большое значение уделяется массе формируемых изделий, так – как, чем тяжелее конструкция летательного аппарата, тем выше энергозатраты на его перемещение и преодоление гравитационных сил. Поиск оптимальных структур армирующего компонента, обладающего высокими прочностными характеристиками и максимальным заполнением объема волокнистым материалом, является актуальной задачей при разработке новых композиционных материалов конструкционного назначения. Базовые структуры армирующих намоток представляют структуры трех видов: сомкнутые, замкнутые и спиралевидные, все остальные структуры являются их производными:

а) Структуры сомкнутых намоток нитей на паковки и их параметры, показаны на рисунках 1, 2 и 3. Угол сдвига между витками различных пар слоев намотки $\Psi_{1,p+1}$, определяется по формуле 1, а величина передаточного отношения от раскладчика нити к паковке по формуле 2.

$$\Psi_{1,p+1} = 2\pi p(ki_{oc} - n_1) = \frac{2d}{D \sin \frac{\beta}{2}} = \Psi_c, \quad (1)$$

решая выражение относительно i_{oc} получаем:

$$i_{oc} = \frac{p^2 kn_1 + pkz}{p^2 k^2 - \frac{d^2 k^2}{4H^2}} \pm \sqrt{\frac{(p^2 kn_1 + pkz)^2}{\left(p^2 k^2 - \frac{d^2 k^2}{4H^2}\right)} - \frac{p^2 n_1^2 + 2pn_1 z + z^2 + \frac{d^2}{\pi^2 D^2}}{\left(p^2 k^2 - \frac{d^2 k^2}{4H^2}\right)}} \quad (2)$$

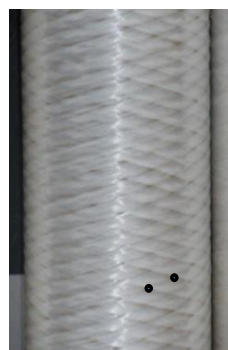
где $i_o = \frac{n_b}{n_k}$ – величина общего передаточного отношения от паковки к нитераскладчику; n_{ϵ} – частота вращения паковки (веретена); n_k – частота вращения кулачка нитераскладчика; $n_1 = [ki_{oc}]$ – целая часть числа ki_{oc} ; k – число оборотов кулачка нитераскладчика за цикл движения нити (время формирования одной пары слоёв намотки); $z = 0; 1$ – кратность замыкания намотки; H – высота паковки (размах нитераскладчика; $p = 1, 2, 3 \dots$ – степень замыкания намотки – т.е. это число двойных ходов нитераскладчика, после которого витки $p+1^{oi}$ пары слоёв намотки пойдут по виткам первой пары слоёв.



Рисунок 1 - Фото 3^x сомкнутой намотки.



а)



б)

Рисунок 2 – а) одно сомкнутая б) 23^x сомкнутая намотка.

