

## МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕЛЬНОТКАНЫХ 3D ПРЕФОРМ

### METHODS OF DESIGNING WOVEN 3D PREFORMS

А.М. Киселев, В.Ю. Селиверстов, М.В. Киселев  
А.М. Kiselev, V.Yu. Seliverstov, M.V. Kiselev

ОАО Костромской научно-исследовательский институт льняной промышленности  
Костромской государственный университет  
OJSC Kostroma Research Institute of Linen Industry  
Kostroma State University  
E-mail: laibach@mail.ru, v.seliverstov1959@gmail.com, kisselev50@mail.ru

В статье представлена новая концепция проектирования армирующих 3D структур для производства композиционных изделий. Принципиальное отличие концепции заключается в моделировании цельнотканой преформы, аппроксимирующей заданную деталь, а не представительский объем материала небольших размеров. Кроме того в предлагаемой системе проектирования композиционного изделия функции проектирования совмещены с функциями контроля изготовления с применением методов компьютерной томографии.

**Ключевые слова:** проектирование; моделирование; преформа; томография

The article describes a new concept of designing reinforcing 3D structures for the production of composite products. The principal difference of the concept in modeling the seamless preform, approximating the given detail, rather than a small representative volume of material. In addition, in the proposed system for designing a composite product, the design functions are combined with the production control functions using computer tomography methods.

**Keywords:** design; simulation; preform; tomography

Сегодня мировой тенденцией в производстве композиционных изделий является применение высокопрочных синтетических волокон, таких как углеродное, базальтовое, стеклянное и др. Это объясняется возможностью получения композиционных материалов, превосходящих по своим удельным характеристикам металлические материалы [1]. При этом, они не подвержены коррозии, способны работать в агрессивных средах, радиопрозрачны. Особенно перспективно применение углеродного волокна, однако оно довольно дорогое – от 1500 руб. за кг и выше. Как альтернатива по стоимости углеродному волокну – базальтовое волокно – стоимость около 150 руб. за кг. Широкая номенклатура волокон позволяет найти оптимальное применение в различных отраслях промышленности. Изменились и технологии получения деталей на основе высокопрочных синтетических волокон. Вместо механической обработки из заготовки материала, как при обработке металла, сейчас применяют технологии, которые позволяют получить готовую деталь без последующей механической обработки, например, технология RTM.

Композиционный материал – это соединение армирующей основы и связующего компонента. Огромное сочетание вариантов технологий получения армирующей основы, материала нитей основы (их комбинации), типов связующего материала (полимер, металл, углерод, керамика) приводят к широким возможностям получения материала с требуемыми физико-механическими свойствами. Но общим для всех композиционных материалов является получение армирующей основы, которая будет нести основную нагрузку в процессе эксплуатации детали. Однако на пути реализации столь блестящей перспективы получения новых материалов есть существенные проблемы. Одной из них является получение различной структуры армирующей основы в детали, соответствующей направлениям векторов главных напряжений при ее расчетной схеме нагружения. Второй, не менее важной, является проблема расслоения многослойного композиционного материала. Для

получения объемной реальной детали в настоящее время однослойную ткань укладывают рядами и соединяют друг с другом, пропитывая связующим. При этом используют методы ручной выкладки или очень дорогие раскладочные импортные комплексы. Такой метод позволяет получить объемную форму детали, но не решает задачу достижения требуемых свойств по координате Z (в направлении, перпендикулярном склеенным слоям). Фактически, прочность по координате Z будет определяться прочностью связующего и, в слоистых композитах, не будет зависеть от типа армирующей основы. Это приводит к огромной проблеме расслаивания композита и неспособности нести межслоевые, сдвиговые и ударные нагрузки. Данный недостаток резко снижает области применения композитов на основе высокопрочных волокон, поэтому основной проблемой на сегодня остается получение объемной армирующей основы для композитов. Решающую роль в этом играют текстильные технологии получения армирующих систем, позволяющие исключить данный недостаток, среди которых можно назвать изготовление объемных 3D тканей.

