

В диссертационный совет 24.2.317.01 на базе
ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет»
по адресу 156005, г. Кострома, ул. Дзержинского, д.17/11

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Каревой Татьяна Юрьевны на диссертационную работу Панина Михаила Ивановича на тему «Разработка технологических процессов создания армирующих структур полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов на базе мотальных паковок», представленную на соискание степени доктора технических наук по специальности 2.6.16 – «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности»

Актуальность темы диссертационного исследования

Тема диссертации актуальна, так как направлена на решение вопросов, связанных с разработкой инновационных структур намоток и технологий армирования полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов с использованием мотальных паковок, что позволяет формировать армирующий наполнитель композиционного материала требуемых форм, размеров и свойств с максимальным заполнением волокнистым наполнителем при наименьших потерях прочности используемых нитей от технологических переходов их переработки.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации.

Полученные автором научные положения и выводы обоснованы. В теоретических исследованиях использованы методы дифференциального и интегрального исчисления, дифференциальной геометрии кривых, теории чисел. Степень обоснованности научных положений и выводов диссертации не вызывает сомнений, так как базируется на большом объеме экспериментальных исследований, использовании современных методов и средств обработки информации, широкой апробации результатов исследования.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Проведенный автором анализ научно-исследовательских работ подтвердил научную новизну положений диссертационного исследования в области создания высокопрочных композиционных материалов на основе мотальных паковок, в том числе 3D намоток.

Представленная работа содержит новый подход к решению задачи формирования армирующих материалов с высоким коэффициентом заполнения, требуемой толщины и заданной ориентации волокон в структуре композита.

Научная новизна диссертационного исследования обусловлена развитием теоретических основ строения и технологии формирования структур 3D намоток, применяемых при армировании полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов. Автором впервые разработаны:

- устойчивые к сдвигу и расслоению нитей при работе в композиционном материале структуры 3D намоток нитей на мотальные паковки;
- теоретические основы определения прочностных характеристик армирующих заготовок, формируемых на базе 3D намоток;
- способ создания намоткой толстостенных текстильных полотен заданной 3D структуры, формируемых на базе разверток намотки на плоскость;
- структурные показатели 3D намоток;
- способы армирования полимерных композиционных материалов, формируемых на базе мотальных паковок различных структур и их разверток на плоскость;
- теория формирования мотальных паковок слоисто-каркасной структуры.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложены:

- способы формирования волокнистых армирующих компонентов композиционных материалов на базе 3D намоток мотальных паковок;
- конструкции мотального оборудования для формирования паковок различного назначения;
- новые конструкции фильтров;
- технологии армирования композиционных материалов, формируемых на базе паковок различных структур и их разверток на плоскость;
- опытные образцы полимерных композиционных материалов, армируемые различными структурами 3D намоток.

Эффективность разработанных структур и способов их формирования подтверждается представленными в приложении к диссертации актами внедрения разработанных фильтров и изделий УУКМ, выполненных методом 3D намотки в АО «НИИГрафит» и ГК «Росатом».

Структура диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 103 наименований и семи приложений. Содержание работы изложено на 266 страницах, которое включает 62 рисунка, 4 таблицы.

Во введении изложены основные положения диссертации, обоснована актуальность темы, определены цель исследований и решаемые задачи, объекты и предметы исследования, дана характеристика научной новизны и практической значимости работы, указано соответствие содержание диссертации пунктам паспорта специальности.

В первой главе, на основании обзора научно-технической литературы, представлен анализ современного уровня использования текстильных материалов в качестве армирующего компонента в композиционных материалах, свойств волокон и нитей, используемых для их формирования, достоинства и недостатки каждого их видов текстильного материала, используемого в качестве основы для композита. Приведены результаты сравнительного анализа используемых материалов (волокон, нитей, намотки, нетканых, тканых и трикотажных полотен) на предмет степени заполнения композита армирующим компонентом, а также трудоемкости и процента отходов сырья в технологическом процессе, на основании чего перечислены задачи дальнейшего совершенствования процесса армирования композиционных материалов намоткой.