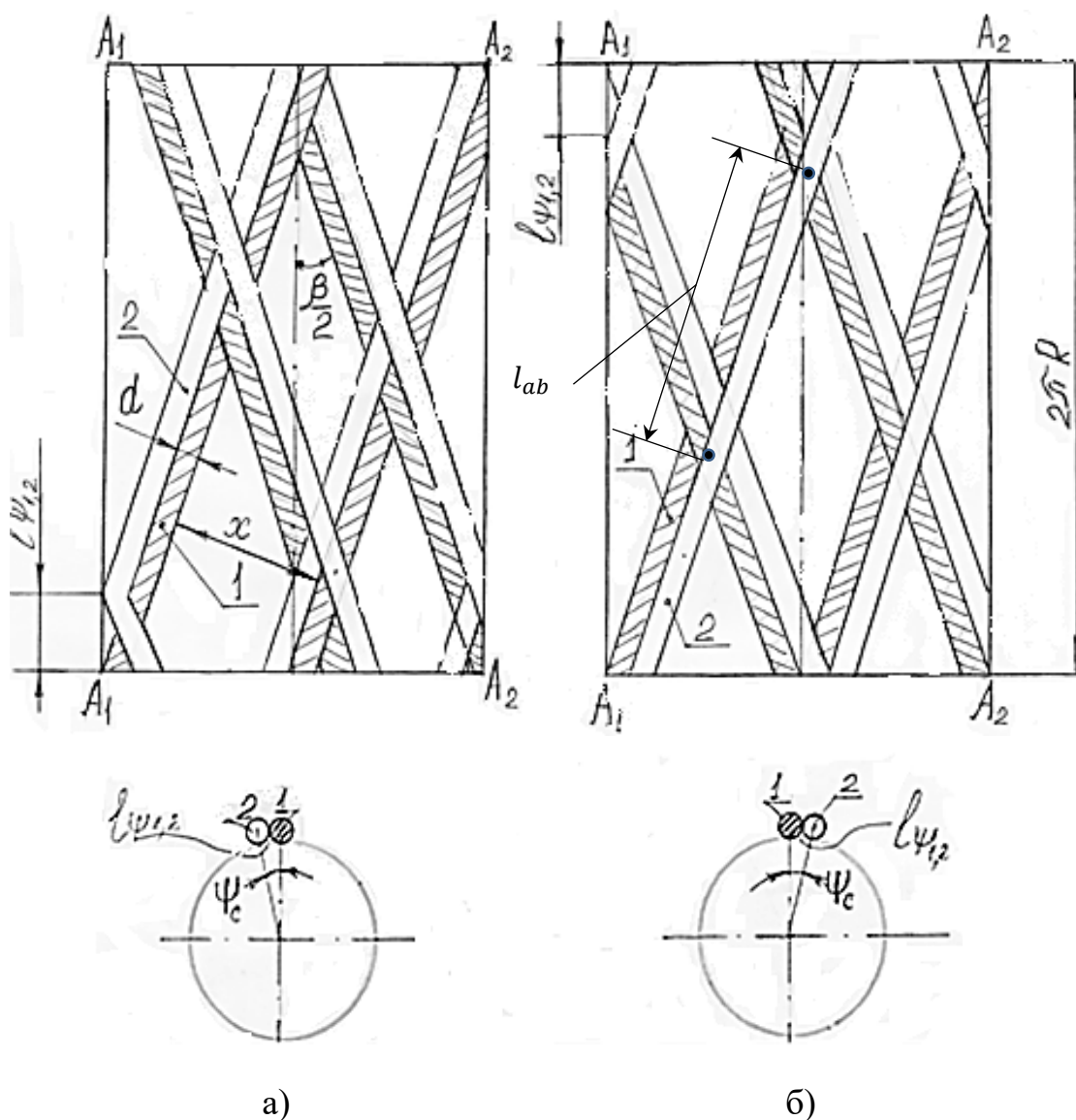


Рисунок 3 – а) развертка и круговая диаграмма опережающей и б) отстающей сомкнутых намоток.

Структуры замкнутых намоток и их параметры формирования.

Замкнутые намотки являются фундаментальными, так как на их основе строятся множество производных структур «опережающих» и «отстающих» с той же степенью замыкания p . Требуемое значение угла сдвига между витками различных пар слоев намотки $\Psi_{1,p+1}$, определяется по формуле 3, а величина передаточного отношения от раскладчика нити к паковке по формуле 4.

$$\Psi_{1,p+1} = 2\pi p(ni_o - n_1) = 0, \quad (3)$$

$$i_{oz} = \frac{1}{k} \left(n_1 + \frac{Z}{p} \right), \quad (4)$$

Намотки замкнутой структуры (рис. 4) обладают высокой пористостью и проницаемостью, что определяет области их применения. Намотки замкнутой структуры высокой степени замыкания - **р** могут использоваться при армировании углерод-углеродных материалов, в виде базовых пакетов различных типоразмеров и формы, причем совместно, или вместо волокнистых элементов объемного плетения различной сложности, набираемых из углеродных стержней.



Рисунок 4 - Фото замкнутой структуры намотки.

Спиралевидные структуры намоток и их параметры.

Структура спиралевидных намоток (рис. 5) определяется углом сдвига между витками различных пар слоев намотки, который должен находиться в интервале, определяемым формулой (5)

$$360Z + \Psi_c > \Psi_{m,p+m} > 360Z , \quad (5)$$

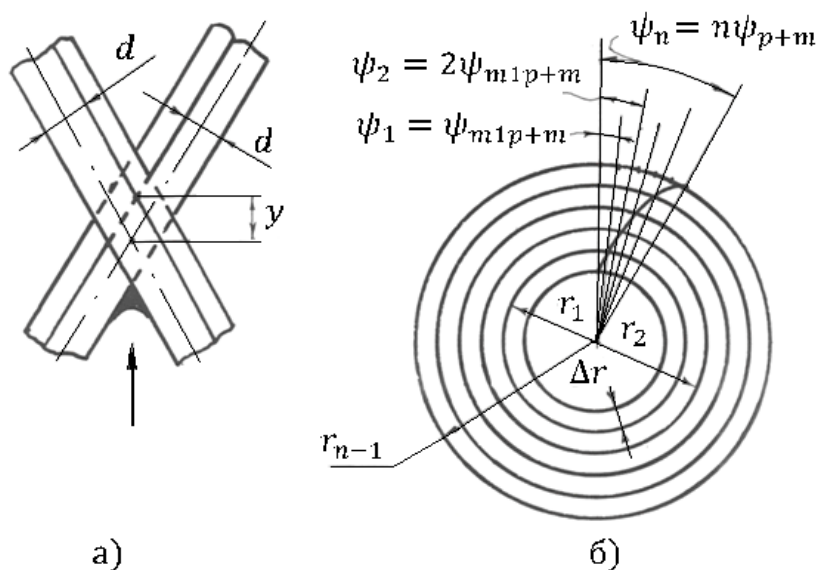


Рисунок 5 - Схема формирования пор в структуре спиралевидных намоток.

Структура спиралевидных намоток имеет ромбовидные поры, смещающиеся по спиралям Архимеда, что позволяет использовать их в качестве диспергирующих, или фильтровальных текстильных перегородок специального назначения, обладающих своеобразными «ловушками» при очистке жидких и газообразных сред. На рисунке 5.б) показана схема процесса смещения пор в структуре спиралевидных намоток, а на рисунке 5.а) показано смещение точек пересечения витков на величину U , с ростом радиусов намотки r . Внешний вид структуры спиралевидной намотки показан на рисунке 6.



Рисунок 6 – Намотка спиралевидной структуры.

Структуры 3D намоток и параметры их формирования.

3D намотка – это неортогональная структура, образуемая из двух и более систем нитей, интегрированных в одну мотальную паковку, обладающая перевивочными связями между нитями всех систем (используемых в их формировании), по трем направлениям координатных осей x , y , и z .

Особенностью процесса формирования 3D намоток является то, что нити базовой и перевивочной структур раскладываются **одновременно** на одной мотальной паковке разными нитераскладчиками, получающими движение от отдельных приводов. На рисунке 7 показана схема 3D намотки сомкнутой структуры.

нитей, (создаваемого всеми нитераскладчиками), в течение всего процесса формирования «базовых» и «перевивочных» структур, т.е. при условии:

$$\psi_{3д} = \psi_б + \psi_п = \text{const}, \quad (6)$$

где: $\psi_{3д}$ - суммарный угол сдвига витков, образующийся при формировании 3D намотки всеми используемыми системами нитей;

$\psi_б$ – угол сдвига между витками различных пар слоев намотки, создаваемый при формировании «базовой» структуры;

$\psi_п$ - угол сдвига между витками различных пар слоев намотки, создаваемый при формировании «перевивочной» структуры.

