

УДК 678.8

П.Г. Белинис¹, К.И. Донецкий², Ю.В. Лукьяненко¹,
В.Н. Рогожников¹, Ю. Майер³, Д.В. Быстрикова²

ОБЪЕМНО-АРМИРУЮЩИЕ ЦЕЛЬНОТКАНЫЕ ПРЕФОРМЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (обзор)

DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-18-26

В зарубежном авиационном машиностроении изготовление полимерных композиционных материалов безавтоклавным формованием объемно-армирующих цельнотканых преформ уже достаточно широко освоено. Повышенное сопротивление расслаиванию, ударная прочность и высокие характеристики сопротивления усталости являются типичными показателями свойств таких материалов. Применение объемно-армирующих цельнотканых преформ позволяет решить проблему соединений в сложных конструкциях с одновременным решением задачи автоматизации производства.

Ключевые слова: ткачество, волокно, ткацкая машина, челнок, объемно-армирующие тканые преформы, 3D-структура, полимерные композиционные материалы, безавтоклавное формование.

P.G. Belinis¹, K.I. Donetskii², Yu.V. Lukyanenko¹,
V.N. Rogozhnikov¹, Yu. Mayer³, D.V. Bystrikova²

VOLUME REINFORCING SOLID-WOVEN PREFORMS FOR MANUFACTURING OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS (review)

The technology of production of polymeric composite materials by means of out-of-autoclave molding of volume reinforcing solid-woven preforms is used quite widely in the foreign aircraft engineering. Such materials are characterized by considerable resistance to stratifying, impact resistance and high fatigue properties. Use of such preform allows to solve the problem of connections in complex constructions and provides the possibility of automation of the production.

Keywords: weaving, fiber, weaving machine, shuttle, volume reinforcing woven preforms, 3D-structure, polymeric composite materials, out-of-autoclave formation.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ» [Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kazan national research technical university named after A.N. Tupolev – KAI]; e-mail: kai@kai.ru

²Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

³Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное текстильное предприятие «Текстор» [Limited Liability Company Scientific and Production Enterprise «Textor»]; e-mail: textor2010@yandex.ru

Введение

В последнее десятилетие промышленность освоила значительное количество перспективных способов производства полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1]. Есть среди них и способ изготовления ПКМ с использованием цельнотканых преформ, изготавливаемых на специализированном оборудовании. В настоящее время использование таких современных материалов во многом определяет уровень развития как аэрокосмической, так и гражданской отраслей промышленности, а направление развития промышленных лидеров этих отраслей однозначно

указывает на то, что обеспечение конкурентоспособности невозможно без использования передовых достижений в области материаловедения [2].

Изготовление материалов с приближением к заданной геометрической форме производимого изделия, с повышенной устойчивостью к прилагаемым нагрузкам и с одновременным снижением массы изделий, с возможностью автоматизации и роботизации технологических процессов является серьезным достоинством использования объемно-армирующих цельнотканых преформ. Типичной особенностью изготовления пластика на основе таких материалов является также возможность

использования закладных элементов, которые интегрируются в структуру преформы в процессе ее формирования без нарушения системы армирующих нитей, с сохранением принципиальной схемы армирования. Такие укладки и технология их формирования в каждом конкретном случае требуют индивидуального проектирования и экспериментальной отработки технологического процесса.

Ввиду того, что армирующий элемент определяет механические свойства изделия, важную роль играет как материал преформы, так и положение ее структуры в пространстве. Достоинство применения именно объемной тканой армирующей преформы состоит и в том, что технология ее получения позволяет за одну операцию изготавливать изделие с заданными геометрическими параметрами по длине, ширине и толщине. В результате обеспечивается получение материалов с разнообразными геометрическими формами и стабильностью размеров, а также высокими механическими свойствами. Для обеспечения всех возможностей процесса и создания новых материалов с широким спектром уникальных свойств, требуется совместная работа специалистов-практиков по проектированию и изготовлению текстильных изделий, специалистов в области изготовления непосредственно пластиков, а также проектировщиков и конструкторов готовых изделий.

