DOI: 10.15593/2224-9982/2015.42.10

УДК 620.22

А.М. Шагеев¹, Н.С. Микрюкова¹, Е.В. Лапин²

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

² ОАО «Уральский научно-исследовательский институт
композиционных материалов», Пермь, Россия

ЦЕЛЬНОТКАНЫЕ КАРКАСЫ – ОБОЛОЧКИ – НАПОЛНИТЕЛИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рост тактико-технических требований к изделиям ракетно-космической техники обуславливает ограничение возможностей применения традиционных конструкционных материалов. Возникает необходимость создания новых уникальных материалов, которые смогли бы сохранить свойства при нетрадиционных условиях эксплуатации, в широком диапазоне температур, при разнообразных сочетаниях нагрузок с их резкими изменениями. Этим непростым требованиям соответствуют цельнотканые каркасы – оболочки – наполнители перспективных композиционных материалов. Цельнотканые каркасы не только способствуют внедрению революционных технических решений, но и создают основу для дальнейшего развития авиационной, ракетно-космической техники.

Представлен способ изготовления круглотканых многослойных каркасов и специальное оборудование для их производства, перечислены способы создания объемно-армированных оболочек и подробно описано плоское и круглое ткачество, выявлены все достоинства и недостатки. Представлена схема формирования цельнотканых многослойных каркасов и нарабатываемые на них такие структуры ткани, как ортогональная, диагональная и гибридная. Проиллюстрировано специальное оборудование для подготовки нитей к текстильной переработке, описаны методы и способы подготовки нитей: трощение, кручение и шлихтование.

Ключевые слова: круглотканые многослойные каркасы, машины круглого ткачества, жаккардовые машины, ткачество, структура ткани, нити основы, уток, композиционные материалы.

A.M. Shageev¹, N.S. Mikryukova¹, E.V. Lapin²

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² OJSC “Ural Research Institute of Composite Materials”,
Perm, Russian Federation

SOLID – WOVEN CARCASS – FILLERS OF PERSPECTIVE COMPOSITE MATERIALS

Development of the missile and space equipment faces complex problems and traditional materials are no longer usable to solve these problems. There is a need to create new unique materials which could keep properties under nonconventional service conditions, in the wide range of temperatures, at various combinations of loadings, with their sharp changes. Solid – woven carcass – fillers of perspective composite materials conform to these requirements. Woven carcass do not only contribute

to the implementation of revolutionary technical solutions, but also provide the basis for further development of aviation, rocket and space technology.

The article presents the way of production of multilayer woven in circular form frames and special equipment for their production. The ways of creation of the volume reinforced shells are listed. Flat and circular weaving and its strengths and weaknesses are described in detail. The formation scheme of multilayered frameworks and such structures of fabrics on them, as orthogonal, diagonal and hybrid are presented. It is showed special equipment for the preparation of yarn for textile processing. It is described the methods and techniques for yarn preparation: throwing, twisting, sizing.

Keywords: multilayer woven in circular form frames, circular weaving machine, jacquard, weaving, structure of the fabric, warp yarn, weft, composition materials.

Введение

Особое место среди композиционных материалов занимают волокнистые композиционные материалы [1]. Каркас (наполнитель) и матрица (материал, заполняющий пустоты и связывающий волокна) – две основные составляющие волокнистых композиционных материалов [2]. Возможность совмещения свойств волокон и разнообразие схем армирования создают главное преимущество волокнистых композиционных материалов – возможность проектирования и реализации требуемых свойств, в том числе и по разным направлениям за счет заданной укладки волокон [3].

В соответствии с укладкой волокон в каркасе волокнистые композиционные материалы могут быть однонаправленными, слоистыми [4] и пространственно армированными [5]. Слоистые композиционные материалы обладают уникальными свойствами и высокой технологичностью изготовления, но, несмотря на это, они имеют существенный недостаток – низкую межслоевую прочность [6], что существенно сокращает область их применения. Существует несколько способов увеличения межслоевой прочности слоистых композиционных материалов, например прошивкой слоев нитями, направлением части волокон из одного слоя в другой и т.д. Применение этих способов позволяет несколько увеличить межслоевую прочность.