Для формирования прецизионных сомкнутых структур 3D намоток условием формирования является:

$$\psi_{3д} = \psi_б + \psi_п = \psi_c = \text{const}. \quad (7)$$

На рис. 3 показаны: а) развертки и круговые диаграммы опережающей а) и б) отстающей сомкнутых намоток, являющихся базовыми для формирования прецизионных сомкнутых структур 3D намоток.

Процесс формирования прецизионных структур 3D намоток из двух и более систем нитей различной линейной плотности.

Процесс формирования прецизионных структур 3D намотки из двух и более систем нитей различной линейной плотности является более сложным, так как для этого необходимо выполнение условия:

$$\psi_{3д} = \psi_б + \psi_п = (\psi_{c1} + \psi_{c2}) = \psi_c = \text{const}, \quad (8)$$

где ψ_{c1} – угол сдвига витков, создаваемый нитями одной линейной плотности (одного условного диаметра нити);

ψ_{c2} – угол сдвига витков, создаваемый нитями другой линейной плотности (другого условного диаметра нити);

$$(\psi_{c1} + \psi_{c2}) = \psi_c \text{ или кратен ему}. \quad (9)$$

То есть, для формирования прецизионной сомкнутой структур 3D намотки, из двух и более систем нитей различной линейной плотности, необходимо обеспечить несколькими нитераскладчиками создание определенного- (суммарного) угла сдвига между витками различных пар слоев намотки $\psi_{3д}$, который удовлетворял бы условию равенства или кратности его ψ_c - углу сдвига витков, обеспечивающего формирование результирующей сомкнутой структуры намотки. На рисунках 8 и 9 приведены Фото 13-ти сомкнутой 3D намотки, сформированной двумя системами нитей (черные и белые) и Фото 3-х сомкнутой 3D намотки, сформированной тремя системами нитей (черные, оранжевые и белые). На рисунке 10 показана фотография разреза толстостенной (толщиной 20 мм) 3D сомкнутой намотки, сформированной из углеродных и вискозных нитей различной линейной плотности.



Рисунок 8 - Фото 13-ти сомкнутой 3D намотки, сформированной двумя системами нитей (черные и белые).



Рисунок 9 - Фото 3-х сомкнутой 3D намотки, сформированной тремя системами нитей (черные, оранжевые и белые).



Рисунок 10 - Фотография разреза толстостенной (толщиной 20 мм) 3D структуры сомкнутой намотки, сформированной из углеродных и вискозных нитей различной линейной плотности.

При изучении структур и процесса формирования структур 3D намоток мотальных паковок удобно пользоваться разработанной методикой построения разверток каждой структуры применяемых нитей на плоскость.

Для изучения и проектирования структур 3D намоток введены понятия (аналогично используемым в тканых структурах понятиям раппорта по основе и по утку):

R_ψ – раппорт 3D намотки по углу сдвига между витками различных пар слоев намотки нитей базовой и перевивочных структур - это минимальное число базовых и перевивочных нитей на длине образующей πD развертки намотки на плоскость, после которого намотка замыкается и характер расположения всех нитей начнет повторяться. При замкнутых 3D намотках витки нитей $p+1^{ой}$ пары слоев пойдут по виткам первой пары, а при сомкнутых лягут рядом слева (при опережающей), или справа (при отстающей) от витков первой пары слоев. Очевидно, что данный раппорт характеризуется степенью замыкания намотки p .

$$R_\psi = W_\delta + W_\pi, \quad (10)$$

где: W_δ – число витков нитей базовой структуры в одном объемном слое 3D намотки;

W_π - число витков нитей перевивочных структур в одном объемном слое 3D намотки.

R_H - раппорт 3D намотки по ширине раскладки - это минимальное число базовых (и/или) перевивочных нитей на ширине раскладки H , после которого характер расположения всех нитей начнет повторяться.

Следует различать так же, **раппорт 3D намотки:**

$$R_H = W_\delta + W_\pi, \quad (11)$$

Так как число систем нитей базовой и перевивочных структур, используемых в формировании 3D намотки, может быть несколько (больше 1), то введем определения:

R_δ - раппорт 3D структуры намотки базовых нитей - минимальное число базовых нитей на ширине раскладки H , после которого характер расположения витков базовой структуры повторяется;

R_π - раппорт 3D структуры намотки перевивочных нитей - минимальное число перевивочных нитей на ширине раскладки H , после которого характер расположения витков перевивочной структуры повторяется;

Очевидно, что

$$R_H = R_\delta + R_\pi. \quad (12)$$

$R_{\delta\psi}$ - раппорт намотки по углу сдвига витков базовых нитей – минимальное число базовых нитей на длине развертки одного объемного слоя πD , после которого базовая намотка замкнется и характер расположения витков базовой структуры будет повторяться.

$R_{\pi\psi}$ - раппорт 3D намотки по углу сдвига витков перевивочных нитей - минимальное число перевивочных нитей на длине развертки одного объемного слоя πD , после которого намотка перевивочных нитей замкнется и характер расположения витков нитей перевивочной структуры будет повторяться.

В общем случае, значения раппортов 3D намотки $R_{6\psi}$ и $R_{п\psi}$ - характеризуются углом сдвига между виткам $\psi_{1. p+1}$ различных пар слоев намотки, или степенью замыкания намотки p – минимальным числом двойных ходов раскладчиков нитей, по истечение которого витки $p+1^{ой}$ пары (базовых или перевивочной структуры) слоев намотки, лягут на витки $1^{ой}$ пары слоев (при замкнутой намотке), или лягут рядом в витками первой пары слоев (при сомкнутой структуре 3D намотки);

Сдвиг витков 3D намотки s - смещение мест пересечения базовых и перевивочных нитей в смежных слоях структуры 3D намоток

$$s = \pi D \operatorname{ctg} \beta/2, \quad (13)$$

где D – текущий диаметр намотки мотальной паковки.