Во второй главе приведены результаты исследования структур намоток мотальных паковок и возможности использования их в качестве наполнителей композиционных материалов. Рассмотрены структура, условия формирования и развертки заданной степени замыкания сомкнутой, замкнутой (разомкнутой) и спиралевидной структур намоток. Предложена методика, рассмотрены условия и технологические особенности формирования прецизионных структур 3D намоток, метод построения развертки их на плоскость. Проведен анализ структур 3D намоток и параметров, влияющих на их прочностные характеристики. Введены понятия раппортов 3D намотки: по углу сдвига между витками различных пар слоев намотки нитей базовой и перевивочной структур, по ширине раскладки, по числу базовых и перевивочных нитей по ширине раскладки, по углу сдвига витков базовых и перевивочных нитей, а также сдвига витков намотки. Для определения степени жесткости связей между базовыми и перевивочными нитями автор вводит показатель - коэффициент жесткости намотки, для оценивания прочности структуры 3D намотки – коэффициент связанности, определяющий склонность структуры к расслоению или сдвигу витков в слоях намотки.

В третьей главе представлен материал по исследованию влияния натяжения нитей, угла скрещивания витков и степени прессования намотки на структуру наполнителей композиционных материалов, формируемых на базе мотальных паковок. Приведены результаты исследований влияния угла скрещивания витков цилиндрических армирующих оболочек, формируемых параллельной и крестовой намотками, оболочек, имеющих криволинейную поверхность, формируемых крестовой намоткой на плотность намотки, а также влияния степени прессования на структуру замкнутых 3D намоток.

Четвертая глава посвящена исследованию процессов армирования композиционных материалов, формируемых на базе мотальных паковок произвольной формы. Представлена методика формирования мотальных паковок произвольной формы с положительной кривизной поверхности намотки посредством изменения шага раскладки нити в зависимости от числа оборотов веретена, разработана конструкция мотального механизма формирования мотальных паковок заданной кривизны с постоянным, минимальным значением величины «свободного отрезка нити», исключающая возможное искажение формы намотки за счет изменения величины отрезка нити между нитераскладчиком и точкой входа нити на паковку.

В пятой главе представлен материал по исследованию процессов армирования композиционных материалов с помощью разверток намоток мотальных паковок. Выявлено, что изучение структур намотки и их оптимизацию целесообразно проводить по разверткам их на плоскость, что позволяет определять взаимное расположение нитей различных систем, их мест контактов в армирующей структуре 3D намоток, оптимизировать раскладку армирующих нитей в готовом изделии с известным значением угла скрещивания витков с учетом величины и направления внешних воздействий.

Шестая глава посвящена разработке технологии армирования полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов с использованием намоточных структур. Автором предложены технология получения разверток углерод-углеродных композиционных материалов, используемых в качестве конструктивных элементов и нагревателей высокотемпературного оборудования, технология производства заготовок углерод-углеродных фрикционных материалов на модернизированных прецизионных мотальных машинах, технология с возможностью объединения или чередования структур намоток фильтровальных перегородок на перфорированных патронах, формируемых слоями намоток заданной структуры, например, создания слоисто каркасных структур. Доказано, что 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.

Вопросы и замечания по работе:

1. В первой главе диссертации приводится критический анализ структур текстильных материалов, указывая их недостатки при использовании в качестве армирующего компонента. При этом практически отсутствует анализ недостатков структур намоток, как основы для композитов.

2. Данные, представленные в таблице 1.1 (стр. 47), не достаточно обоснованы. Непонятно, из каких соображений для всего многообразия текстильных материалов и полотен, используемых в качестве основы для

композитов, и разнообразного сырьевого состава используемых нитей представлены коэффициенты заполнения композита армирующим компонентом и процент отходов в процессе технологии их получения. Кроме этого, наряду с плоскими структурами тканых полотен, в таблице 1.1 следовало привести информацию и по объемным тканым полотнам, которые широко используются в качестве армирующего компонента композитов.

