

На правах рукописи

Молоснов Константин Алексеевич



**Разработка трикотажных полотен для армирования
композиционных материалов**

Специальности:

05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных
материалов и сырья

05.19.01 – Материаловедение производств текстильной и легкой
промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2013

Работа выполнена на кафедре технологии и художественного проектирования трикотажа в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» и на кафедре сопротивления материалов в ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна».

- Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Труевцев Алексей Викторович
- Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Цобкалло Екатерина Сергеевна
- Официальные оппоненты: **Михайлов Борис Сергеевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна», профессор кафедры технологии и проектирования текстильных изделий
Романова Алла Александровна,
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики», доцент кафедры прикладной физики
- Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», Санкт-Петербург

Защита состоится 17 декабря 2013 года в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.01 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» по адресу 191186, г.Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.18, ауд.241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна».

Текст автореферата размещен на сайте СПбГУТД: <http://www.sutd.ru>

Автореферат разослан «13» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Витковская Раиса Федоровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современная эпоха диктует необходимость разработки новых конструкционных материалов. Наиболее перспективными представляются композиционные материалы. Применение кулирного трикотажа для армирования композиционных материалов создаёт широкие возможности получения бесшовных композитных конструкций практически любой пространственной формы. Это достигается за счет вывязывания армирующего компонента по контуру, либо придания трикотажной заготовке нужной формы путём использования локальной растяжимости. Кроме того, придание армирующему трикотажу формы не требует дополнительного подкроя, который характерен для армирования тканями, неткаными материалами и мультиаксиальным основовязаным трикотажем. Высокая пористость структуры кулирного трикотажа обеспечивает значительное увеличение площади контакта связующего с наполнителем по сравнению с армированием тканями и мультиаксиальным основовязаным трикотажем. Данное свойство кулирного трикотажа позволяет связующему равномерно заполнять объем формы. К настоящему моменту достаточно глубоко проработан вопрос изготовления текстильно-армированных композитов на основе нитей, тканей, нетканых материалов и основовязаного трикотажа. Однако систематических исследований армирования композиционных материалов кулирным трикотажем до сих пор нет. Это определяет актуальность разработки композитов на основе кулирного трикотажа для тех областей применения, где использование традиционных текстильно-армированных композитов неэффективно или затруднено. Настоящая работа посвящена изучению возможности получения таких материалов и исследованию их свойств.

Цели и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка кулирного трикотажа, способного выступать в качестве армирующего компонента композиционных материалов. Для достижения этой цели в работе были поставлены следующие задачи:

- Проанализировать возможность применения кулирного трикотажа в качестве наполнителя композитов с учетом его свойств;
- Изучить характер влияния структуры кулирного трикотажа и свойств образующей его нити на механические характеристики композита;
- Оценить целесообразность применения высокопрочных нитей для получения композиционных материалов;
- Исследовать вязальную способность высокопрочных нитей в сравнении с традиционным сырьём, применяемом в производстве кулирного трикотажа;
- Получить образцы композиционных материалов, армированных одинарным и двойным кулирным трикотажем и дать рекомендации по выбору сырья и переплетения для трикотажа-наполнителя;

- Разработать технологию получения изделий сложной формы на базе выбранного композиционного материала.

Методы и средства исследований. Теоретическим фундаментом проведенных исследований являются основные положения теории вязания, текстильного материаловедения и структурной механики текстильных материалов. Для изготовления образцов трикотажных полотен были выбраны параарамидная, полиэтиленовая и полиамидная нити, а также хлопчатобумажная и полиакрилонитрильная пряжа. Вязание образцов одинарных и двойных переплетений производилось на машинах 3-8 классов. Экспериментальные исследования нитей, трикотажа и композитов проводились на следующем оборудовании: РТ-250, Instron 4302, Instron 1195, Zwick, STATIGRAPH L, LaserSpot, ИЖ-3 в соответствии с действующими стандартами. Оценка вязальной способности нитей и изготовление образцов композиционных материалов осуществлялись по оригинальным методикам на лабораторных установках кафедры ТХП трикотажа. Обработка экспериментальных данных проводилась методами статистики и математического моделирования с использованием соответствующих пакетов прикладных программ.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- Показано, что кулирный трикотаж может выступать в качестве армирующего компонента композиционных материалов и показана целесообразность вязания его из высокопрочных нитей;
- Разработан критерий вязальной способности нитей и на его основе выполнена оценка вязальной способности параарамидных и полиэтиленовых нитей для плосковязального оборудования;
- Выявлены факторы, влияющие на прочность композита, армированного кулирным трикотажем, главными из которых являются вид нити, прочность нити, высота петельного ряда и петельный шаг;
- Предложена модель «квасинепрерывного армирования», объясняющая армирующий эффект кулирного трикотажа в композите.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- Разработаны рекомендации по оценке вязальной способности нитей для переработки в трикотажном производстве;
- Предложены переплетения и нити, обеспечивающие получение кулирного трикотажа для армирования композитов;
- Разработана методика получения изделий сложной пространственной формы из данного материала, которая рекомендована к внедрению Региональной общественной организацией «Санкт-Петербургское Военно-историческое общество» для изготовления реплик исторических объектов и ГАУК «Санкт-Петербургский государственный театр музыкальной