Также разработана методика произведения расчета коэффициента связности 3D намоток. Проведен расчет коэффициента заполнения композиционных материалов, армируемых сомкнутыми структурами 3D намоток. Проведенные исследования показывают, что сомкнутые 3D намотки и их производные, обладают максимально-возможным, по сравнению со всеми иными структурами наполнителей, коэффициентом заполнения композиционных материалов текстильным армирующим компонентом, равным 0,785.

Коэффициент жесткости (переплетения) 3D намотки определяет степень жесткости перевивочных связей между нитями, используемыми при формировании её структуры, он определяется выражением:

$$K_n = \frac{X_6 \cdot X_n}{t}, \quad (14)$$

где X_6 – число пересечений базовых нитей с перевивочными в пределах раппорта 3D намотки по ширине раскладки;

X_n – число пересечений перевивочных нитей с базовыми в пределах всего раппорта 3D намотки;

t - число «пересечек» нитей в раппорте 3D намотки.

Коэффициент жесткости (переплетения) 3D намотки зависит от числа «пересечек» t (изгибов) нитей в раппорте намотки. Следует отметить, что «пересечка» показывает глубину изгиба нитей в структуре 3D намотки, а, следовательно, она влияет на прочностные характеристики самих нитей и изменения напряжений волокон, возникающих при этом. Однако, несмотря на то, что непрерывные базовые и перевивочные нити проходят через всю толщу намотки, в отличие от тканых структур, величина их изгибов невелика, а изменяется плавно и не превышает высоту диаметра нити противоположной системы. Это положительно сказывается на прочностных характеристиках всей структуры 3D намотки.

Коэффициент связности 3D намоток является «чистой» прочностной характеристикой их структуры, так как он базируется на количестве перевивок (пересечек) между нитями базовой и перевивочной структур с учетом их линейных плотностей (условных диаметров нитей). Именно этот показатель определяет склонность структуры к расслоению или сдвигу витков в слоях намотки, а,

следовательно, характеризует их пригодность к использованию, при проектировании и производстве армирующих структур композиционных материалов, конечные продукты которых работают в экстремальных условиях (повышенном давлении и перепадах температур). Коэффициент связности 3D намотки определяется выражением:

$$C = \frac{P_6 \times P_n \times T_{cp}}{1000 \times F}, \quad (15)$$

где P_6 – плотность базовых нитей в пределах раппорта намотки, (н/см);

P_n – плотность перевивочных нитей в пределах раппорта намотки, (н/см);

F – коэффициент переплетения базовых и перевивочных нитей, (с учетом заданного чередования), например, по типу тканых переплетений саржа 2/1, и определяется выражением:

$$F = \frac{2 R_6 \times R_n}{t}, \quad (16)$$

где: R_6 и R_n – соответственно, раппорты заданного чередования нитей базовой и перевивочной структур, а t – число «пересечек» нитей в пределах раппорта 3D намотки.

T_{cp} – средняя линейная плотность нитей базовой и перевивочной структур, (текс).

$$T_{cp} = 2 T_6 T_n / (T_6 + T_n), \quad (17)$$



Рисунок 11 - Фото и разрез развертки 3D сомкнутой намотки

Все структуры 3D намоток имеют не ортогональное строение, т.е. нити взаимно переплетающихся систем располагаются по отношению друг к другу, не под прямым углом, как в тканях. Витки базовых и перевивочных нитей располагаются под заданным углом скрещивания β , а в цельной структуре 3D намоток по винтовым спиралям Архимеда. Такое расположение нитей в структуре 3D намоток позволяет рассматривать их как неортогональные изотропные материалы. На рисунке 11 показано фото и разрез развертки 3D сомкнутой намотки.

Приведенные выше особенности структур *p*-сомкнутых 3D намоток приобретают особое значение при формировании наполнителей (преформ) композиционных материалов, которые будут подвергаться большим внешним нагрузкам, действующим по известным направлениям.

Третья глава посвящена исследованию влияния основных факторов - угла скрещивания витков, натяжения нити и степени прессования намотки на структуру армирующих оболочек, формируемых намоткой. Проведенные исследования показали, что:

1. Натяжение нити (жгутов) в процессе намотки оболочек оказывает существенное влияние на уплотнение структур формируемых паковок, и оно возрастает с увеличением числа слоев (толщины) намотки;

2. Наибольшее влияние на увеличение плотности намотки вследствие давления верхних витков нити на нижележащие слои и оправку достигается при параллельной намотке, при $\beta \approx 0$;

3. Структура крестовых намоток, формируемых при $\beta > 0$, на мотальных паковках любой кривизны, при перемотке малорастяжимых нитей (углеродных) уплотняются в меньшей степени, чем параллельные, за счет натяжения нити и перераспределения давления в слоях намотки.

В четвертой главе рассмотрены процессы армирования композиционных материалов намоточными структурами заданной формы и кривизны поверхности. Отмечается, что эти процессы требуют решения ряда вопросов, связанных с определением закономерности движения нитераскладчика вдоль образующей паковки в течение всего процесса формирования заготовки, исключения искажения формы намотки за счет изменения величины «свободного отрезка нити - С» между нитераскладчиком и точкой входа нити в паковку.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию процессов армирования композиционных материалов плоской формы с помощью разверток намоток мотальных паковок. Использование разверток намотки мотальных паковок различных структур позволяет проектировать гетерофазные композиции, структура которых может быть оптимизирована по отношению к характеру и величине внешних воздействий и сконструирована с требуемым уровнем анизотропии свойств. Предложенный способ армирования конструкций (заготовок) композиционных материалов, основанный на использовании развертки намоток мотальных паковок различных структур, толщин и форм, приобретает актуальность, при изготовлении изделий большой толщины и заданного профиля.