Возможности технического ткачества для производства объемно-армирующих тканых структур в РФ пока еще недостаточно востребованы, в том числе и ввиду утраты многих связей, научных направлений и школ во время «перестройки» 90-х годов. Сложность технологии, а также необходимость специального оборудования не позволяют в настоящее время сделать технологию изготовления тканых объемно-армирующих преформ массовой и легкодоступной для широкого потребления. Зарубежные исследования в области проектирования и изготовления тканых объемно-армирующих преформ и материалов на их основе ведутся крупными фирмами – в первую очередь американскими: BPM (США), Albany Engineered Composites (США), ЗТЕХ (США) и рядом других (азиатских и европейских).

Для изготовления таких материалов часто используются способы безавтоклавного формования (вакуумная инфузия, пропитка под давлением) и разные термореактивные полимерные связующие различной химической природы. Из научной и патентной литературы известно влияние выбора связующего (матрицы) на свойства получаемого материала. От матрицы зависят многие свойства материала, в том числе прочность, тепло- и влагостойкость, стойкость к действию агрессивных сред. Полимерная матрица должна обеспечивать достаточную жесткостью структуры и совместную работу армирующих волокон; ее прочность является основной при нагружении, не совпадаю-

щем по направлению с ориентацией волокон. Важным также является и свойство матрицы образовывать непрерывно наполненный материал, в котором она сохраняет свою структуру вплоть до разрушения волокон [3–5].

Материалы и методы

Армирующие волокнистые наполнители (АВН) различаются по волокнистому составу, способам выработки, структуре и другим особенностям. Размерные характеристики, пористость и другие параметры готового ПКМ могут варьироваться и зависят от вида исходных волокон или нитей, структуры нитей и их линейной плотности, от способа производства, от плотности расположения волокон или нитей (числа нитей на сантиметр) и многих других факторов. Соответственно этому армирующие волокнистые наполнители включают большое количество разнообразных видов структур, изготавливаемых на основе волокон и нитей.

В известной работе [6] АВН делят на следующие основные виды материалов:

- бумаги и нетканые материалы из рубленых волокон;
- ровинги;
- тканые полотна;
- плетеные материалы;
- вязаные (трикотажные) полотна;
- объемные (трехмерные) структуры.

Рассматриваемые в данной статье тканые наполнители изготавливают ткачеством с переплетением продольных (основа) и поперечных (уток) нитей. Строение тканей характеризуется как толщиной нитей, так и видом переплетения, плотностью и степенью изогнутости нитей основы и утка. Важной структурной характеристикой является схема переплетения нитей – чаще всего для армирования используют ткани главных переплетений: полотно, саржа, сатин, т. е. двухмерные тканые полотна.

Все переплетения состоят из определенного количества нитей основы и утка, распределенных и рассчитанных по ширине и длине. Наименьшее повторяющееся число нитей из взаимного переплетения, после которого порядок повторяется, называют раппортом. Порядок взаимного расположения перекрытий нитей основы и утка, например для саржи, выражается дробью, числитель которой показывает число подряд расположенных основных перекрытий нитей, а знаменатель – уточных. Количество возможных переплетений нитей теоретически неограничено, а практически ограничивается технологическими возможностями и соображениями целесообразности [7].

При разработке конструкций из волокнистых материалов существенную роль играет структура наполнителя, образованного армирующими нитями. Выбор оптимального варианта структуры наполнителя очень важен при оптимизации

свойств получаемого ПКМ. Такие армирующие наполнители в виде объемных многомерных структур, образованных армирующими нитями, получают методами ткачества, плетения или вязания [8, 9].

Многообразие армирующих схем и различия в подходах к изготовлению армирующего каркаса композиционных материалов обуславливают трудности разработки расчетных моделей упругих свойств материала. Материалы, армированные трехмерной структурой, создаются обычно с направлением волокон по осям прямоугольной или цилиндрической системы координат. Данные особенности создания объемной структуры открывают возможности расчета упрощенных моделей для моделирования упругих характеристик рассматриваемого класса материалов в качестве приведенной ортотропной среды, так как волокна одного из направлений перпендикулярны направлению других волокон [10].