3. Не корректно называть дополнительные нити, вводимые в структуру мотальной паковки - перевивочными, так как они не выполняют роль таковых по подобию перевивочных нитей, например, тканого полотна. Так в перевивочных переплетениях нить, которая создает эффект перевивки, располагается то с одной, то с другой стороны базовой нити *неоднократно* по всей длине однослойного тканого полотна и, в сочетании с нитями утка, создается перевивочное, не осыпаемое и практически не раздвигаемое, переплетение в одном слое тканого полотна. В случае перевивочных кромочных нитей, последние, за счет конструкции перевивочного механизма, полностью огибают друг друга (на 360 градусов). Ни того, ни другого в случае формирования 3D намоток не происходит.

4. Не корректно сравнивать (обозначать) сомкнутые намотки по их разрезу с саржевым переплетением главного класса и вообще с переплетением. Так, рассматриваемый разрез намотки (рис. 2.19, стр.99) выполнен *поперек* формирующих ее нитей и по факту показывает расположение поперечных сечений используемых нитей в слоях (послойно). Раппорт переплетения ткани – это графическое изображение ткани сверху, то есть изображение *вдоль* нитей основы и утка, отражающее места взаимодействия каждой из нити одной системы с нитями другой системы по всему раппорту переплетения. По раппорту переплетения ткани можно проанализировать количество пересечек в раппорте, по разрезу намотки – возможно судить только о степени ее замыкания.

5. В исследовании структур намоток следует различать места контактов нитей (точек взаимодействия перекрещенных витков нитей), располагающихся в одной паре слоев намотки относительно друг друга одинаково (витки последующего слоя выше витков предыдущего слоя), которые нельзя отнести к пересечкам, и места пересечек, в том случае, когда, например, базовая нить, в месте контакта с дополнительной (перевивочной) нитью располагается в процессе намотки сначала под ней, а затем, в конкретном месте намотки - над ней. Это место и будет местом пересечки. При этом, в силу технологического процесса формирования мотальной паковки, обратного движения базовой нити под дополнительную в этом же слое осуществить невозможно.

6. Ошибочно считать, что число пересечек в каждом месте взаимодействия нитей структуры 3D намотки равно двум. Всегда присутствует только одна пересечка с низлежащего слоя в вышележащий и никогда обратно. В тканом полотне, действительно, число пересечек равно двум, так как нить в пределах раппорта с лица ткани выходит на изнанку (или наоборот) и

обязательно возвращается в исходное положение (число пересечек всегда является четным) и такое «ныряние» нити на протяжении всего цикла формирования ткани происходит постоянно, за счет чего формируется жестко связанное полотно, что нельзя обеспечить структурой намотки.

7. Автор утверждает, стр.87: *«Все используемые структуры намоток интегрируются в единую объёмную прецизионную (точную) триаксиальную структуру, которую называем 3D намоткой»*. Сомнительно утверждение о триаксиальности структуры намотки. Она действительно будет объёмной 3D намоткой, но не триаксиальной, а скорее двуаксиальной, т.к. в любом месте ее структуры (включая разные слои) присутствуют только две оси - нити, разложенные в двух не ортогональных направлениях, третья система (ось), которая бы пронизывала всю структуру намотки (от верхнего слоя до первого), либо располагалась бы вдоль образующей паковки - отсутствует.

8. Автор пишет, стр. 105: *«Точки пересечения этих кривых (синусоид) будут соответствовать местам «пересечек» (перекрытий) - **t нитей в одном шаге намотки** нитей, число которых характеризует коэффициент связности структуры»*. В расшифровке параметров формулы для определения коэффициента связанности (2.87), стр. 129, t - это число «пересечек» нитей в пределах раппорта 3D намотки. Какое из представленных описаний переменной t является верным?

9. Автор утверждает, стр. 111: *«Раппорт 3D намотки - это наименьшее число нитей всех систем (базовых и перевивочных) в одном объёмном слое, участвующих в формировании структуры 3D намотки, после которого характер их расположения повторяется»*. Следует ли из заявленного, что один объёмный слой соответствует раппорту 3D намотки?