Шестая глава посвящена разработке технологий формирования УУКМ различного назначения. В основе технологии получения УУКМ лежат контролируемые процессы деструкции полимерных композитов, наполненных углеродными волокнами и углеродных матриц на основе фенольных, фенолофурановых смол или пеков. УУКМ широко применяются в качестве конструкционных термоустойчивых до 2500°C (с защитой от окисления), триботехнических, теплозащитных материалов, конструкционных материалов, оснастки высокотемпературного оборудования.

Проведенные исследования позволили решить ряд технологических проблем производства УУКМ, а именно: снизить неоднородность физического состояния структур, за счет использования структур 3D намоток с высоким коэффициентом заполнения заготовок углеродным армирующим компонентом, а также:

- разработана технология получения разверток углерод-углеродных композиционных материалов, используемых в качестве конструктивных элементов и нагревателей высокотемпературного оборудования;
- разработана технология производства заготовок углерод-углеродных фрикционных материалов на модернизированных прецизионных мотальных машинах.

К таким заготовкам относятся термоструктурированные композиционные материалы для тормозных дисков, которые представляют собой, как правило, углерод-углеродные композиты, состоящие из основы, или углеродно-волоконной заготовки, уплотненной углеродной матрицей. В отличие от традиционного многостадийного способа формирования заготовок, заключающемся в послойной выкладке углеродных тканей и нетканых материалов, с последующим их иглопробиванием, особенностью предложенного способа является формирование крупногабаритных мотальных паков, с высоким значением коэффициента заполнения и ориентированным расположением углеродных нитей по отношению к «рабочей поверхности» трения. На рисунке 12 показана развертка, сформированная 3D намоткой УУКМ с углом скрещивания витков 60^0 .

Разработаны технологии создания новых конструктивных материалов в виде плоских нетканых полотен, формируемых на базе разверток на плоскость различных намоточных структур из материалов различного сырьевого состава (арамидных и сверх высокомолекулярных полиэтиленовых волокон, углеродных и вискозных волокон и т.д.). Разработанные технологии армирования композиционных материалов позволяют создавать композиты на основе дискретных и/или непрерывных волокон различной природы, при этом обеспечивают упрощение и удешевление процессов изготовления конечных изделий с заданной структурой, требуемыми свойствами и размерами.

Разверткой 3D намоток различных структур, могут формироваться, не только плоские листовые армирующие элементы композиционных материалов, но и профильные конструкции, с заданной кривизной поверхности и формы, что делает развертку намоток перспективным технологическим процессом создания композитов большой толщины и сложных форм.

Для получения каждого конкретного изделия целесообразно использовать специальное мотальное оборудование, оснащенное ПЭВМ.



Рисунок 12 - Развертка, сформированная намотки УУКМ с углом скрещивания витков 60° .

На базе слоисто-каркасных 3D намоток разработана технология изготовления композиционных фильтров. Данные намоточные структуры формируются, как правило, с использованием в одной паковке намоток нескольких нитей, и/или намоток различных структур. Каждая из используемых структур, в конечном изделии композита, выполняет свою, свойственную только ей функцию, при этом, в каждой из структур имеется возможность использовать нити различного сырьевого состава. Это значительно расширяет диапазон свойств и областей применения выходных – конечных продуктов (изделий различного назначения), например, формирование композиционных фильтров тонкой очистки и обеззараживания воздуха. Композиционные фильтры очистки и обеззараживания воздуха без использования УФ излучения.

Отличительной особенностью разработанной технологии является возможность объединения, или чередования структур намоток фильтровальных перегородок на перфорированных патронах, формируемых слоями намоток заданной структуры. Таким образом, появляется возможность создавать слоисто-каркасные структуры из фильтровальных материалов с различными свойствами, например, очистки и обеззараживания воздуха на различных слоях перегородки. Кроме того, выбираемый вид нитей, заданная пористость и воздухопроницаемость структуры, а также компоновка количества слоёв, того, или иного материала в единой системе, позволяют достигать требуемых показателей степени очистки воздуха.

Перспективы дальнейших исследований.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение гаммы конструкционных композиционных материалов плоской пространственной форм, потребность в которых только нарастает. Во всем мире начинают развиваться исследования, связанные с объединением нескольких технологий армирования в единую, направленную на использование всех преимуществ, присущих отдельным технологиям. Ярким примером такого подхода является разработка 3D намоток, которая объединяет процессы формирования тканых структур с намотками, с целью использования их индивидуальных положительных свойств, а именно одновременного формирования из нескольких систем нитей объёмных структур, с сохранением прочностных характеристик армирующих волокон, при заданной их ориентации в объёме конечного продукта. В данном направлении исследований разработан и способ формирования «фальш-намоток», плоских тонкостенных протяженных полотен, который заключается в использовании 3D намоточных ткацких или вязальных (по типу технологии «Метап») структур. Данная «объединяющая» технология выполняется на специальном оборудовании, которое позволяет формировать плоские текстильные армирующие «вязально-намоточные» полотна заданной ширины и длины. Дальнейшая работа направлена на реализацию полученных патентов, список которых приведен ниже.

Общие выводы и рекомендации:

1. Анализ процессов армирования композиционных материалов с использованием различных текстильных технологий показал, что армирование композитов намоточными структурами, является самым «коротким» (однопроцессным) способом формирования конечных изделий с требуемыми технологическими параметрами, а именно, с максимальным заполнением объема композита волокнистым наполнителем, требуемых форм и размеров, при минимальных затратах дорогостоящего сырья.

2. Критерием оценки эффективности производства композиционных материалов с заданными свойствами (прочностными, температурными) и требуемых типоразмеров, является себестоимость выпуска единицы продукции (композита и его элементов), которая, прежде всего, определяется стадийностью технологических процессов, трудоёмкостью их производства и понесенными сырьевыми и энергозатратами.