Современные технологии ткачества позволяют изготавливать текстильные армирующие наполнители в виде полотен или лент, а трехмерные армирующие структуры – в виде объемных панелей или лент заданного сечения. Более того, при наличии соответствующего сложного оборудования и специалистов, умеющих проектировать сложные трехмерные цельнотканые структуры, появляется возможность изготовления цельнотканых трехмерных армирующих преформ. Такая преформа представляет собой армирующий наполнитель трехмерной структуры в виде силового каркаса, соответствующего размерам и форме будущего изделия. Использование в качестве материала для изготовления преформ практически любого волокна, такого как углеродное, стеклянное или базальтовое, позволяет конструкторам проектировать изделия с разнообразным спектром свойств и в широком ценовом диапазоне.

Использование объемных тканых преформ с высокой подвижностью нитей и возможностью создания поверхностей сложной формы (в том числе и криволинейных) позволяет решать задачу автоматизации процессов создания конструкций из ПКМ. Для реализации изделий с использовани-

ем таких преформ чаще всего используются безавтоклавные способы формования, такие как вакуумная инфузия и пропитка под давлением [11, 12].

Формирование преформ способом объемного ткачества позволяет изготавливать и создавать настоящую трехмерную структуру. Наборы нитей (два или более, основа и уток) при переплетении образуют ткань. Использование дополнительной третьей оси реализуется путем подачи дополнительных нитей в направлении увеличения толщины преформы (рис. 1) [13, 14].

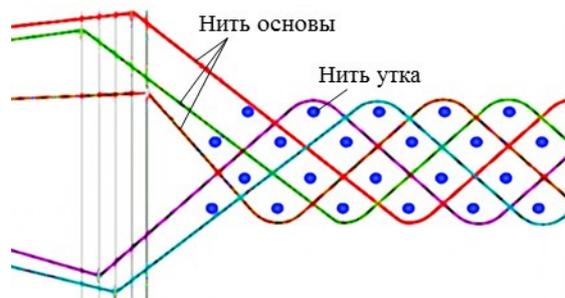


Рис. 1. Схема трехмерного ткачества

Для создания объемных тканых преформ используют два типа станков: широкие ткацкие станки – метод «широкого» ткачества или узкие лентоткацкие станки – метод «узкого» ткачества (рис. 2). Эти станки также подразделяются на челночные и бесчелночные.

Подавляющее большинство станков в России – бесчелночные ткацкие станки, в которых используется метод «широкого» ткачества. В таких станках уточная нить проводится отрезками, т. е. по ширине ткани. При этом каждый раз уточная нить, проводимая через ткацкий зев, обрезается, и в этом случае по краям ткани возможна деформация сложного объемного переплетения. Возникает необходимость изготовления кромки ткани нетрехмерным переплетением, т. е. изготовить объемную тканую преформу в этом случае практически невозможно – ее придется вырезать из бездефектной основной части изготовленной тканой преформы. С использованием широких челночных ткацких станков можно

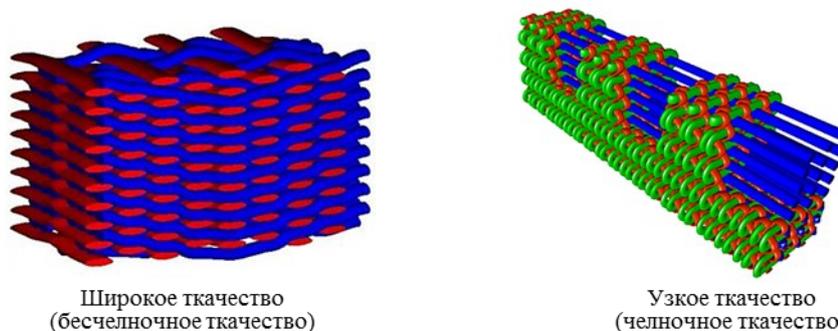


Рис. 2. Варианты структур, получаемые методами «широкого» (фирма ZTEX Inc.) и «узкого» ткачества (лаборатория 3D-ткачества КНИТУ-КАИ)