Радикально увеличить межслоевую прочность позволяет применение пространственно армированных композиционных материалов [7] благодаря межслоевым связям, выполненным на уровне ячеек, например в многослойных тканых каркасах. Количество слоев в таких каркасах характеризует толщину ткани, слои же, как таковые, могут отсутствовать вовсе.

Пространственно армированный каркас обладает высокой несущей способностью в зонах приложения сосредоточенных нагрузок при

сочетании силовых и температурных воздействий, характерных для современной техники, в особенности при наличии концентраторов напряжений (в качестве которых выступают вырезы, выборки, уступы ребра). Это достигается тем, что каркас не несет опасности расслоения и позволяет в пределах нескольких ячеек локализовать распространение трещин [8], возникающих по какой-либо причине. Возможность сочетания волокон с различными свойствами по направлениям волокон позволяет расширить диапазон пространственно армированных композиционных материалов.

Особое место среди композитов занимают композиционные материалы – детали на основе цельнотканых каркасов оболочек. Такие каркасы, изготовленные на круглоткацких машинах, называются круглоткаными многослойными каркасами (КТМК).

Изготовление каркасов КТМК представляет собой высокотехнологичную задачу. Для производства таких каркасов на базе предприятия «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов» (УНИИКМ) были созданы и эксплуатируются три уникальные машины круглого ткачества (МКТ).

Способы создания наполнителей композитов.

Достоинства и недостатки

Существует множество способов создания каркасов для композиционных материалов:

- намотка волокнами, нитями, лентами, в том числе предварительно пропитанными связующим [9];
- плетение [10];
- выкладка полотнами, в том числе предварительно пропитанными связующим;
- «многослойное» ткачество [11], в том числе плоское и круглое (круговое) [12].

У композиционных материалов с наполнителем, изготовленным такими способами, как намотка и выкладка, существует главный недостаток – отсутствие межслоевых связей, а последующие операции по их созданию не приводят к оптимальным результатам.

Способ создания каркасов плетением технологически сложный и трудоемкий процесс, к тому же композиты на их основе имеют малый уровень реализации свойств волокон.

При многослойном ткачестве межслоевые связи создаются в процессе ткачества, вплоть до получения структуры с отсутствием каких-либо слоев, в том числе и при изготовлении каркасов КТМК.

До создания уникальных машин круглого ткачества многослойные тканые оболочки изготавливали на плоских станках [13].

Тканое изделие, или ткань, образуется при взаимном переплетении двух систем нитей, расположенных относительно друг друга в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Нити одной системы, идущие вдоль ткани, называются основой, а другой, идущие поперек ткани, – утком. Процесс образования ткани на плоском ткацком станке происходит следующим образом (рис. 1).

Рис. 1. Схема плоского ткацкого станка

Нити 1 основы, сматываемые с навоя 2, «катушки» с множеством концов нити основы (для тканей сложного рисунка применяются одновременно несколько навоев), огибают скало 3, проходят сквозь отверстия ламелей 4 (ламель – деталь устройства останова станка при обрыве нити основы), сквозь глазки галев 5 (галево – тело, с помощью которого нить основы перемещается в верхнее положение – верхний настил зева, или в нижнее положение – нижний настил зева), между «зубьями» берда 6 (бердо – набор пластин, задающих плотность нитей основы в ткани).

Перемещаясь в верхнее и нижнее положение, нити основы образуют пространство 7, называемое зевом, в которое челноком 8 вводится уточная нить. Введенная в зев уточная нить бердом 6 прибивается к опушке 9 ткани. Одновременно происходит закрытие старого зева

и открытие нового зева, при котором галева и пробранные в их глазки нити основы изменяют свое положение, в результате чего прибитая к опушке ткани уточная нить закрепляется в «опушке» (крае) ткани. После образования нового зева производится следующая уточная прокидка нити утка и т.д. Таким образом формируется ткань.

Ткань отводится вращающимся вальцом 10 (барабан) и наматывается на товарный валик 11. Скорость отвода ткани обеспечивает соответствующую плотность ткани по утку.

Для процесса образования ткани необходимо, чтобы нити основы имели стабильное определенное натяжение. Это натяжение задается специальным механизмом станка, создающим необходимый момент силы для навоя (навоя). От постоянства натяжения нитей основы зависит качество ткани. Вместо навоя в ткацком станке может быть использован шпулярник, на котором установлены индивидуальные для каждой нити основы паковки.