3. Установлено, что армирование композиционных материалов намоточными структурами, является самым «коротким» (однопроцессным) способом формирования композитов с требуемыми технологическими параметрами, а именно с максимальным заполнением объема композита волокнистым наполнителем, требуемых форм и размеров.

4. Главным параметром, определяющим все виды структур намоток мотальных паковок, является угол сдвига витков $\psi_{1,p+1}$, между различными парами слоёв намотки. В зависимости от величины угла сдвига витков, структуры намоток мотальных паковок специального назначения, подразделяются на три основные

группы: сомкнутые, замкнутые, спиралевидные и их производные, которые возможно применять в качестве наполнителей композиционных материалов различного назначения.

5. Намотки сомкнутой структуры и их производные, обладают максимально возможной, (по сравнению со всеми иными структурами наполнителей композитов) удельной плотностью намотки, причем, постоянной, как в осевом, так и в радиальном направлениях паковки.

6. Структуры сомкнутых намоток отличаются друг от друга по степени замыкания намотки-р и взаимному расположению витков намотки при их формировании, делятся на «опережающие» и «отстающие», данные особенности структур сомкнутых намоток приобретают особое значение при формировании наполнителей (армирующих заготовок) композиционных материалов, которые будут подвергаться большим внешним нагрузкам, действующим по известным направлениям.

7. Намотки замкнутой структуры являются фундаментальными, так как на их основе строятся множество производных структур «опережающих» и «отстающих» с той же степенью замыкания p , они имеют пористую (ячеистую) структуру, размеры пор определяются степенью замыкания намотки, которая может задаваться расчетным путем, что позволяет использовать их в инжиниринге композитных материалов, при выборе соотношения долей наполнителя и связующего.

8. Намотки спиралевидной структуры нитей на оправки характеризуются тем, что у «опережающих» намоток поры смещаются на заданную величину в каждом последующем слое намотки, относительно предыдущего, по ходу часовой стрелки, а у «отстающих», наоборот, против хода часовой стрелки. Это свойство спиралевидных структур намотки целесообразно использовать при формировании фильтровальных перегородок специального назначения и армирующих компонентов цельных композитов винтовой формы (корабельные винты, шнеки, турбины, лопасти летательных аппаратов и т.д.).

9. Армирующие композиционные материалы структуры, формируемые на базе 3D намоток, являются новым конструкционным материалом, обладающим высокой прочностью и устойчивостью к сдвигу и расслоению витков при приложении к ним больших внешних нагрузок, что обеспечивается высокой связанностью систем базовых и перевивочных нитей.

10. Прецизионные структуры 3D намоток, могут формироваться из нитей различной природы и различной линейной плотности, что открывает большие перспективы создания композиционных материалов с новыми, наперед заданными свойствами.

11. Структуры 3D намоток могут формироваться на паковках заданной формы и кривизны образующей поверхности, с максимально высоким коэффициентом заполнения структуры армирующим компонентом, при этом обеспечивая заданную ориентацию волокон (до пяти направлений).

12. Исследование структур намоток мотальных паковок и их свойств, целесообразно проводить построением разверток намотки на плоскость, что позволяет определять взаимное расположение волокон в структуре наполнителя и оптимизировать ее, что особенно важно, при конструировании композиционных материалов с заданными направлениями приложения внешних нагрузок на готовое изделие.

13. Развертки намоток мотальных паковок на плоскость позволяют успешно использовать их для армирования плоских и профильных толстостенных композиционных материалов. Использование разверток намотки паковок (тел вращения), полученных секущими плоскостями различного направления, можно получать множество профильных изделий (армирующих заготовок для выкладки в прессформы), с высоким коэффициентом заполнения, заданной толщины и требуемой ориентации волокон в структуре композита.

14. При армировании композиционных материалов различного назначения (заданной формы и размеров), долевое содержание наполнителя и связующего в общий объем композиционного материала, можно регулировать выбором структуры 3D намотки (замкнутой, сомкнутой, слоисто-каркасной, спиралевидной).

15. При производстве разверток намоток на плоскость, формируемых из углерод-углеродных композиционных материалов, предназначенных для производства конструктивных элементов и нагревателей высокотемпературного оборудования, можно контролировать и задавать свойства конечного изделия за счет формирования исходных намоточных структур с требуемыми технологическими параметрами.

16. При формировании армирующих заготовок углерод-углеродных материалов, выбор пористых структур намотки углеродных нитей на оправку, позволяет получить максимальное и равномерное проникновение углеродной матрицы в структуру намотки и межфиламентное пространство. Это способствует повышению заполнения объема заготовок углеродной матрицей (с возможными присадками), а, следовательно, повышению прочностных характеристик готовым изделиям, например, фрикционным материалам, работающим в критических условиях.

17. Использование крестовых сомкнутых 3D намоток в качестве наполнителя заготовок фрикционных материалов, их «рабочая поверхность» будет состоять из срезов непрерывных углеродных волокон, расположенным под заданным углом скрещивания витков, что обеспечит направленный отвод тепла из зоны трения и высокие прочностные свойства фрикционного материала.

18. Разработанная технология создания композиционных фильтров для очистки и обеззараживания воздуха, формируемых на базе различных структур 3D намотки мотальных паковок, позволяет существенно расширить области использования композиционных материалов в обеспечение экологической безопасности человека.

Рекомендации:

1. Критерием выбора технологии армирования и оценки эффективности производства композиционных материалов с заданными свойствами (прочностными, структурными и конструктивными), являются качество конечных изделий и себестоимость выпуска единицы продукции. Себестоимость, в свою очередь, определяется: стадийностью технологических процессов, трудоёмкостью производства, стоимостью используемого оборудования, понесенными сырьевыми и энергозатратами.