Данные технологии являются технологиями двойного назначения, и интеллектуальная собственность по данным тематикам строго охраняется компаниями разработчиками, а так же государственным экспортным контролем. Сегодня в Российской Федерации существует проблема отсутствия современных цифровых промышленных технологий и оборудования для производства 3D тканых и 3D плетеных полотен. В области проектирования данных материалов ситуация примерно аналогичная[2,3]. Отечественного программного обеспечения проектирования 3D преформ нет, а зарубежное ориентировано только на построение структур представительских объемов порядка 1 куб. см. Среди зарубежного программного обеспечения в данном направлении можно отметить следующие разработки: EAT (Германия), ScotCADTextiles Ltd, Arahne (Словения), WiseTex, TexGen v. 0.75.

Для комплексного решения обозначенных выше проблем предлагается новая концепция цифрового проектирования 3D тканых армирующих структур, технология и оборудование для ее реализации. Проектирование 3D преформ, получаемых методом ткачества, ориентировано на приближении формы преформы к реальной детали[4]. Предлагаемый подход ориентирован больше на реальное производство композиционных изделий на основе 3D армирующих структур и имеет преимущества перед применяемым сегодня подходом, ориентированным на представительский объем (см. рис. 1).



Рис.1. Преимущества фактора реального масштаба проектируемой преформы

Разработанная концепция цифрового проектирования должна учитывать и возможность изготовления реального объекта на ткацком оборудовании. Для этого модуль цифрового проектирования 3D структуры изделия в его продольном сечении связан с исполнительным САМ модулем оборудования. Концепция проектирования представлена на рис. 2.

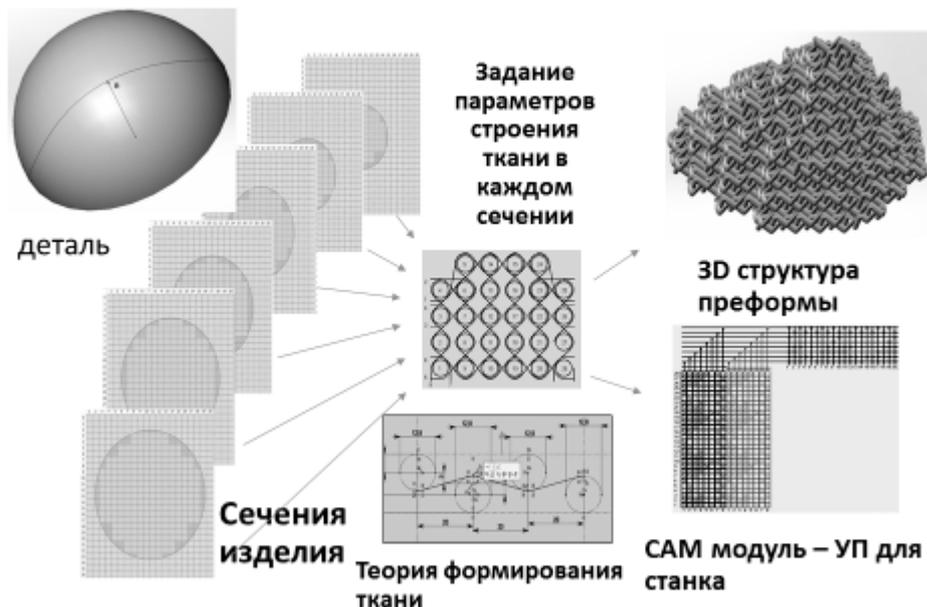


Рис.2. Графическое изображение концепции проектирования цельнотканой 3D преформы

Важным фактором системы цифрового проектирования геометрической модели 3D преформы является ее контроль для оценки качества проектирования и подтверждения адекватности в реальных условиях изготовления. Контроль геометрических параметров 3D преформы, как сложного объекта на уровне нити, представляет собой самостоятельную задачу [5]. Для объемных объектов, на наш взгляд, целесообразно использовать методы компьютерной томографии с последующей обработкой полученных изображений в виде твердотельных моделей. Один из вариантов томографии опытных образцов 3D тканей из углеродного волокна приведен на рис. 3.