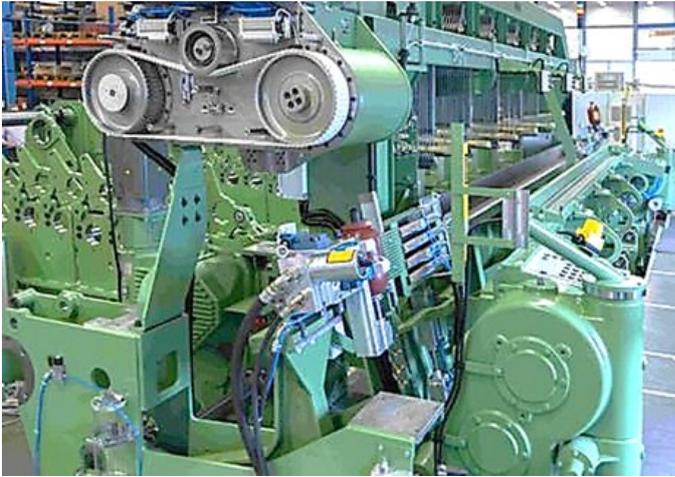


Рис. 3. Ткацкий станок компании Jürgens (ФРГ) со свободно летающим челноком



Рис. 4. Рапирный лентоткацкий станок фирмы «Магеба» (ФРГ)

получать объемные тканые преформы в виде цельнотканых панелей с четкими готовыми краями с размером, соответствующим ширине ткацкого станка. Изготовление преформ с использованием нитей из углеродного, стеклянного или кварцевого волокна является непростой технологической задачей ввиду возможных повреждений материала свободно летающим челноком.

В современном ткацком оборудовании применяют как пневматические, так и гидравлические механизмы для разгона челнока и пробрасывания его через образующийся зев. Пневмо- или гидроцилиндр резко перемещает шток, разгоняющий челнок для пролета через зев и проведения уточной нити. На рис. 3 показан гидравлический механизм разгона челнока на станке Jürgens Variant II (ФРГ).

Для изготовления объемных тканых изделий бесчелночные лентоткацкие узкие станки малоэффективны ввиду того, что механика таких станков (без ее значительного изменения) не позволяет изготавливать полноценные преформы (рис. 4).

Оптимальным вариантом для получения цельнотканых объемно-армирующих преформ являются челночные лентоткацкие станки. В таких станках при использовании челночного ткачества нить утка непрерывна и поворачивается на краю преформы для движения в обратную сторону в последующий зев. В этом случае тканая преформа получается полностью объединенной единой уточной нитью. Применение такого ткачества позволяет формировать преформы итоговой формы, в том числе и сложные объемные изделия с вертикальными или наклонными краями (стенками). Челночные ткацкие станки обладают еще одним достоинством, которое состоит в том, что челнок движется по постоянной траектории, не имеющей стадии полета. В этом случае возможно подготовить процесс ткачества так, что движущийся челнок не будет взаимодействовать и повреждать нити основы.

При использовании узких лентоткацких станков отсутствует обрезка уточной нити после прохождения через всю преформу, а также перемещение через последующий зев с образованием преформы с цельными нитями. Способ позволяет изготовить ортогональную структуру, в которой основные и уточные нити не деформированы. Однако особенностью таких станков является переменная скорость движения челнока и его большая масса (от 0,25 до 5 кг), что является основными причинами низкой производительности челночных ткацких станков.

В настоящее время существуют несколько способов введения уточной паковки в зев.

1. *Использование челноков с контролируемым движением, расположенных на вертикальной поверхности батана.* Привод челнока осуществляется зубчатой рейкой, при этом его движение проходит ровно по середине зева, не задевая нити. В данном способе существует возможность корректировки позиции челноков за счет вертикального программируемого движения батана, а также за счет программного оснащения, с помощью которого можно останавливать челнок непосредственно у кромки изделия и использовать несколько челноков одновременно. Ширина изделия на таком станке ограничена до 300 мм и связана с шириной конструкции станка (рис. 5).



Рис. 5. Лентоткацкий станок фирмы «Магеба» (ФРГ) с приводом челнока зубчатой рейкой



Рис. 6. Лентоткацкий станок фирмы «Магеба» (ФРГ) с приводом челнока непосредственно от двигателя

2. Использование челноков с контролируемым движением, расположенных на вертикальной поверхности батана, в которых двигатель передает движение непосредственно на сам челнок. В этом случае челноки также проходят ровно по середине зева, не задевая нити. В данном способе существует возможность корректировки челноков за счет вертикального программируемого движения батана, а также за счет программного оснащения, с помощью которого можно останавливать челнок непосредственно у кромки изделия и использовать несколько челноков одновременно при ширине изделия до 350 мм (рис. 6).

