

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ 3D-ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕФОРМ\***

**DESIGN AND PREDICTION  
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF COMPOSITE MATERIALS BASED 3D-TEXTILE PREFORMS**

*A.M. КИСЕЛЕВ, M.B. КИСЕЛЕВ*  
*A.M. KISELEV, M.V. KISELEV*

(Костромской государственный университет)  
(Kostroma State University)  
E-mail: Laibach@mail.ru, kisselev50@mail.ru

*В статье предложена система виртуального проектирования композиционных материалов на основе 3D-текстильных тканых структур. Рассмотрены более подробно отдельные этапы предлагаемой системы проектирования. Дано описание оригинального программного обеспечения, реализующего 3D-структуру тканой преформы. Определены направления создания программного обеспечения для выбора оптимальной структуры преформы и реальной детали в условиях производства. Приведены примеры моделирования различных текстильных структур преформ и деталей.*

*The article suggests a system of virtual design of composite materials based on 3D-textile fabric structures. We consider in more detail the individual steps of the proposed system design. The description of the original software that implements the 3D-structure of the woven preform. The directions of development of software for the selection of the optimal structure of the preform and the real parts in a production environment. Examples of modeling different textile preforms structures and parts.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, композиционные материалы, 3D-ткачество, программирование.

**Keywords:** mathematical modeling, composite materials, 3D-weaving, programming.

Композиционные материалы нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, однако направление создания 3D-армирующих структур тканей занимает особое приоритетное место в композитной отрасли. Очевидно, это связано с перспективами получения композиционных материалов с повышенными механическими свойствами, отсутствием расслоения

при сдвиговых нагрузках, характерного для традиционных многослойных композитов, и достижения изотропности свойств получаемых композиционных изделий. Так, в отличие от лопатки, изготовленной для двигателя GE90 методом ручной выкладки препрега и автоклавным формованием, которая подвержена расслоениям и имеет низкую стойкость к ударным нагрузкам и

---

\* По материалам пленарного доклада на XIX Международном научно-практическом форуме "SMARTEX-2016" (Иваново, ИВГПУ, май 2016 г.).

усталостному разрушению, лопатка, выполненная на основе объемной тканой преформы, обладает более высокими механическими свойствами по толщине, в гораздо меньшей степени подвержена расслоению и обладает лучшими прочностными свойствам при попадании посторонних предметов [1]. Производством композиционных материалов с применением 3D-текстильных технологий занимается большое количество зарубежных и отечественных ведущих фирм и предприятий. Производство композиционных материалов на основе текстильных армирующих объемных каркасов в основном ориентируется на стратегические отрасли промышленности, такие как космонавтика, авиация и оборонная промышленность, являясь высокотехнологичным и наукоемким. Поэтому первоочередная задача любого подобного производства – это разработка средств, методов и методик проектирования структуры будущего композита и прогнозирование его потребительских и эксплуатационных свойств. Решение данной задачи возможно средствами имеющегося программного обеспечения (ПО) и разработкой специализированного оригинального. На сегодняшний день не существует автоматизированных средств, позволяющих осуществить комплексное решение проблем, связанных с использованием композитных материалов, в связи с чем на каждом предприятии разрабатывают, как правило, свою систему виртуального проектирования, хотя многие из ее этапов носят общий характер.

Таким образом, в современных условиях актуальным направлением развития применения композиционных материалов в авиационной и других отраслях промышленности является создание систем виртуального проектирования, изготовления и испытания деталей из 3D-армированных преформ, применение имитационного моделирования, виртуального производства, а также прогнозирование свойств композиционных материалов на основе совершенствования математических моделей, использования современных методов расчета и анализа.