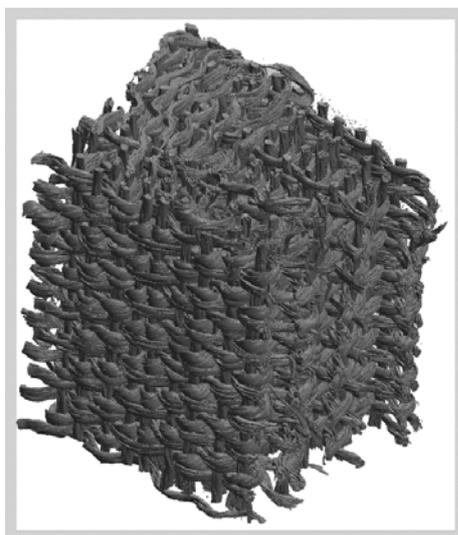


Рис.3. Томография опытного образца 3D тканей из углеродного волокна

Необходимо отметить, что представленный на рис.3 исследуемый объем ткани составляет около 1 куб.см. и при разрешении томографа 2-3 мкм выходной файл занимает объем 1,8 Гб. Томографические исследования выполнялись в лаборатории рентгеновской компьютерной томографии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета. Исходя из объемов анализируемой информации, получаемой методом компьютерной томографии, увеличения количества конечных элементов в последующих САЕ расчетах при разбиении геометрической модели цельнотканой преформы, по форме аппроксимирующей заданную деталь, совершенно очевидна необходимость применения суперкомпьютерных технологий (СКТ). Это перспективное направление, позволяющее максимально приблизить процесс проектирования и изготовления армирующей структуры для композиционных материалов, рассчитано на быстрый рост производительности вычислительных систем. Однако на сегодняшний день уже ведется разработка программного обеспечения, реализующего данную концепцию.

Разработанная концепция проектирования предполагает совмещение функций проектирования с функциями контроля геометрии преформы через обработку ее томографического изображения в воксельном формате. В предлагаемой концепции проектирования алгоритмы заполнения объема заданной детали аналогичны воксельному представлению получаемой преформы, что гарантирует идеальные условия для сравнения проектируемой и изготовленной преформы при условии совпадения размера вокселя с диаметром нити. Концепция совмещения функций проектирования 3D цельнотканой преформы и функций контроля ее изготовления графически представлена на рис. 4.

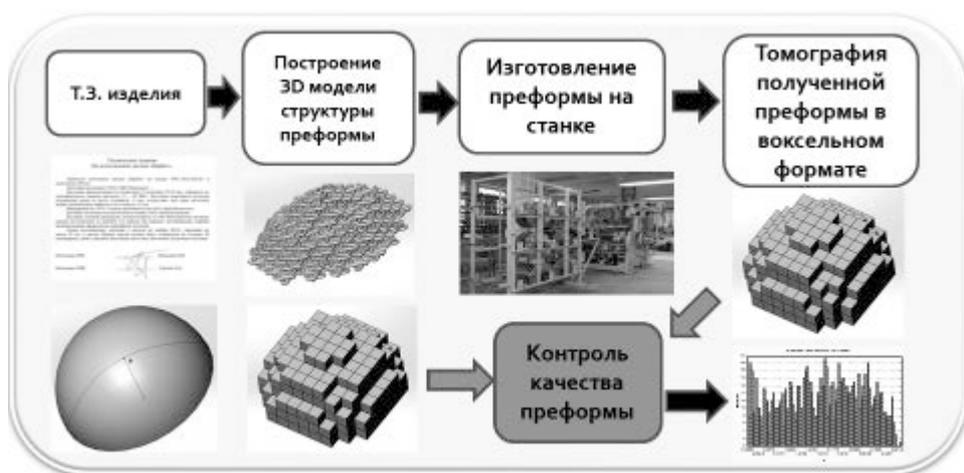


Рис.4. Графическое изображение концепции совмещения функций проектирования 3D цельнотканой преформы и функций контроля ее изготовления

Результатом работы такого подхода к проектированию 3D цельнотканых преформ будут являться гистограммы распределения отклонений положений нитей спроектированной и изготовленной преформе по всем трем координатным осям. Данная информация является исчерпывающей для оценки качества проектирования, влияния технологических режимов изготовления на геометрическое положение нитей в преформе, для оценки изменения геометрии преформы после пропитки и др.

Разработанная система проектирования 3D цельнотканых преформ предполагает и возможность ее реализации на ткацком оборудовании через интерфейс сопряжения с использованием САМ модуля. При этом очевидно, что основным требованием к оборудованию будет являться соблюдение принципа цифрового управления. Для этого разработан экспериментальный стенд для реализации технологии 3D цельнотканых преформ, изготовленный на основе модернизации станка АТ-60 с электронной кареткой управления ремизоподъемным механизмом. Внешний вид экспериментальной установки для производства 3D цельнотканых преформ представлен на рис. 5.