комедии» при изготовлении бутафорских изделий для театральных постановок;

- Результаты исследования использованы при чтении лекционного курса «Технический текстиль» в Институте текстиля и моды СПГУТД, а также при создании рабочей программы по дисциплине «Механика полимерных композиционных материалов» для студентов направления 261100.62 – Технология и проектирование текстильных изделий.

Достоверность результатов и обоснованность основных выводов обеспечивается применением современных методов исследования, экспериментальной проверкой основных положений работы и апробацией основных результатов работы на семинарах, конференциях и в научной печати.

Апробация результатов.

Основные результаты работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на:

- международной научно-практической конференции «С наукой – в будущее» (республика Беларусь, г.Барановичи, 2012);
- Всероссийских научных конференциях молодых ученых «Инновации молодежной науки» (СПб, 2011, 2012, 2013);
- Всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Проблемы экономики и прогрессивные технологии в текстильной, легкой и полиграфической отраслях промышленности» (СПб, 2009);
- семинарах кафедры технологии и художественного проектирования трикотажа (2009, 2010, 2011, 2012, 2013);
- расширенном заседании кафедры технологии и художественного проектирования трикотажа (2012, 2013);
- заседании кафедры сопротивления материалов (2013).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, 3 из них в изданиях из «Перечня... ВАК».

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает введение, 6 глав, заключение, список использованных источников (122 наименование), 11 приложений. Работа изложена на 180 страницах, содержит 65 рисунков и 71 таблицу.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы направления исследований.

Первая глава содержит обзор публикаций, имеющих в настоящее время по теме. Приведена основная информация о композиционных материалах и пластических массах, их преимуществах и недостатках, основных разновидностях и сферах их использования. В качестве матрицы для изготовления образцов композитов была выбрана эпоксидная смола ЭД-20 и отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА). Рассмотрено применение

текстильных материалов в производстве композитов и показано, что вопрос использования кулирного трикотажа в качестве армирующего элемента композита изучен недостаточно хорошо, однако за последние пять лет интерес к этой теме возрос. На основании изученных источников были сформулированы основные цели и задачи работы, а также выдвинута рабочая гипотеза.

Вторая глава посвящена выбору сырья для изготовления армирующего кулирного трикотажа. Рассмотрен ассортимент нитей технического назначения, из которого был выделен подкласс высокопрочных нитей как представляющих наибольший интерес для изготовления армирующего трикотажа. Из всего ассортимента высокопрочных нитей были выбраны два вида: параарамидная нить марки «Херакрон» и сверхпрочная нить на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена марки «Дайнема». Для сравнения с ними были взяты традиционно используемые в трикотажном производстве хлопчатобумажная и полиакрилонитрильная пряжа.

Для решения вопроса о пригодности высокопрочных нитей для переработки в трикотаж в настоящей работе было предложено понятие *вязальной способности*, как комплекса свойств нити, влияющих на протекание процесса петлеобразования: это жесткость нити при изгибе, трение нити о сталь, трение нити о нить, неровнота нити по толщине. Данные параметры были измерены по существующим стандартным методикам на указанных ранее установках. Для численного выражения вязальной способности нитей были сформулированы два критерия вязальной способности. Первый из них оценивает вязальную способность в баллах, по шкале от 0 до 10 баллов, где 0 – это абсолютно не вяжущаяся нить, а 10 – идеально вяжущаяся нить. Второй — основан на перемножении факторов. При этом факторы необходимо кодировать в безразмерный вид коэффициентов, принимающих значения от 0 до 1. Исходя из полученных значений критериев, был сделан вывод, что все выбранные нити имеют удовлетворительную вязальную способность и могут быть использованы для изготовления образцов трикотажных полотен. Данные двух методик принципиально не противоречат друг другу.

Третья глава посвящена изучению взаимосвязи структуры трикотажа главного переплетения «кулирная гладь» и механических свойств армированного им композита.