10. Формула (2.62), стр. 116, для определения общего числа пересечений нитей базовой и перевивочных структур в раппорте 3D намотки вызывает сомнения, так как в представленных примерах расчета этого параметра даются ссылки на рисунки, по которым трудно судить о правильности полученных результатов (рис.2.8а, 2.20б и 2.20в).

11. Страницы диссертации 117 и 118 содержат перечисление параметров. Не совсем понятно – к какой формуле, и с какой целью они представлены.

12. Если предполагать, что скрещенные в процессе намотки базовые и дополнительные(перевивочные) нити располагаются в слое согласно рис.2.24б(стр. 116), то при определении длины и массы витков нитей (формула (2.77), стр.121) должна была бы учитываться величина их уработки (как в тканях), то есть число пересечек в раппорте намотки.

13. Формула (2.84), стр.127, требует обоснования и большего числа примеров по ее использованию при расчете намоток с разной степенью замыкания и числом используемых для формирования 3D намотки нитей (раскладчиков).

14. Не понятно, стр.127, каким образом были определены значения X_b – число пересечений (перевивочных связей) базовых нитей с перевивочными в

пределах раппорта и X_p – число пересечений (связей перевивочных нитей с базовыми) в пределах всего раппорта.

15. Формулы (2.86) и (2.87), стр. 129, требуют представления детального структурирования и обоснования их использования для определения коэффициента связности многослойной намотки по подобию формул для определения коэффициента связанности переплетения однослойной ткани (формула Н.С.Ереминой). Один пример не дает полной картины зависимости этого коэффициента от параметрических характеристик паковки и выявлению наиболее и наименее связанных 3D намоток.

16. Рисунок 2.24 стр. 116 Принятое построение разрезов в теории строения тканей вдоль нитей основы и утка по раппорту переплетения не приемлемо при изображении разреза намотки вдоль одной из нитей, так как в схеме раппорта намотки, как было указано ранее, представлен разрез намотки по толщине (например в плоскости z_u на рис 2.16), который не дает возможности проанализировать расположение нитей на поверхности намотки, в отличие от развертки намотки на плоскость. Представленный на рис. 2.24, стр.116, разрез намотки не отражает место пересечки, скорее это место контакта, так как базовая нить обоих слоев намотки располагается только сверху дополнительной (перевивочной) нити.

17. С какой целью были введены параметры R_ψ – раппорт 3D намотки по углу сдвига между витками различных пар слоев, R_n – раппорт 3D намотки по ширине раскладки, раппорт 3D намотки, определяемые по аналогичным формулам и не используемые в дальнейших теоретических выкладках по определению прочностных характеристик намотки?

18. Следовало унифицировать, представленные во второй, третьей и четвертой главах диссертации математические выражения с использованием диаметра или радиуса намотки только к одному виду показателя, например, только через диаметр, или только через радиус.

19. Присутствуют неточности в условных обозначениях, вынесенных на рисунках, ссылки на рисунки:

- стр. 54, рис. 2.1. – углы ψ_t (угол сдвига витков при «гексагональной» укладке нити в жгуте) и ψ_c (угол сдвига витков при сомкнутой структуре намотки) указаны равными, одновременно на рисунке присутствует запись зависимости $\psi_t = \psi_c/2$;

- стр. 99, рис.2.19а - в соответствии с описанием к рисунку, условные обозначения 4 и 1 - это нитеводители, а не нити;

- стр. 115 - не верно указана ссылка на рисунок - не рис.2.20, а рис.2.24;

- стр. 126, рис.2.25 - следуя последовательности работы раскладчиков, не правильно изображены места пересечений слоев, так как первая пара слоев всегда будет ниже второй и третьей пары, и обратный виток первой пары слоев не может быть выше витка второй пары слоев (как показано на рисунке 2.25), вторая пара слоев всегда будет ниже третьей пары, таким образом, третья пара слоев будет выше всех остальных пар слоев и не может быть ниже второй пары, как это показано на рисунке. Связывание (пересечка) слоев намотки произойдет

со следующего раппорта, когда первый раскладчик, сформировав первую, нижнюю пару слоев, начнет формировать четвертую пару слоев, затем перевязка слоев будет в месте начала формирования пятой пары слоев вторым раскладчиком, а далее – в месте начала формирования шестой пары слоев третьим раскладчиком и т.д. Внутри каждой пары слоев есть только точки контакта (взаимодействия) витков нитей, а не пересечки.