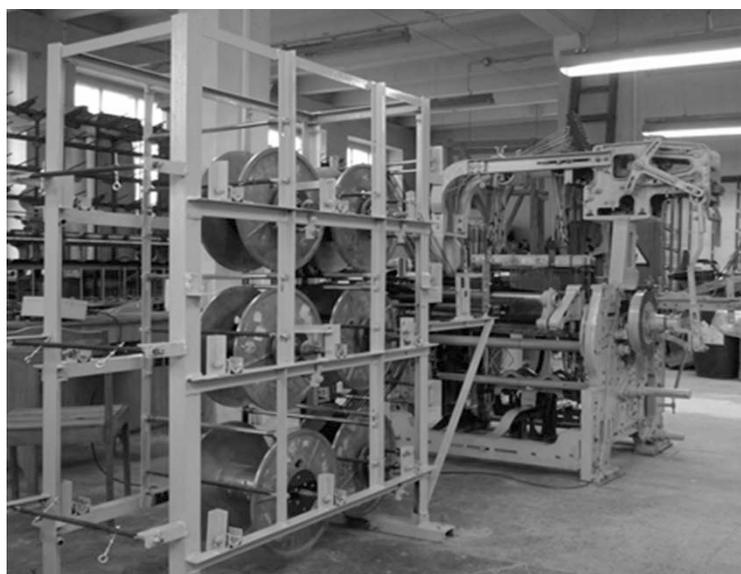


Рис.5. Внешний вид экспериментальной установки для производства 3D цельнотканых преформ

Установка позволяет производить 3D тканые армирующие структуры с толщиной до 50 мм с произвольными, заданными конструктором, видами структур переплетения нитей в каждом продольном сечении преформы.

Реализация предложенной концепции позволит сократить сроки проектирования новых композиционных изделий, спрогнозировать эксплуатационные характеристики изготавливаемых деталей с учетом их реальной структуры, а также снизить стоимость изготовления новой продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев М.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Ляпунов Л.С. Проектирование и разработка технологии получения 3D-тканых полотен для производства композиционных материалов повышенной прочности / Корпоративный журнал дивизиона «Двигатели для гражданской авиации» АО «ОДК» Трамплин к успеху. №10. 2017. С. 36-37.
2. Ломов С.В. Прогнозирование строения и механических свойств тканей технического назначения методами математического моделирования. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский гос. университет технологии и дизайна.– 1995. 486 с.
3. Киселев М.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М. Разработка методов проектирования, технологии и оборудования получения 3D-текстильных преформ методами ткачества для производства композиционных материалов с повышенными механическими свойствами / Российский рынок технического текстиля и нетканых материалов: наука и производ-ство в современных экономических условиях: сб. докладов I Междунар. науч.-практ. симпозиума, г. Москва, 25 февраля 2016 г. ЦВК «Экспоцентр». – М.: изд-во «БОС». – 2016. С.169 – 176.
4. Киселев М.В., Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н. Моделирование структуры 3D тканей / Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново: ИвГПУ. – 2013. – № 3 (345). С.23 – 28.
5. Киселев М.В., Трещалин Ю.М., Хамматова В.В., Трещалин М.Ю., Киселев А.М. Исследование структуры нетканых материалов методом компьютерной томографии / Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново: ИвГПУ. – 2015. – № 5 (359). С.31-35.

УДК 687.01

### **ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ КАК ОСНОВА НОВОЙ КОММУНИКАТИВНОЙ СРЕДЫ И ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ И ПОТРЕБИТЕЛЯ ОДЕЖДЫ**

### **VIRTUAL REALITY AS NEW COMMUNICATION ENVIRONMENT FOR PRODUCERS AND CONSUMERS OF CLOTHING**

В.Е. Кузьмичев  
V.E.Kuzmichev

Ивановский государственный политехнический университет  
Ivanovo State Polytechnic University  
E-mail: wkd37@list.ru

Рассмотрены базовые подходы к формированию коммуникативной среды, призванной объединить производителей и потребителей одежды в новой виртуальной реальности, снизить технологические риски и повысить уровень кастомизации потребительского рынка FashionNet. Рассмотрены семь основных объектов, относящихся к дизайн-проектированию, производству и ритейлу, без формализации которых невозможно создать устойчивую среду для общения всех участников.