3. Челноки с контролируемым движением расположены в несколько ярусов на вертикальной раме батана, вдоль которой челноки перемещаются посредством рапир. Челноки проходят ровно по середине зева, не задевая за нити. В данном способе существует возможность корректировки позиции рабочего челнока по вертикали, перед входом в зев, а также вертикального программируемого движения вертикальной рамы батана, а также за счет программного оснащения, с помощью которого можно останавливать челнок непосредственно у кромки изделия и использовать несколько челноков одновременно. Ширина изделия на таком станке ограничена до 1200 мм (рис. 7).

Японская компания Yoshida Machinery производит лентоткацкие челночные станки с горизонтальным расположением челноков. Данное решение ввода челноков в зев удешевляет стоимость батана, так



Рис. 7. Лентоткацкий станок фирмы «Магеба» (ФРГ) с перемещением челнока рапирой

как отсутствует необходимость в приводах для вертикального перемещения рамы челноков. Но поскольку челноки в заднем положении батана вводятся в зев, находясь на разном расстоянии от зоны формирования изделия (при этом перемещаясь нефиксированно), то первый челнок будет входить в самый маленький зев, что повлечет за собой избыточное трение челнока о нити основы. Данная технология применима для декоративных лент и лент из нитей, выдерживающих трение.

Существуют также и другие инновационные способы прокладывания уточной нити в зев. Например, в университете штата Северная Каролина (США) разработан автоматизированный 3D-ткацкий станок с компьютерным управлением с однократным многократным прокладыванием утка. На рис. 8 показано одновременное введение десяти уточных нитей в десять одновременно открытых зевов.

В данном случае многослойная ткань формируется в течение каждого цикла прокладывания уточных нитей и суть процесса основана на одновременном введении нескольких утков из одной или обеих сторон ткани. Компания 3TEX Inc. продолжает развитие и коммерциализацию этой запатентованной в 1998 году технологии – в настоящее время под торговой маркой 3WEAVE® [15].

К недостаткам данного способа формирования преформы можно отнести необработанный (т. е. открытый) край (рис. 9), а значит получение преформы конечной формы с использованием данного оборудования невозможно. После ткачества необходимо на специальном оборудовании обрабатывать преформу, удаляя ненужные уточные нити, находящиеся по краям преформы.

Объемные, трехмерные армирующие наполнители, получаемые методом 3D-ткачества, могут быть как тонкостенными, так и толстостенными.

Тонкостенные – имеют сложную геометрическую форму и предназначены для формирования легких объемных, тонкостенных пустотных панелей или тонкостенных изделий, которые могут менять свой профиль, структуру и толщину по длине (рис. 10).



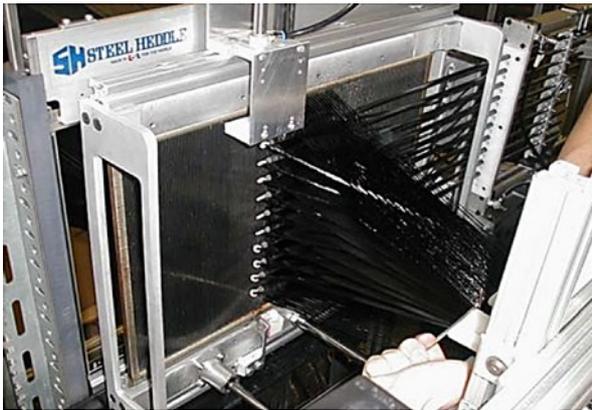


Рис. 8. Ткацкий станок компании ZTEX Inc. с прокладыванием утка одновременно десятью рапирами