Для изготовления образцов трикотажа была выбрана однофонтурная плосковязальная машина 5 класса, обладающая подвижными платинами для лучшего контроля процесса петлеобразования, что особенно важно для переработки высокопрочных нитей, обладающих высокой жесткостью. Для эксперимента были выбраны три вида нитей разной волокнистой природы: хлопчатобумажная пряжа, ПАН пряжа и параарамидная комплексная нить херакрон. Вязание осуществлялось на трёх глубинах кулирования. Изготовленные образцы трикотажа были подвергнуты влажно-тепловой

обработке для приведения структуры трикотажа в условно-равновесное состояние, после чего образцы проходили отлёжку в течение 24 часов. Образцы были испытаны на разрыв по ГОСТ 8847-85. Полученные данные были сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры образцов трикотажа переплетения кулирная гладь

Вариант	Глубина кулирования h_k , мм	Плотность по горизонтали Пг, пет/дм	Плотность по вертикали Пв, пет/дм	Длина нити в петле, мм	Поверхностная плотность ρ_{sp} , г/м ²	Разрывная нагрузка R_p , Н	Относительное разрывное удлинение ϵ , %
Трикотаж из нити херакрон							
1	6	36	46	10±0,1	310±4	1330±3	120±5
2	8	25	34	13±0,3	280±2	970±4	110±6
3	10	20	33	15±0,1	170±3	550±1	120±3
Трикотаж из ПАН пряжи							
4	6	27	54	11±0,1	220±3	380±3	130±4
5	8	24	49	12±0,1	210±1	320±1	110±1
6	10	22	44	13±0,3	180±3	230±1	100±3
Трикотаж из хлопчатобумажной пряжи							
7	6	32	59	9±0,6	250±3	200±3	160±5
8	8	30	39	11±0,7	210±4	190±7	120±2
9	10	27	30	13±0,8	160±3	190±3	100±2

Из таблицы 1 видно, что глубина кулирования влияет на поверхностную плотность трикотажа и, соответственно, на разрывную нагрузку. Чем плотнее полотно, тем оно прочней, это полностью соответствует имеющимся в теории вязания представлениям.

Для изготовления образцов композитов был выбран метод ручной выкладки, как наиболее удобный в лабораторных условиях. В данном эксперименте был изучен вопрос влияния вида нити на механические характеристики композита, армированного трикотажем. Для эксперимента были отобраны образцы кулирной глади, связанные на средней глубине кулирования (8 мм), которые были залиты эпоксидной смолой. Полученные образцы композитов были испытаны на растяжение до разрыва в направлении петельных столбиков на универсальном измерительном комплексе Instron 1195. Результаты сведены в таблицу 2.

Из таблицы 2 видно, что прочность нити влияет на прочность композита, а значит кулирный трикотаж обеспечивает ориентированное армирование композита.

Необходимо отметить, что параарамидная комплексная нить прочнее обоих других видов пряжи в 10 раз, но композит с наполнителем в виде трикотажа из нее – лишь в 3 раза. Этот факт может объясняться структурой и природой нити: в пряжу смола проникает легче, чем в комплексную нить, но результат этого процесса зависит от адгезии волокна к матрице. Для более детального исследования взаимодействия нитей с эпоксидной смолой было решено испытать их на разрыв на измерительном комплексе Instron 4302, как

Таблица 2 – Механические свойства нитей, трикотажа и образцов композитов, армированных трикотажем переплетения кулирная гладь

Варианты армирующих материалов	Удельная разрывная нагрузка нитей, сН/текс	Разрывная нагрузка трикотажа, Н	Разрушающее напряжение композита, МПа
Без армирования	–	–	60±2
Трикотаж из комплексной нити херакрон	120±2	970±3	180±1
Трикотаж из ПАН пряжи	10,3±0,3	320±2	110±1
Трикотаж из хлопчатобумажной пряжи	10,6±0,4	200±3	150±4

в свободном состоянии, так и после заливания эпоксидной смолой (в микропластике). Результаты эксперимента представлены на рисунке 1. Диаграммы растяжения необработанных нитей и в микропластике (рис.1) показали, что в рабочем диапазоне деформаций эпоксидной смолы лучше всего работает микропластик с х/б пряжей, а остальные исследованные нити - удовлетворительно. Из рисунка 1 также видно, что прочность параарамидной