В данном направлении ведущие фирмы-разработчики ПО ориентированы на CAE-системы. Необходимо сказать, что разработка отечественной CAE-системы является чрезвычайно сложной, долговременной и затратной задачей. Отметим, что наиболее распространенными системами, которые моделируют структуру и свойства композиционных материалов и нашли широкое применение в авиационной и оборонной промышленности, являются: NX, MSCNASTRAN, Teamcenter, CATIA, FIBERSIM и ANSYS. Для моделирования структуры композита представляет интерес ПО DIGIMAT компании CompMechLab® Ltd. Данный продукт позволяет моделировать структуру полимерного композита, армированного волокнами. Компания ANSYS разработала специальный модуль Composite PrePost для моделирования многослойных композитов. Перечисленные выше пакеты прикладных программ обладают универсальностью и узкой специализацией на композитные материалы, но ни одна из перечисленных выше CAE-систем не может построить геометрическую твердотельную модель реальной структуры 3D-текстильной преформы. Теоретически возможно создать автоматизированное построение 3D-структуры преформы с использованием функций внутреннего языка APDL, но целесообразность решения поставленной задачи с помощью специализированного языка CAE-системы ставится под сомнение по сравнению с использованием и разработкой собственного оригинального ПО на одном из языков высокого уровня. Данное обстоятельство привело к разработке специализированного ПО, описывающего структуру 3D-текстильных преформ, близких к реальным на уровне нитей. Это такие системы, как: EAT (Германия), ScotCAD Textiles Ltd. (ScotWeave Design Software), WiseTex: Virtual textile and textile composite, Arahne (Словения), TexGen v. 0.75.

На рис. 1 приведен пример работы программного обеспечения ScotCAD Textiles Ltd [2].

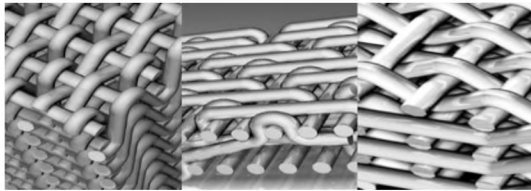


Рис. 1

Отечественное программное обеспечение на сегодняшний день не является конкурентным по своим функциональным возможностям, и не нашло широкого применения в промышленности, в связи с чем его разработка представляет актуальную задачу.



Рис. 2

На рис. 2 представлена разработанная система проектирования и прогнозирования физико-механических свойств композиционных материалов на основе текстильных преформ, которая стала результатом комплексного исследования композицион-

ных материалов на тканой основе с применением современной технологии математического моделирования, экспериментального исследования методами компьютерной томографии и применением современных CAE -систем.

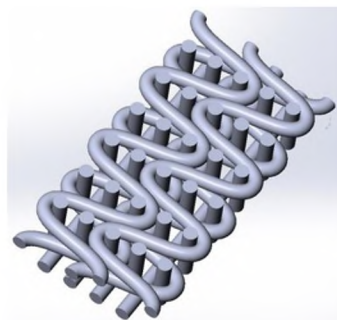
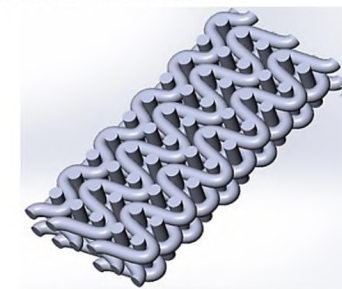
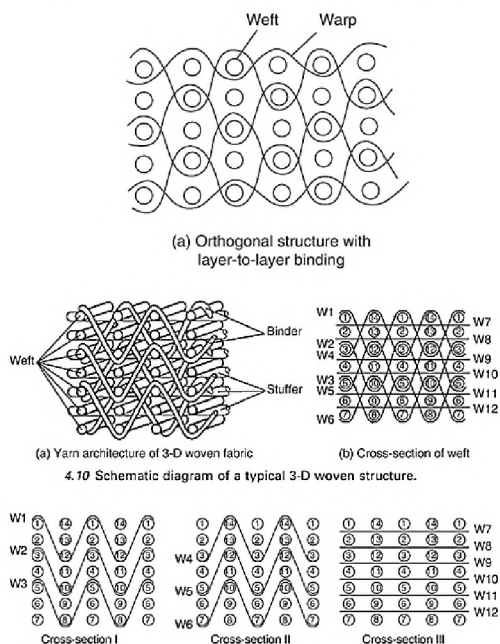
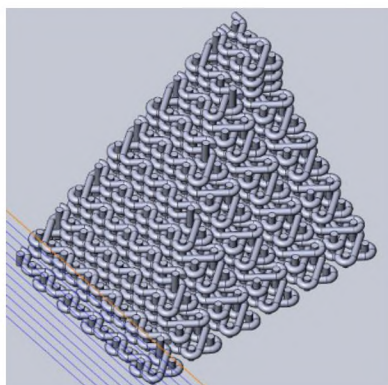


Рис. 3

Согласно представленной концепции разработано оригинальное ПО, позволяющее моделировать 3D-структуру текстильного материала [3...5]. На рис. 3 представлены примеры моделирования 3D-текстильной структуры (справа) с различным видом переплетений нитей по данным [6] (слева).