В этом случае для создания натяжения нитей основы применяются индивидуальные натяжные устройства (подвешенные грузы, сжатые чашечки и т.п.).

Принцип плоского ткачества оболочек заключается в том, что одним утком формируется два полотна – верхнее и нижнее. При раскрытии данных полотен образуется оболочка (рис. 2).

Тонкие оболочки плоского ткачества не имеют явных недостатков, но при создании многослойной оболочки образуется два диаметрально расположенных «условных» шва в виде кромочных протяжек нитей утка, которые при раскрытии образуют «путанку».

Рис. 2. Изготовление оболочек плоским ткачеством: 1 – однослойная оболочка; 2 – многослойная оболочка; 3 – «путанка»

Для изготовления толстых (многослойных) плоскотканых оболочек обычно применяются ковроткающие станки с существенными доработками основных механизмов.

Создать сложную схему армирования толстостенной оболочки со сложным профилем возможно при применении «жаккардового» зевобразовательного устройства (по имени изобретателя – «машины Жаккарда» [14]), позволяющего управлять каждой нитью в отдельности.

Отличие круглого (кругового) ткачества от плоского состоит в том, что уток при формировании каркаса образует концентричные витки (кольцевое армирование) за счет того, что уточная нить прокладывается в круговой волновой зев. Этот способ позволяет устранить главный недостаток плоского ткачества – условные швы.

Основной структурой, отработанной на круглоткающих станках МКТ, является ортогональная, с армированием в трех направлениях [15]: в направлении образующей (направление z), в направлении, близком к радиальному (направление x), в кольцевом направлении (направление y). Название «многослойная» ткань условное, так как каждая ячейка связана с соседними ячейками. Деление на слои также условное, под слоем подразумевается ряд однонаправленных нитей, образующих плоскость в ткани.

Специальное оборудование для подготовки нитей к текстильной переработке

МКТ изначально были предназначены для изготовления каркасов из углеродных нитей. Углеродные нити являются техническими и не могут быть переработаны на машинах МКТ без дополнительной подготовки.

Нити, из которых изготавливается КТМК, подвергаются предварительной обработке для достижения оптимальной линейной плотности, а также для доведения нити до состояния, позволяющего изготавливать изделия хорошего качества, необходимого для обеспечения каркаса всеми необходимыми свойствами.

Подготовка нитей включает в себя операции трощения (соединения), крутки и шлихтования. Для каждой операции существуют специальные установки. Так, установка перемотки создана для трощения нити до шести сложений. Намотка трощеной нити производится на цилиндрической поковке, раскладка нити – параллельная.

Для кручения нити создана установка крутки (рис. 3), способная скрутить нить до 50 кручений на метр. Намотка крученой нити производится с натяжением от 0,1 до 1 кг. Установка крутки – универсальна, так как существует возможность одновременного трощения и кручения двух нитей.

Рис. 3. Установка крутки: 1 – крутильные головки; 2 – цилиндрические поковки

Для улучшения свойств волокон и снижения трения между ними при наработке каркаса нити покрывают специальным материалом, этот процесс называют шлихтованием. Существует множество способов шлихтования, один из которых – аппретирование. На предприятии ОАО УНИИМК были опробованы различные виды шлихты и аппретов, выявлены самые эффективные. Одними из лучших аппретов являются поливиниловый спирт (ПВС), растворенный в воде, и полиуретан (СКУ ПФЛ-100), растворенный в ацетоне. Недостатком ПВС оказалась нестабильность свойств при изменении окружающих условий, свойства меняются при изменении температуры, особое влияние на свойства ПВС оказывает влажность воздуха (вплоть до слипания нитей). Недостатком СКУ ПФЛ-100 является то, что его необходимо растворять в ацетоне (с последующим удалением последнего), что является пожароопасным фактором, а также фактором, вредным для здоровья человека. Достоинствами СКУ ПФЛ-100 являются сохранение свойств в любых цеховых условиях, лучшие показатели по защите нитей от истирающих и изгибающих нагрузок, малый коэффициент трения об элементы нитетракта. По эксплуатационным свойствам углеродные нити, обработанные СКУ ПФЛ-100, оказались пригодными для переработки на машинах МКТ.