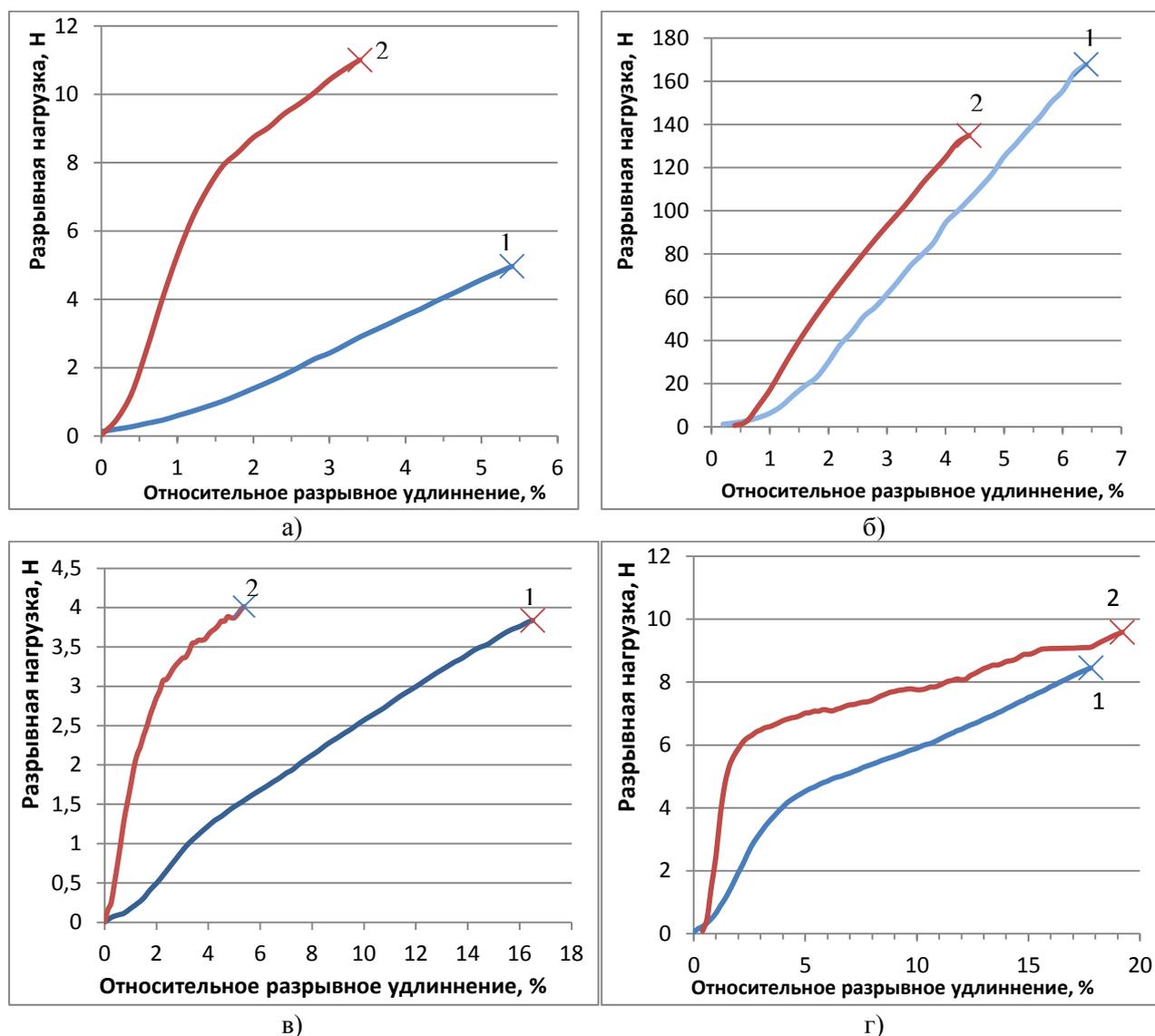


Рисунок 1 – Диаграммы растяжения необработанных нитей (1) и нитей в микропластике (2): а) х/б пряжа; б) нить херакрон; в) нить найлон; г) ПАН пряжа

нити в микропластике уменьшается, в то время как у остальных видов пряжи – увеличивается, что и объясняет ранее отмеченный факт сравнительно небольшой разницы прочностей композитов в таблице 2.

Для дополнительной проверки адгезионной способности выбранных нитей к матрице был проведен эксперимент, заключающийся в выдёргивании их из микропластика. В неподвижном зажиме был закреплён конец нити, залитый в пластик, а в подвижном зажиме был закреплён свободный конец нити. Результаты эксперимента показали, что адгезионная прочность превышает разрывную нагрузку всех исследованных нитей.