Исходя из функционального назначения ПО, считаем целесообразным разделить его по направлениям – моделирование структуры 3D-преформы примитивных форм и моделирование 3D-преформы сложной пространственной конфигурации. Соответ-



ственно данные направления решают разные задачи: решение материаловедческой задачи выбора оптимальной структуры преформы и решение задачи проектирования и прогнозирования свойств конкретной детали.

С применением CAD-системы SolidWorks и языка Visual Basic разработано ПО построения произвольной 3D-преформы, аппроксимирующей заданную форму детали. Пример компьютерного моделирования 3D-структуры преформы, аппроксимирующей заданную деталь, представлен на рис. 4.

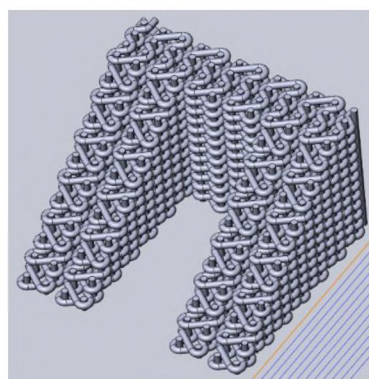


Рис. 4

## ВЫВОДЫ

Разработано программное обеспечение, которое позволит решать задачу проектирования новых композиционных материалов с повышенными механическими свойствами на основе 3D-тканых преформ на качественно новом уровне, сократит время на разработку изделий из КМ с заранее заданным сочетанием эксплуатационных и технологических свойств, будет способствовать улучшению технико-экономических характеристик, структуры и качества изделий из композиционных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Lomov S.V., Ivanov D.S., Perie G., Verpoest I. Modelling 3D-fabrics and 3D-reinforced Composites /In: Challenges and Solutions. World Conference on 3D-fabrics. – Manchester, 2008.
2. Сайт ScotWeave. ScotCadTextiles. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://scotweave.com/products/technical-weaver/>

3. Киселев А.М. Моделирование структуры и деформационных свойств волокнистых холстов: Дис... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2012.

4. Киселев М.В., Бенецкая В.В., Селиверстов В.Ю., Киселев А.М., Рудовский П.Н. Моделирование структуры тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 3. С.23...28.

5. Бенецкая В.В., Киселев М.В., Киселев А.М. Объектное представление модели 3D-ткани // Сб. мат. Межвуз. научн.-техн. конф. аспирантов и студентов: Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПЮИСК - 2013): Часть 1. – Иваново, ИВГПУ, 2013.

6. Behera B.K., Mishra Rajesh // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 33, September 2008. P. 274...287.

## REFERENCES

1. Lomov S.V., Ivanov D.S., Perie G., Verpoest I. Modelling 3D-fabrics and 3D-reinforced Composites /In: Challenges and Solutions. World Conference on 3D-fabrics. – Manchester, 2008.
2. Sajt ScotWeave. ScotCadTextiles. Jelektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <http://scotweave.com/products/technical-weaver/>

3. Kiselev A.M. Modelirovanie struktury i deformatsionnykh svoystv voloknistykh holstov: Dis. ... kand. tehn. nauk. – Kostroma: KGTU, 2012.

4. Kiselev M.V., Beneckaja V.V., Seliverstov V.Ju., Kiselev A.M., Rudovskij P.N. Modelirovanie struktury tkaney // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 3. S.23...28.

5. Beneckaja V.V., Kiselev M.V., Kiselev A.M. Ob"ektnoe predstavlenie modeli 3D-tekani // Sb. mat. Mezhevuz. nauchn.-tehn. konf. aspirantov i studentov: Molodye uchenye – razvitiyu tekstil'noj i legkoj

promyshlennosti (POISK - 2013): Chast' 1. – Ivanovo, IVGPU, 2013.

6. Behera B.K., Mishra Rajesh // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – Vol. 33, September 2008. P. 274...287.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования технологических машин.  
Поступила 30.05.16.

---