- стр.202 , рис.5.7 и рис.5.8 отличаются только отсутствием на рис.5.7 условных обозначений, которые присутствуют на рис.5.8;

- стр. 216 , рис. 6.2 отсутствует соединительный элемент между осью раскладчика и пазовым кулачком.

20. В формулах присутствуют опечатки, используются разные обозначения одного и того же параметра, либо одно и тоже обозначение разных параметров:

- стр. 75, в формуле (2.26) D_0 вместо D_o ;

- стр. 76, в формуле, перед формулой (2.29) - B вместо D ;

- стр.136 - при определении величины удельного давления вышележащих витков на нижележащие учитывается натяжение нити, обозначенное переменной t , одновременно во второй главе диссертации этим параметром обозначено число пересечек;

- стр. 137 - одной переменной S обозначены площадь элемента намотки (формула 3.9) и толщина намотки (стр.123);

- величина диаметра нити по вертикали вследствие смятия в диссертации обозначается то δ (п. 2.3, рис. 2.8, формула 2.21 ,стр.73), то a - в расшифровке параметров к формуле (2.80), стр.121 (при этом δ - уже толщина объемного слоя намотки), то s_6 и s_n (стр. 123);

- стр. 121, формула (2.78) присутствует обозначение номера пряжи (N), в свою очередь во второй главе диссертации, стр.113, N - число систем нитей (базовых и перевивочных), используемых в формируемой структуре 3D намотки.

Приведенные замечания не опровергают основные теоретические положения, выводы и практические результаты и не снижают общей значимости диссертации для науки и практики. Большая часть из отмеченных недостатков может быть устранена автором при дальнейшей работе.

По материалам диссертации опубликовано 32 печатные работы, в том числе 12 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора наук, из них 6 статей в журналах индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, 8 патентов на изобретение и полезную модель. Автореферат отражает сущность и соответствует основному содержанию диссертации, основное содержание теоретических исследований опубликовано в печати и доложено на многих научно-технических конференциях, что подтверждает ее практическую значимость.

Заключение

Диссертационная работа Панина Михаила Ивановича на тему «Разработка технологических процессов создания армирующих структур полимерных и углерод-углеродных композиционных материалов на базе мотальных паков», представленная на соискание степени доктора технических наук по специальности 2.6.16 – «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности», выполнена на высоком научном уровне, является целостной законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения по развитию теории формирования мотальных паков заданной формы, структуры и типоразмеров для армирования новых конструкционных композиционных материалов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, изложенным в п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Панин Михаил Иванович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.16 – «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности».

Доктор технических наук, доцент,
профессор Научно-образовательного центра «Центр компетенций текстильной и легкой промышленности»
Инжинирингового центра текстильной и лёгкой промышленности (НОЦ ЦКТиЛП ИЦТиЛП) ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

Т.Ю.Карева
Т.Ю.Карева
18.04.2025

Карева Татьяна Юрьевна – доктор технических наук (специальность 05.19.02 – «Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья»), доцент, профессор Научно-образовательного центра «Центр компетенций текстильной и легкой промышленности» Инжинирингового центра текстильной и лёгкой промышленности (НОЦ ЦКТиЛП ИЦТиЛП) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет»

Адрес: 153000, Ивановская область, город Иваново, Шереметевский проспект, дом 21.
телефон +7-915-845-90-55,
e-mail: tlp_pti@ivgpu.ru

Должность и подпись Каревой Татьяны Юрьевны заверяю,
секретарь Ученого совета ФГБОУ ВО «Ивановский
государственный политехнический университет»

«18» 04 2025 г.

Адрес: 153000, Ивановская область, город Иваново,
Шереметевский проспект, дом 21,
e-mail: rektor@ivgpu.ru, тел./факс: + 7(4932) 32-85-45.