Для изучения влияния длины нити в петле (ДНП) на механические свойства композита были исследованы образцы композитов, армированных кулирной гладью всех трёх вариантов глубины кулирования (6, 8, 10 мм). Результаты эксперимента сведены в таблицу 3. Кулирная гладь из всех видов нитей, при переходе от минимальной ДНП к средней увеличивает прочность композита. Дальнейшее увеличение ДНП приводит к тому, кулирная гладь из параарамидной нити увеличивает прочность композита, а из ПАН пряжи и хлопчатобумажной пряжи — уменьшает.

Таблица 3 – Разрушающее напряжение композитов, армированных трикотажем переплетения кулирная гладь

Глубина кулирования, мм	Средняя ДНП, мм	Разрушающее напряжение образцов композитов, МПа		
		Армированных трикотажем из нити херакрон	Армированных трикотажем из ПАН пряжи	Армированных трикотажем из х/б пряжи
6	10	130±21	80±4	130±22
8	12	180±23	110±24	150±21
10	14	200±21	90±15	100±15

Увеличение ДНП даёт уменьшение количества петель в ряду, а значит и уменьшение числа отрезков нитей в поперечном сечении, сопротивляющихся нагрузке, но при этом – увеличение длины этих отрезков. Взаимное влияние этих двух тенденций даёт некое оптимальное соотношение количества нитей и их длины, что приводит к максимальной прочности образцов. Хотя для нити херакрон результаты выглядят иначе, можно предположить, что дальнейшее увеличение ДНП привело бы к падению итоговой прочности композита.

Также видно, что характерная для трикотажа тенденция «чем меньше ДНП, тем прочнее трикотаж» (см. табл.1) на композит не распространяется. На примере кулирной глади из херакрона хорошо заметно, что композит никак не реагирует на падение прочности армирующего его трикотажа. Получается, что для конкретной нити прочность самого армирующего трикотажа не влияет непосредственно на прочность композита, но при этом армирующий эффект от трикотажа есть. Поэтому была выдвинута гипотеза о механизме работы трикотажа в структуре композита (рисунок 2). Помещенный в связующее трикотаж принципиально меняет свои свойства и его механизм растяжения становится другим. Точки контакта между петлями уже не могут свободно смещаться, и удлинение возможно лишь за счет

деформирования самих нитей, чья растяжимость на 1-2 порядка ниже, чем у вязаной структуры в свободном состоянии. При приложении растягивающих усилий в направлении петельных столбиков нагружению будут сопротивляться петельные палочки (рис. 2, б). При этом, в первом приближении, их углом наклона (рис.2, в) можно пренебречь и, таким образом, получается структура (рис.2, г), схожая с одномерным армированием однонаправленными дискретными нитями, длина которых будет равняться высоте петельного ряда В (модель «квазинепрерывного армирования»).

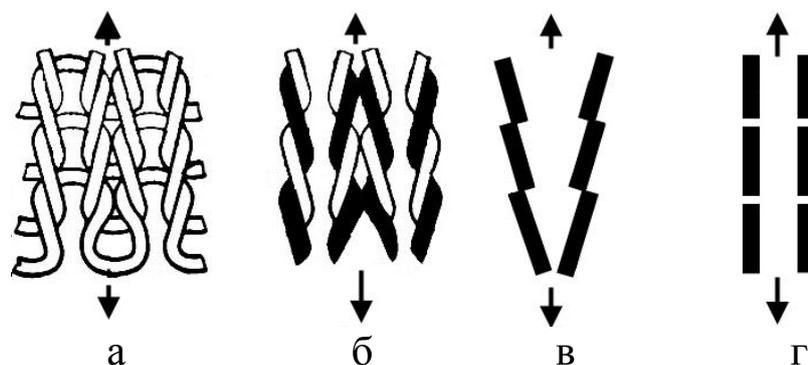


Рисунок 2 – Модель механизма работы кулирной глади в композите при нагружении в направлении петельных рядов

Эта гипотеза может объяснить влияние высоты петельного ряда (длины петельной палочки): существует определенная критическая длина нити, при которой обеспечивается наибольший эффект от армирования. Однако, при уменьшении или превышении критической длины армирующий эффект снижается, что и было обнаружено (см.табл.3).

Армирование кулирным трикотажем имеет отличия от армирования однонаправленными дискретными нитями, которые обычно в существующих композитах направлены только в одну сторону. Нити в структуре трикотажа расположены иначе, то есть при приложении нагрузки в другом направлении будут работать другие участки петли. Если предложенная модель верна, то композит на основе трикотажа должен быть анизотропным материалом.

Четвертая глава посвящена изучению влияния вида переплетения на прочностные характеристики армированного им композита. Для этого были выбраны три вида двойных переплетений – «ластик 1+1», «репс» и «миланский ластик». Технологические параметры и механические характеристики выработанных полотен, а также результаты испытаний композитов, армированных данными полотнами сведены в таблицу 4.