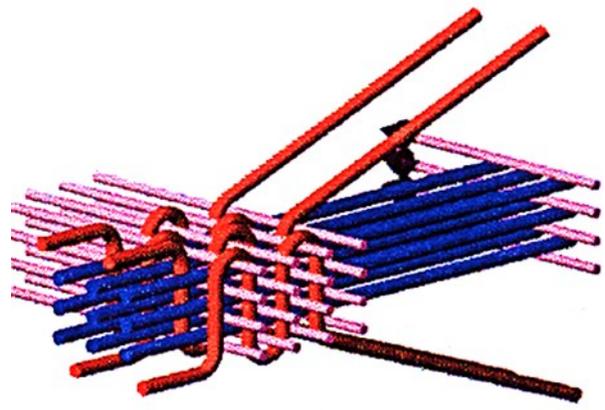


Рис. 9. Схема формирования края 3D-преформы с использованием рапир

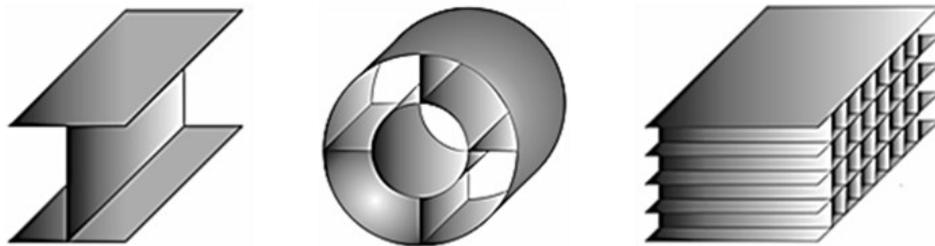


Рис. 10. Некоторые варианты тонкостенных трехмерных профилей, получаемых методом 3D-ткачества

Толстостенные (полнотелые) – представляют собой объемную армирующую структуру для формирования объемных пластин или матов, весь объем которой заполнен армирующими нитями, расположенными в трех перпендикулярных направлениях, образуя ортогональную структуру армирования. Возможно также и более сложное строение, когда к ортогональному строению добавляются нити, идущие под углом к вертикали. Отформованные на базе таких армирующих структур ПКМ изделия могут подвергаться дополнительной механической обработке, с учетом расположения армирующих элементов внутри нее (рис. 11).

На рис. 12 показаны объемные 3D-преформы, изготовленные из углеродного ровинга на ткацком оборудовании ООО НПП «Текстор». Так, на рис. 12, а показана цельнотканая преформа полнотелого двутавра, который имеет ортогональную схему армирования углеродным ровингом. Данная преформа изготавливалась на челночном лентоткацком станке с приводом челнока зубчатой рей-

кой. Используя автоматизированный зевобразовательный механизм, эту преформу можно изготовить и с переменной толщиной. На рис. 12, б показана полнотелая цельнотканая преформа, которая также имеет ортогональную схему армирования углеродного ровинга, изготовленная на челночном лентоткацком станке с приводом челнока зубчатой рейкой. В данной преформе за счет автоматизированного зевобразовательного механизма можно изготовить ребра жесткости с изменением высоты – например, для отверстий под крепежные элементы.

Аналогичным способом возможно изготовление тонкостенной преформы в виде сот (рис. 12, в), а также полнотелой цельнотканой преформы конечной формы (рис. 12, г, поз. 1–3), в которой одним технологическим процессом ткачества реализованы геометрические особенности лопасти вентилятора газотурбинного авиадвигателя, а именно – изменение как толщины вдоль и поперек преформы, так и изменение ее ширины.



Рис. 11. Некоторые варианты толстостенных объемных трехмерных структур, получаемых методом 3D-ткачества



Рис. 12. Образцы трехмерных армирующих наполнителей, изготовленные методом 3D-ткачества из углеродных нитей (ООО НПП «Текстор»)

На рис. 12, д приведено изображение конструктивно-подобного элемента широкохордной лопатки авиадвигателя из углепластика, изготовленной с использованием 3D-преформы. Данную преформу с ортогональной схемой армирования изготавливали на челночном лентоткацком станке с приводом челнока зубчатой рейкой, поэтому не требуется каких-либо подготовительных операций перед пропиткой связующим.

На рис. 13 приведены фотографии полнотелой цельнотканой преформы (рис. 13, а), которая имеет ортогональную схему армирования углеродного ровинга, и крепежных болтовых элементов, выполненных на ее основе (рис. 13, б).

Данную преформу изготавливали на челночном лентоткацком станке с приводом челнока зубчатой рейкой с равным процентным содержанием волокон в системе армирования по трем взаимно перпендикулярным осям армирования. Последующая пропитка ее связующим и механическая обработка позволили изготовить болты размеров М10, М8, М6 и соответствующие гайки (рис. 13, в).