2. Исследование структур намоток мотальных паковок и их свойств, целесообразно проводить построением разверток намотки на плоскость, что позволяет определять взаимное расположение волокон в структуре наполнителя и оптимизировать ее, что особенно важно, при конструировании композиционных материалов с заданными направлениями приложения внешних нагрузок на готовое изделие.

3. Использование разверток 3D намоток мотальных паковок (тел вращения), полученных секущими плоскостями различного направления, можно получать множество профильных изделий (армирующих заготовок для выкладки в прессформы), с высоким коэффициентом заполнения, заданной толщины и требуемой ориентацией волокон в структуре композита.

4. При армировании композиционных материалов намотками произвольной формой необходимо выполнение условия равновесности витков на поверхности паковки, и условия наполнения объёма изделия армирующим наполнителем, когда для любого участка намотки, в направлении оси паковки, произведение толщины намотки на удельную плотность и осевую скорость перемещения нити является постоянной величиной.

5. Для формирования армирующих структур намотками различного вида, в том числе и 3D намоток, целесообразно использовать специальное мотальное оборудование с ЧПУ, адаптированное для каждого конкретного изделия. В конструкции мотального оборудования, должны учитываться основные параметры структуры конечных изделий (вид структуры, величина угла сдвига витков, степень замыкания намотки, линейная плотность нитей и т.д.), а также, их габаритные размеры и масса.

Основное содержание диссертационной работы отражено в публикациях:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Панин М.И. Об использовании комплексных нитей для армирования волокнистых композиционных материалов, применяемых в нефтегазовой отрасли / Панин М.И., Капустин В.М., Цимбалюк А.Е., Хакимов Р.В. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности – 2021. – № 6 (396). – с. 103-106.
2. Панин М.И. Разработка технологии армирования углерод-углеродных композиционных материалов методом разверток намоток мотальных паковок

- заданной структуры / Панин М.И., Гареев А.Р., Корчинский Н.А., Радайкин Д.А., Слюсарев А.А. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности – 2023. – № 2 (404). – с. 235-242.
3. Николаев С.Д. Пути совершенствования структуры иглопробивных прессовых сукон / Николаев С.Д., Панин И.Н., Панин М.И., Кащеев О.В., Николаева Н.А. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности – 2018. – № 6 (378). – с. 281-284.
 4. Николаев С.Д. Пути совершенствования пористых перегородок воздушных фильтров из текстильных материалов / Николаев С.Д., Панин И.Н., Панин М.И., Кащеев О.В., Рыбаулина И.В. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности – 2018. – № 5 (377). – с. 255-258.
 5. Kashcheev O.V. Calculation of the loads on composite materials formed by winding / Kashcheev O.V., Nikolaeva N.A., Panin M.I., Knyaz'kin S.V., Krotov S.Y. // Fibre Chemistry – 2014. – Т. 46. № 2 – с. 122-125.
 6. Панин И.Н. Расчет коэффициента заполнения структур композитных материалов текстильным армирующим компонентом / Панин И.Н., Панин М.И., Николаев С.Д., Николаев А.С., Гаврилова И.М. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности – 2013. – № 1 (343). – с. 73-78.
 7. Николаев С.Д. Использование различных текстильных фильтров, применяемых при очистке воздуха и газов от пыли / Николаев С.Д., Панин И.Н., Панин М.И., Рыбаулина И.В. // Дизайн и технологии – 2018. – № 66 (108). – с. 84-88.
 8. Панин М.И. Исследование структур каркасных тканей и иглопробивных полотен, выполненных в виде заготовок для производства углерод-углеродных тормозных дисков / Панин М.И., Гареев А.Р., Слюсарев А.А., Кулаков О.И., Соболева Т.А. // Технологии и качество – 2024. – № 4 (66). – с. 14-20.
 9. Корчинский Н.А. Оптимизация технологических процессов производства углепластиковых стержней для УУКМ на основе эпоксидного и фенолформальдегидного связующего из углеродного волокна производства УМАТЕХ / Корчинский Н.А., Панин М.И., Гареев А.Р., Ташбеков В.С. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы – 2023. – № 2 (118). – с. 43-53.
 10. Панин М.И. Анализ текстильных структур армирующих компонентов композиционных материалов и выбор областей их применения / Панин М.И., Гареев А.Р., Карпов А.П., Максимова Д.С., Корчинский Н.А. // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение – 2023. – № 2 (145). – с. 15-28.
 11. Панин М.И. О структурах намотки мотальных паковок, их названиях и областях применения при армировании композиционных материалов / Панин М.И., Гареев А.Р., Карпов А.П., Корчинский Н.А., Калугина К.Е. // Технологии и качество – 2022. – № 3 (57). – с. 24-29.

- 12.Панин И.Н. Особенности структуры полрой ткани / Панин И.Н., Николаев С.Д., Панин М.И., Рыбаулина И.В. // Дизайн и технологии – 2018. – № 65 (107). – с. 95-98.

Статьи в журналах РИНЦ:

- 13.Панин М.И. Влияние структуры армирования, изготовленной методом намотки, на фрикционные свойства углерод-углеродных композиционных материалов / Панин М.И., Гареев А.Р., Корчинский Н.А., Слюсарев А.А., Загвоздина Л.И., Соболева Т.А. // В сборнике: Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита – 2023 – Москва – 2023. – с. 92-101.
- 14.Панин М.И. Разработка технологии создания армирующих структур углерод-углеродных композиционных материалов методом развёрток намоток мотальных паковок / Панин М.И., Гареев А.Р., Карпов А.П., Корчинский Н.А., Радайкин Д.А., Слюсарев А.А., Ходнев А.Д. // В сборнике: Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита – 2023. – Москва – 2023 – с. 81-91.
- 15.Князькин С.В. Исследование закономерности движения нитеводителя при наматывании паковок произвольной формы намотки / Панин М.И., Князькин С.В., Кротов С.Ю. // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института – 2014. – № 1 (3). – с. 100-104.
- 16.Князькин С.В., О рациональной технологии формирования текстильных армирующих компонентов композиционных материалов заданной формы / Панин М.И., Князькин С.В. // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института – 2014. – № 1 (3). – с. 96-100.
- 17.Князькин С.В. Расчёт прочностных характеристик мотальных паковок специального назначения с помощью развёрток / Панин М.И., Князькин С.В., Кротов С.Ю., Романовский В.С. // Вестник Димитровградского инженерно-технологического института – 2013. – № 2 (2). – с. 57-62.