Двойные переплетения представляют большой интерес для использования в качестве армирующего элемента композита поскольку они не закручиваются, благодаря сбалансированности напряжений внутри петельной структуры. Кроме того, в отличие от кулирной глади, двойные переплетения являются объемными структурами, их петли располагаются в разных пространственных слоях. За счет этого они армируют больший объем матрицы, что приводит к увеличению прочности композита.

Таблица 4 — Технологические параметры выработанных полотен и разрывные характеристики, армированных ими композитов

Вид переплетения	Число рядов кулирной глади в раппорте, шт.	Плотность по горизонтали, Пг, пет/дм.	Плотность по вертикали, Пв, пет/дм	Поверхностная плотность, г/м ²	Разрывная нагрузка трикотажа Р _р , Н	Относительное разрывное удлинение трикотажа ε, %	Разрушающее напряжение композитов, σ, МПа	Относительное разрывное удлинение композитов, ε, %
Образцы трикотажа из нитей дайнема и композиты на их основе								
Ластик 1+1	0	20	25	290	1125	62	170±26	11±1
Репс	1	18	33	285	835	62	160±30	10±1
Миланский ластик	2	34	34	340	978	42	190±27	11±1
Образцы трикотажа из нитей херакрон и композиты на их основе								
Ластик 1+1	0	37	47	260	1204	54	160±30	8±1
Репс	1	48	42	370	1408	52	210±8	10±1
Миланский ластик	2	44	76	580	1752	55	220±26	9±1

Как видно из таблицы 4, увеличение числа рядов кулирной глади в раппорте армирующего трикотажа увеличивает прочность композита.

Пятая глава посвящена изучению влияния растяжимости трикотажа на механические свойства армированного им композита. Из гипотезы, выдвинутой в главе 3, следует вывод о том, что растяжимость кулирного трикотажа, измеренная в свободном состоянии, не должна влиять на прочность композита, т.к. в нём находится структура, принципиально изменившая механизм своего деформирования. Анализ полученных в предыдущих главах данных показал, что растяжимость трикотажа и прочность композита не имеют между собой тесной связи: коэффициент корреляции между этими параметрами составляет 0,3. Для дополнительной проверки данной гипотезы был проведен отдельный эксперимент.

С целью создания высокорастяжимой структуры трикотажа, было решено ввести в полотно текстильные нити с высокой степенью растяжимости и при этом сами структуры разработать так, чтобы в переплетениях содержалось различное количество петель и набросков. Все образцы связаны на автомате CMS – 320.6 8 класса при заправке: хлопчатобумажная пряжа 100 текс + эластановая нить 55 текс. Параметры образцов сведены в таблицу 5.

Введение прессовых набросков изменяет петельную структуру (рис.3), увеличивая высоту петельного ряда В у отдельных (прессовых) петель, что, согласно принятой в главе 3 модели, должно увеличивать прочность композита. Полученные экспериментальные данные подтверждают это.

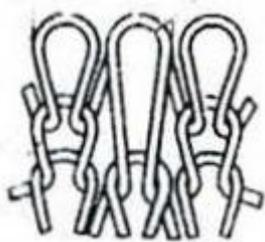


Рисунок 3 — Структура прессового переплетения

Таблица 5 – Технологические параметры и механические характеристики образцов трикотажа и композитов на их основе

Доля прессовых набросков, %	Плотность по горизонтали, P_h , пет/дм	Плотность по вертикали, P_v , пет/дм	Поверхностная плотность, ρ_s , г/м ²	Удлинение при бН, %	Удлинение при 100Н, %	Разрывное удлинение трикотажа, ϵ_r , %	Разрушающее напряжение композита, σ , МПа
0 (кулирная гладь)	52	68	408	7,4	145	245±14	44±4
30	64	74	481	7,4	134	240±2	52±8
50	60	66	409	7,7	133	249±2	63±3

Вместе с тем, из данных таблицы 5 невозможно сделать вывод о каком-либо влиянии растяжимости трикотажа на прочность композита, который им армирован. Следовательно, можно вязать растяжимый трикотаж, обтягивать им объекты сложной формы и заливать полученный каркас пластмассой. Данный факт открывает широчайшие возможности для получения изделий практически любой формы.

В предложенной выше модели (глава 3) была также выдвинута гипотеза об анизотропии свойств композита, армированного кулирным трикотажем. Для изучения этого вопроса был выбран ластик 1+1, т.к. его механические свойства в зависимости от направления приложения нагрузки значительно изменяются. Для вязания были выбраны хлопчатобумажная пряжа 29 текс x 2 и текстурированная нить нейлон 15,6 текс x 2 x 2. Технологические параметры выработанных образцов сведены в таблицу 6.