Конструкции, выполненные на основе объемно-армированных тканых преформ могут иметь разнообразные формы, в том числе и выступающие элементы (или углубления сложной геометрической формы).

Самым известным объектом внедрения объемных тканых преформ в промышленное изделие является лопатка вентилятора авиадвигателя серии LEAP-X (рис. 14).

Предыдущий опыт изготовления такой лопатки из углепластика для двигателя GE90 ручная выкладка из препрега и автоклавным формованием показал пониженную устойчивость к расслоениям, ударным нагрузкам и усталостному разрушению. Лопатка, выполненная на основе объемной цельнотканой преформы, в значительно меньшей степени подвержена расслоениям и обладает лучшими прочностными свойствами, что показано уже достаточно долгим и успешным опытом применения таких лопаток в двигателях самолетов производства Airbus, Boeing и COMAC.

Применение углепластиков на основе 3D-тканой преформы реализовано и в космических проектах



Рис. 13. Цельнотканая преформа и болтовые изделия из углепластика на ее основе (ООО НПП «Текстор»)



Рис. 14. Лопатка из углепластика на основе 3D-тканой преформы и двигатель серии LEAP-X

западных стран. Так, в рамках Программы подготовки будущих стартов (FLPP) Европейского космического агентства (ЕКА) компаниями SONACA (Бельгия) и BRM (США) разработан и изготовлен верхний криогенный стыковочный композитный шпангоут между ступенями европейских ракет-носителей. Цель этой разработки состояла в замене традиционного алюминиевого шпангоута ракеты «Ариан» более легкой и более дешевой многофункциональной композитной конструкцией. Такая оптимизация в совокупности обеспечила снижение массы на 33%.

Проведена разработка и испытание двух различных структурных форм L-конфигурации шпангоута: форма с радиусом и аналогичная форма с прямым углом. Вторая конфигурация возможна только при применении технологии трехмерного ортогонального ткачества. Все компоненты были изготовлены методом пропитки под давлением с использованием связующего RTM6. Проведенные испытания показали, что для материала разрабатываемого шпангоута прирост прочности составляет соответственно: 102% – для формы с радиусом и 692% – для формы с прямым углом (по сравнению с рабочей расчетной нагрузкой). Поэтому для окончательной конструкции и испытания на сегментах Y-образного шпангоута выбрана технология 3D-ортогонального ткачества в сочетании с прямым углом (рис. 15).

Как видно, наибольшие перспективы объемное ткачество обеспечивает в области создания объемно-армирующих преформ, когда в ходе непрерывного процесса ткачества формируется цельнотканая взаимосвязанная армирующая структура (преформа), соответствующая размерам и форме планируемого изделия из композиционного материала. Данный способ позволяет при проектировании структуры переплетения цельнотканой преформы заранее запланировать в необходимых зонах усиление или изменение укладки армирующих нитей, а также создать в преформе свободные от заполнения волокном зоны, в которых отсутствуют армирующие нити, т. е. там, где будут располагаться предполагаемые отверстия либо будут устанавливаться необ-

ходимые вставки (например, подшипники, проушины и т. п.), чтобы избежать ослабления армирующей укладки преформы.

Следует отметить и возможность прогнозирования прочностных параметров изделия на основе объемно-армирующей тканой преформы. Поскольку при прогнозировании структуры преформы рассчитываются каждая армирующая нить и ее расположение в объемной структуре, то, используя характеристики армирующих нитей и применяемого связующего, можно заранее спрогнозировать и некоторые свойства будущего изделия, изготавливаемого с использованием этой преформы. После проведения серии физико-механических испытаний готового материала можно составить более полную методику прогнозирования механических характеристик изделия на базе конкретной объемной преформы, тем более что преформы, выработанные на станке, будут единообразны. Возможность прогнозирования и расчетов по результатам испытаний позволяет выполнить последующую корректировку структуры преформы с целью получения оптимальных прочностных характеристик планируемого изделия.

Стабильность качества и механических характеристик конструкции на базе объемно-армирующих преформ, полученных методом объемного ткачества, также весьма характерны для данных материалов, что обеспечивается постоянством технологических параметров при формировании объемной преформы на ткацком станке. Ввиду этого все преформы будут единообразны по размерам, укладке и физико-механическим характеристикам, что является несомненным преимуществом перед слоистыми материалами, получаемыми методом ручной выкладки.