Тезисы докладов на научно-технических конференциях:

- 18.Панин М.И., Николаев С.Д., Николаев А.С., Гаврилова И.М., Тимко А.Ю. Текстильные материалы и технологии для композитов // Международная научно-техническая конференция. «Прогресс-2013». - Иваново, Ивановский политехнический университет – 2013. – с.11-12.
- 19.Панин М.И. Хакимов Р.Г. Разработка технологии производства композиционных материалов для авиационной промышленности, на базе пековых углеродных волокон // Реферативный бюллетень научно – технической и патентной информации по Углеродным материалам №3 – 2021. – с.242-243.
- 20.Панин М.И., Кашеев О.В. Исследование процесса группового сматывания нитей с мотальных паковок // Международная научно-техническая конференция

«Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» – Москва, МГУДТ – 2013. – с.17-18.

- 21.Панин М.И., Николаев С.Д., Гаврилова И.М., Николаев А.С Особенности получения армирующих компонентов композиционного материала ткачеством и намоткой на оправку и их экономическая эффективность // Шестой международный экономический форум в рамках Технологической платформы легкой промышленности – Чебоксары – 2013. – с.28-29.
- 22.Николаев С.Д., Панин М.И., Бузик Т.Ф. Разработка методики заправочного расчета полой ткани, вырабатываемой на круглом ткацком станке // Международная научно- техническая конференция «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» - Республика Беларусь. Витебск – 2013. – с.123-125.
- 23.Панин М.И., Рыбаулина И.В., Зенцова Г.В., Кротов С.Ю. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн СВЧ диапазона на основе текстильных полотен // Международная научно- техническая конференция «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности» - Республика Беларусь. Витебск – 2013. – с.73-75.
- 24.Панин М.И., Основные направления развития производства текстильных материалов специального назначения, на примере формирования мотальных паковок // Международный научно-практический симпозиум «Технический текстиль России: Нетканые материалы, сырье. Реинжиниринг» – Москва – 2023. – с.77-78.

Патенты:

25. Патент № 2820117 С1 на изобретение Российская Федерация, МКПО D04H 18/02, Способ изготовления волокнистого армирующего каркаса для углерод-углеродных тормозных дисков / Гареев А.Р., Карпов А.П., Панин М.И., Слюсарев А.А., Корчинский Н.А., заявитель и патентообладатель АО «НИИГрафит» (ГК «Росатом») заявлен 30.08.2024, опубликован 29.05.2024.
26. Патент № RU 226225 U1 полезную модель Российская Федерация, МКПО В 01827/08. Патронный фильтр композиционный / Панин М.И. заявитель и патентообладатель ООО «ООО НИЭК, г. Люберцы, заявлен 24.12.2023, опубликован 28.05.2024.
27. Патент 2808762 С1 на изобретение Российская Федерация, МКПО G01M 7/00, Установка для исследования теплозащитных свойств материалов в высокотемпературном потоке газов / Гареев А.Р., Карпов А.П., Белогорлов А.А., Самойлов В.М., Панин М.И., заявитель и патентообладатель АО «НИИГрафит» (ГК «Росатом») заявлен 15.03.2023, опубликован 04.12.2023.
28. Патент RU 219377 U1 на полезную модель, Российская Федерация, МПК В 01D 25/22. Фильтр насадочный воздухоочистительный / Панин М.И. Заявитель и патентообладатель ООО «ООО НИЭК» г. Люберцы, заявлен 05.11.2022, опубликован 13.07.2023.

29. Патент №195673 на полезную модель Российская Федерация, МПК В04С 54/08. Аппарат для проведения физико-химических процессов в вихревом газовом потоке / Панин М.И., Капустин В.М., Хакимов В.Р., Цимбалюк А.Е., заявитель и патентообладатель Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (РГУ им. И.М. Губкина). Москва, заявлен 08.10.2019, опубликован 03.02.2020.
30. Патент RU 2 733 943 С1 на изобретение Российская Федерация, МПК В04 D 19/00. Способ очистки нефти от сероводорода / Панин М.И., Капустин В.М., Хакимов В.Р., Цимбалюк А.Е. Заявитель и патентообладатель Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (РГУ им. И.М. Губкина). Москва, заявлен 08.10.201, опубликован 08.10.2020.
31. Патент RU 102010 U1 на изобретение Российская Федерация, МПК D 04H 31/00. Способ создания плоских нетканых полотен / Крамаренко Е.И., Селезнев А.Н., Кулаков В.В., Панин М.И. Заявитель и патентообладатель ОАО «Авиационная корпорация «Рубин», г. Балашиха Московской обл., заявлен 30.04.2014, опубликован 10.11.2015.
32. Патент №2010149282 на изобретение Российская Федерация, МПК F24F 3/16(2006.01) Фильтр ячеиковый воздухоочистители / Николаев С.Д., Лапшенкова В.С., Панин М.И. Заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный текстильный университет имени А.Н. Косыгина". Москва, заявлен 02.12.2010, опубликован 20.07.2011.

Панин Михаил Иванович

Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук
Пописано в печать «18» 02 2025г. Печ.2.0. Зак. 22 . Тираж 100.
ИПО КГУ, г. Кострома, ул. Дзержинского, д.17/11.