Механические свойства данных полотен были испытаны на приборе Statigraph L, а композитов на их основе – на Instron 1195. Полученные в экспериментальные данные сведены в таблицу 7.

Таблица 6 — Технологические параметры переплетений ластик 1+1 из ПА нити и х/б пряжи

Вид нити	Суммарная линейная плотность нити, текс	Плотность по горизонтали, Пг, пет/дм.	Плотность по вертикали, Пв, пет/дм	Петельный шаг, А, мм	Высота петельного ряда, В, мм	Длина нити в петле, мм	Поверхностная плотность, ρ_s , г/м ²
ПА нить наилон	62,4	108	110	1,20	0,88	5,40	400
Х/б пряжа	58	120	88	1,60	1,14	5,52	338

Таблица 7 — Сводная таблица экспериментальных данных

Вид нити	Направление нагрузки	Разрывная нагрузка трикотажа, Н	Относительное разрывное удлинение, %	Разрушающее напряжение композитов, σ , МПа
ПА нить	По рядам	410 ± 17	170 ± 7	20 ± 4
	По столбикам	920 ± 47	90 ± 4	60 ± 8
Х/б пряжа	По рядам	170 ± 11	90 ± 5	30 ± 4
	По столбикам	550 ± 45	60 ± 5	100 ± 13

В теории вязания известно отношение прочностей трикотажа по вертикали и по горизонтали (коэффициент анизотропии). Согласно А.С. Далидовичу, для ластика 1+1 оно равно:

$$K_{л1+1} = 2 \frac{P_z}{P_g} \quad (1)$$

Расчеты по формуле (1) и экспериментальные значения коэффициентов анизотропии сведены в таблицу 8, из которой видно, что теоретические значения $K_{л1+1}$ практически совпадают с расчетными.

Таблица 8 – Отношение прочности трикотажа и композита по столбикам и по рядам (коэффициент анизотропии)

Вид нити	Отношение прочности трикотажа по столбикам и по рядам		Отношение прочности композитов по столбикам и по рядам (экспериментальное)
	Теоретическое (по Далидовичу)	Экспериментальное	
Х/б пряжа	2,7	3,3	2,8
ПА нить	2,6	2,2	2,7

Интересно, что совпадение теории Далидовича с данными композита даже лучше, чем с опытами на трикотаже. Это объясняется тем, что в композите

столбики и ряды трикотажа ориентированы строго по линии действия нагрузки (как в теории), а полотно в свободном состоянии при растяжении всегда сужается к середине, и петельные столбики и ряды искривляются.

Шестая глава посвящена разработке технологии получения изделия заданной формы из композиционного материала, армированного кулирным трикотажем. Предлагаемая технология заключается в следующем: оригинал покрывается защитным слоем, предотвращающим прилипание к нему эпоксидной смолы; форма обтягивается трикотажным полотном из полиамидной нити; полученная заготовка заливается эпоксидной смолой, предварительно смешанной с отвердителем; когда смола окончательно затвердевает, заготовку можно снимать с формы; загрунтованная поверхность заготовки покрывается акриловой краской, применяемой в моделировании. При необходимости после крашения объект может быть покрыт лаком. Технология была отработана на примере получения реплики пехотной каски М26.

Разработанная технология может быть использована в театральной постановке или для массовых сцен при съемках кинофильма. При этом уменьшение веса изделия по сравнению с металлическим оригиналом является важным достоинством данной технологии.

Основные выводы:

- Показана способность кулирного трикотажа выступать в качестве армирующего компонента в композите, поскольку внутри связующего петельная структура принципиально меняет механизм своего деформирования;
- Выявлено, что структура и прочность нити, из которой изготовлен армирующий трикотаж, оказывает существенное влияние на механические свойства композита, поэтому целесообразно использование высокопрочных нитей для изготовления трикотажа - наполнителя композиционных материалов;
- Предложен комплексный критерий оценки вязальной способности нити, так как переработка высокопрочных нитей на вязальном оборудовании недостаточно отработана и может вызывать трудности;
- Установлено, что вид переплетения существенно влияет на прочность полученного композита, поскольку структура армирующего трикотажа определяет механизм распределения нагрузки в композите;
- Предложена модель «квазинепрерывного армирования», позволяющая объяснить поведение вязаной структуры в составе композита;
- Введен термин «коэффициент армирования композита», показывающий отношение прочности композита к прочности матрицы;