Использование объемно-армирующих тканых преформ обеспечивает получение конструкций с высокими механическими характеристиками,



Рис. 15. Композитный шпангоут из углепластика, выполненный на основе 3D-преформы фирмой SONACA (Бельгия)

которые характеризуются повышенной стойкостью к расслоению, механическим повреждениям и удару.

Изготовление материалов на базе объемно-армирующих тканых преформ обеспечивает такие достоинства, как сокращение цикла производства изделий сложного профиля, расходов (благодаря механизации процесса изготовления преформы), а также доли ручного труда. Технология пригодна для использования в серийном производстве и обеспечивает за один цикл формовки возможность получения готовых изделий.

Использование объемного ткачества в наукоемком производстве для изготовления полимерных конструкционных материалов создает перспективы развития и применения новых конструкторских решений в высокотехнологичных отраслях российской промышленности для изготовления новых перспективных образцов современной техники.

Заключение

В данной статье приведен обзор способов прокладывания уточной (поперечной) системы армирования преформ на ткацких станках. Установлено, что преформу конечной формы возможно изготовить только на челночном станке с фиксированной траекторией перемещения челнока. Показаны варианты разработанных цельнотканых преформ и изделий на их основе, изготовленных как зарубежными, так и отечественными производителями. Раскрыты преимущества объемных 3D-преформ, а именно – повышенная стойкость к расслоению, автоматизация технического процесса изготовления, минимизация ручного труда, которые доказывают актуальность развития данной технологии. Это позволит начать применение композиционных материалов в высоконагруженных и ответственных частях агрегатов для аэрокосмической отрасли как гражданского, так и военного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Материалы для авиакосмической техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007. №5. С. 7–27.
2. Донецкий К.И., Хрульков А.В., Коган Д.И., Белинис П.Г., Лукьяненко Ю.В. Применение объемно-армирующих преформ при изготовлении изделий из ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 35–39.
3. Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Панина Н.Н., Ткачук А.И., Терехов И.В. Использование ароматических аминных отвердителей для создания эпоксидных связующих для ПКМ конструкционного назначения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №6 (42). Ст. 04. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 02.04.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-4-4.
4. Меркулова Ю.И., Мухаметов Р.Р., Долгова Е.В., Ахмадиева К.Р. Полициануратное связующее для получения композитов пропиткой под давлением // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №11 (47). Ст. 05. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 02.04.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-11-5-5.
5. Каблов Е.Н., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Мухаметов Р.Р., Панина Н.Н. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2016. Т. 2. №2. С. 37–42.
6. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.
7. Халиулин В.И., Шапаев И.И. Технология производства композитных изделий: учеб. пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. 234 с.
8. Донецкий К.И., Караваев Р.Ю., Раскутин А.Е., Дун В.А. Углепластик на основе объемно-армирующей триаксиальной плетеной преформы // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2019. №1 (73). Ст. 07. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 02.04.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-1-55-63.
9. Евдокимов А.А., Гуляев И.Н., Зеленина И.В. Исследование физико-механических свойств и микроструктуры объемно-армированного углепластика // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2019. №4 (76). Ст. 05. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 02.04.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-38-47.
10. Тарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы: справочник. М.: Машиностроение, 1987. 224 с.
11. Постнова М.В., Постнов В.И. Опыт развития безавтоклавных методов формования ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №4. Ст. 06. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 02.04.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
12. Донецкий К.И., Раскутин А.Е., Хилов П.А., Лукьяненко Ю.В., Белинис П.Г., Коротыгин А.А. Объемные текстильные преформы, используемые при изготовлении полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №9. Ст. 10. URL: <http://viam-works.ru> (дата обращения: 12.03.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-9-10-10.
13. Potluri P., Sharif T., Jetavat D. et al. Bench-marking of 3D Preforming Strategies. University of Manchester, 2012. P. 34.
14. Bogdanovich A. Solid three-dimensional woven textiles // Advances in 3D Textiles. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2015. P. 21–52.
15. Mohamed M., Bogdanovich A. Comparative analysis of different 3D weaving processes, machines and products // ICCM 17, 3D Textiles & Composites (27–31 July, 2009), 2009. P. 47.