После выбора аппрета была создана установка шлихтования (рис. 4). Основными узлами в установке являются отдающий двусторонний шпулярник на 64 паковки, барабанный механизм перемещения нитей, приемный шпулярник с крестовой намоткой нитей, две пропиточные ванны, камера сушки и полимеризации, калорифер, подающий в камеру воздух с температурой 100–200 °С, система отвода воздуха и паров ацетона и паров ацетона.

Рис. 4. Установка шлихтования: 1 – паковки с нитями; 2 – система отвода воздуха и паров ацетона; 3 – камера сушки и полимеризации

Специальное оборудование для изготовления КТМК

Машина МКТ, по сути, несколько ткацких станков, замкнутых по кругу. Их жаккардовые машины образуют волновой зев, в котором по кольцевой траектории принудительно продвигается челнок, прокладывая натянутый уток. На МКТ-150 (рис. 5) и ЭС МКТ-250 (рис. 6) восемь жаккардовых устройств, на МКТ-250 (рис. 7) их 16.

Рис. 5. Круглоткацкая машина МКТ-150

Рис. 6. Круглоткацкая машина ЭС МКТ-250

Рис. 7. Круглоткацкая машина МКТ-250

Машины МКТ предназначены для изготовления цельнотканых объемно-армированных оболочек диаметром до 2500 мм, высотой до 2000 мм, толщиной стенки до 30 мм.

Каркасы нарабатываются на оправках, которые задают внутреннюю поверхность цельнотканого каркаса. Оправка устанавливается в центре машины МКТ, перемещается вдоль своей оси на заданную величину с высокой точностью (до 0,1 мм) по мере наработки каркаса.

По периметру машины расположены шпулярники (рис. 8), на которых установлены катушки с нитями основы. Катушки оснащены фрикционными механизмами для задания требуемого натяжения нитей.

Рис. 8. Шпулярник: 1 – катушки с нитями; 2 – вал

С катушек нити направляются в центр машины через распределительные доски и глазки галев. Через гибкие связи между крючками и галевами нитями основы (переводя их из нижнего настила в верхний и наоборот) управляют жаккардовые устройства (рис. 9). Жаккардовая машина управляет каждой нитью основы, что позволяет создать сложную схему армирования оболочек со сложным профилем.

Рис. 9. Условная схема жаккардовой машины: 1 – глазок; 2 – груз; 3 – гибкие связи; 4 – «кассейные» доски; 5 – подвязь; 6 – крючок; 7 – рамная доска; 8 – ножевая рама; 9 – стержень; 10 – отверстие доски; 11 – пружина; 12 – призма с отверстием; 13 – ножи; 14 – подрамная доска

На вновь созданной современной круглоткацкой машине МКТ-150 (промышленный вариант с возможностью тиражирования) применены механизмы зевобразования (рис. 10) с электронным управлением.

По технологическим возможностям данный механизм зевобразования в полной мере соответствует потребностям машины МКТ-150, а также потребностям существующих машин МКТ.

Управление рядами нитей основы по заданной программе осуществляется собственным контроллером. С помощью автоматизированной системы управления имеется возможность создания банка из всех экспериментальных и отработанных программ, также возможно быстрое введение в банк новых программ. Для ввода-вывода нитей основы в механизме зевобразования применено устройство отбора рабочих подвязей (рабочих нитей основы) по аналогии с применяемыми на существующих машинах МКТ.

Данный механизм зевобразования разработан с условием возможности установки таких механизмов взамен используемых в настоящее время на машинах МКТ механических машин Жаккарда.

Рис. 10. Механизм зевобразования круглоткацкой машины МКТ-150:
1 – актуаторы; 2 – неподвижная планка для вывода крючков из работы

Рис. 11. Центральная часть (вид снизу): 1 – челнок;
2 – нити; 3 – оправка

Челнок вращается вокруг оправки (рис. 11), прокладывая уток в зев [7], образованный из нитей основы. Челнок принудительно перемещается по роликам с заданной скоростью, обеспечиваются заданные параметры его разгона и торможения.