- Обнаружено, что наилучшим вариантом из исследованных образцов признано переплетение «миланский ластик»: армированные им композиты наиболее прочные по сравнению с композитами, армированными трикотажем других переплетений;
- Не обнаружено явного влияния растяжимости и разрывного удлинения трикотажа на прочность армируемого им композита, таким образом, высокорастяжимый кулирный трикотаж, содержащий эластомерные нити, может быть использован в качестве наполнителя композита;
- Показано, что введение прессовых петель в одинарный кулирный трикотаж повышает прочность композита за счет увеличения длины отдельных петельных палочек;
- Разработана методика изготовления объектов сложной формы из предложенного композиционного материала на базе матрицы из эпоксидной смолы, армированной кулирным трикотажем — она позволяет получать легкие реплики исторических предметов и бутафорские изделия для театра и кино;
- Результаты работы рекомендованы к внедрению Региональной общественной организацией «Санкт-Петербургское Военно-историческое общество» и ГАУК «Санкт-Петербургский государственный театр музыкальной комедии».

Автор выражает глубокую благодарность за консультации и помощь при выполнении диссертационной работы коллективам кафедры ТХП трикотажа; кафедры сопротивления материалов; кафедры наноструктурных, волокнистых и композиционных материалов; кафедры механической технологии волокнистых материалов; кафедры материаловедения и товарной экспертизы; д-ру ист. наук А.В. Арановичу.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

Статьи в изданиях из «Перечня ... ВАК»:

1. *Труевцев, А.В* Влияние вида нитей на механические свойства композитов, армированных трикотажем / А.В. Труевцев, К.А. Молоснов, А.В. Беляева, Д.М. Дарвиш // Известия вузов. Технология легкой промышленности. — 2011. — № 1. — С.45-47
2. *Молоснов, К.А.* Влияние вида переплетения на прочностные характеристики композитов, армированных кулирным трикотажем / К.А. Молоснов, А.В. Труевцев, Е.С. Цобкалло // Известия вузов. Технология легкой промышленности. — 2012. — № 4. — С.65-67.
3. *Молоснов, К.А.* Применение композита, армированного кулирным трикотажем, для создания реплик исторических предметов / К.А. Молоснов, А.В. Аранович, А.В. Труевцев // Дизайн. Материалы. Технология. — 2013. — № 2. — С. 62-66.

Статьи в научных сборниках, тезисы докладов:

4. *Молоснов, К.А.* Исследование возможности переработки высокопрочных нитей на вязальном оборудовании // Дни науки – 2009: Сб. тезисов докладов. – СПб.: ИПЦ СПГУТД, 2009. – С. 174-175
5. *Беляева, А.В.* Применение трикотажа для армирования композиционных материалов / А.В. Беляева, К.А. Молоснов // Вестник молодых ученых СПГУТД. Сборник научных трудов, часть 4, СПб.: СПГУТД, 2011. – С.211-212.
6. *Галимова, Р.Н.* Оценка свойств высокопрочных нитей, используемых для армирования композитов / Р.Н. Галимова, К.А. Молоснов, А.К. Изотова // Тез. докл. всеросс. конф. молодых ученых «Инновации молодежной науки» 23-27 апреля 2012 г. – СПб.: СПГУТД, 2012. – С.99-100.
7. *Цобкалло, Е.С.* Исследование возможности армирования композитов кулирным трикотажем / Е.С. Цобкалло, А.В. Труевцев, К.А. Молоснов, А.К. Изотова // Материалы международной научно-практической конференции «С наукой в будущее», 18 мая 2012 г. — Барановичи, 2012. — С.103-107.
8. *Труевцев, А.В.* Использование трикотажа как наполнителя композиционных материалов / А.В. Труевцев, А.Ю. Баранов, К.А. Молоснов, Н.И. Кашина // Материалы международной научной конференции «Наноструктурные, волокнистые и композиционные материалы», 12-16 мая 2013 г. — СПб., 2013. — С.24-25.
9. *Куковьякина, В.А.* Применение трикотажа для изготовления реплик исторических предметов / В.А. Куковьякина, И.С. Макарова, К.А. Молоснов, А.В. Аранович // Тез. докл. всеросс. конф. молодых ученых «Инновации молодежной науки» 2013 г. – СПб.: СПГУТД, 2013. — С.177.

Статьи в других изданиях:

10. *Труевцев, А.В.* Армирование композитов кулирным трикотажем из параарамидной нити / А.В. Труевцев, Е.С. Цобкалло, К.А. Молоснов // Легкая промышленность. Курьер. — 2013. — № 5. — С. 7-10.