Челнок движется между нижним и верхним настилами нитей основы. Существует понятие «рабочего» настила, им может быть как нижний, так и верхний настил. Нити основы рабочего настила притягиваются (прибиваются) утком к опушке ткани. Если рабочим является нижний настил, то готовая ткань образуется выше плоскости расположения нитей основы, отвод ткани оправкой производится вверх. При верхнем рабочем настиле всё происходит в обратном направлении.

Принципиальная схема формирования цельнотканого многослойного каркаса

Главный отличительный принцип технологии изготовления каркасов на машинах МКТ – отсутствие механизма (и каких-либо механических элементов) прибора утка к опушке каркаса («бесприбойный» способ ткачества). На машинах МКТ прибор утка осуществляется за счет его собственного натяжения во взаимодействии с натянутыми нитями основы за счет составляющей силы, направленной по образующей каркаса.

Рис. 12. Принципиальная схема наработки каркаса:
1 – нити основы; 2 – уток; 3 – оправка

Нити основы распределены по системам. Каждая система перемещается из нижнего настила зева в верхний программно, за счет чего формируется структура (рисунок) ткани (рис. 12).

Структуры круглотканых каркасов

Основными структурами круглого ткачества являются ортогональная (рис. 13, *а*) и диагональная (рис. 13, *б*). Все прочие структуры являются производными.

Рис. 13. Основные круглотканые многослойные структуры:
1 – основа перевязочная; 2 – основа наполнительная; 3 – уток;
4 – основа

Ортогональные структуры (3D-структуры) предполагают армирование каркаса в трех направлениях, соответствующих направлениям декартовой (цилиндрической) системы координат. Такие структуры также называют «системой трех нитей».

Ортогональные структуры по рисунку в основном отличаются друг от друга способом перевязки слоев (рис. 14).

Рис. 14. Примеры ортогональных многослойных круглотканых структур

Перевязочные нити основы создают радиальное армирование и целостность ткани, образуя дуги на поверхностях (при перевязке не на всю толщину – также и внутри каркаса).

Некоторые способы перевязки:

- ортогональная структура с одной перевязочной системой (рис. 14, *а*);
- ортогональная структура с перевязкой не на всю толщину (рис. 14, *б*);
- ортогональная структура с перевязкой каждого слоя (рис. 14, *в*);
- ортогональная структура с тремя перевязочными системами (рис. 14, *г*).

У диагональных структур перевязочные нити отсутствуют (если их не вводят специально). Соединение слоев производится системами нитей основы. Возможно введение систем нитей основы осевого армирования.

Рис. 15. Примеры диагональных многослойных круглотканых структур

Примеры структур, производных от диагональных:

- диагональная структура с перевязкой каждого слоя (рис. 15, *а*);
- двухполотенная диагональная структура (рис. 15, *б*);
- диагональная структура с дополнительным осевым армированием (для повышения осевой прочности) (рис. 15, *в*).

Возможно получение «гибридных» структур, когда ткань по толщине может содержать и ортогональную, и диагональную структуру (рис. 16).

Рис. 16. Гибридная структура

Заключение

В работе кратко обосновано преимущество волокнистых композиционных материалов при использовании наполнителя в виде цельнотканых многослойных каркасов.

Показано уникальное круглоткацкое оборудование, предназначенное для изготовления каркасов различных форм, размеров и структур, а также комплекс подготовительного оборудования. Приведена принципиальная схема формирования цельнотканых многослойных каркасов, показаны возможные структуры тканых оболочек.

Способ производства круглотканых каркасов – оболочек, изготовленных на круглоткацких машинах МКТ, используемых для армирования композиционных материалов, является наиболее эффективным для решения основной задачи – кардинального увеличения межслоевой прочности.

Представленные технологии являются перспективными для развития ракетно-космической техники.

Библиографический список

1. Вотинов А.М. Технология композиционных материалов: учеб. пособие / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1998. – 138 с.
2. Исследование микроструктуры углерод-углеродного композита 2D+1 при термохимической обработке и насыщении пироуглеродом / А.В. Долгодворов, А.Г. Докучаев, П.А. Судюков, А.А. Чекалкин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79, № 12. – С. 31–33.
3. Макарова Е.Ю., Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А. Структурно-феноменологические модели прогнозирования упругих свойств высокопористых композитов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер.: Физ.-мат. науки. – 2010. – № 5(21). – С. 276–279.
4. Sokolkin Yu.V., Kotov A.G., Chekalkin A.A. Structural multistage model of the bearing capacity of carbon-carbon laminate shells // Mechanics of Composite Materials. – 1994. – Vol. 30, № 1. – P. 55–60.
5. Тарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы: справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
6. Babushkin A.V., Sokolkin Yu.V., Chekalkin A.A. Fatigue resistance of structurally inhomogeneous powdered materials in a complex

stress-strain state // *Mechanics of Composite Materials*. – 2014. – Vol. 50, № 1. – P. 1–8.

7. Sokolkin Yu.V., Postnykh A.M., Chekalkin A.A. Probabilistic model of the strength, crack resistance and fatigue life of a unidirectionally reinforced fibrous composite // *Mechanics of Composite Materials*. – 1992. – Vol. 28, № 2. – P. 133–139.

8. Postnykh A.M., Chekalkin A.A., Khronusov V.V. Structural-statistical model of the reliability and durability of the fiber composite // *Mechanics of Composite Materials*. – 1991. – Vol. 26, № 5. – P. 633–637.

9. Конков М.А., Тарасов В.А. Технология намотки композитных конструкций ракет и средств поражения: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2011. – 431 с.

10. Lund-Iversen B. Weaver's interlacings. – М.: Legprombytizdat, 1987. – 104 p.

11. Virenberg R.H. Composites with three-dimensional reinforcing // *Materials engineering*. – 1983. – № 1. – P. 27–31.

12. Newton A., Sarkar B.P. An Analusis of Compound Weaves // *Proektno-konstruktorskoe i technologicheskoe buro himicheskogo mashinostroeniya*. – 1979. – № 10. – P. 427–438.

13. Сурнина Н.Ф. Технология и оборудование ткацкого производства. – М., 1981. – 326 с.

14. Гордеев В.А. Ткачество. – М.: Легкая индустрия, 1970. – 584 с.

15. Sokolkin Yu.V., Chekalkin A.A., Kotov A.G. A structural multi-scale approach to the design of spatially reinforced carbon-carbon composites // *Mechanics of Composite Materials*. – 1995. – Vol. 31, № 2. – P. 143–148.

References

1. Votinov A.M. *Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov* [Technology of composite materials]. Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 1998. 138 p.

2. Dolgodvorov A.V., Dokuchaev A.G., Sudyukov P.A., Chekalin A.A. Issledovanie mikrostruktury uglerod-uglerodnogo kompozita 2D+1 pri termokhimicheskoy obrabotke i nasyshchenii pirouglерodоm [Research of microstructure of 2D+1 carbon–carbon composite in thermochemical processing and coating of pyrocarbon]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2013, vol. 79, no. 12, pp. 31–33.

3. Makarova E.Yu., Sokolkin Yu.V., Chekalkin A.A. Strukturno-fenomenologicheskie modeli prognozirovaniya uprugikh svoystv vysokoporistyykh kompozitov [Structural and phenomenological models to forecast the elastic properties of high-porous composites]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Fiziko-matematicheskie nauki*, 2010, no. 5(21), pp. 276-279.

4. Sokolkin Yu.V., Kotov A.G., Chekalkin A.A. Structural multistage model of the bearing capacity of carbon-carbon laminate shells. *Mechanics of Composite Materials*, 1994, vol. 30, no. 1, pp. 55-60.

5. Tarnopolskiy Yu.M., Zhigun I.G., Polyakov V.A. Prostranstvenno-armirovannye kompozitsionnye materialy [The spatial reinforced composite materials]. Moscow: Mashinostroenie, 1987. 224 p.

6. Babushkin A.V., Sokolkin Yu.V., Chekalkin A.A. Fatigue resistance of structurally inhomogeneous powdered materials in a complex stress-strain state. *Mechanics of Composite Materials*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 1-8.

7. Sokolkin Yu.V., Postnykh A.M., Chekalkin A.A. Probabilistic model of the strength, crack resistance and fatigue life of a unidirectionally reinforced fibrous composite. *Mechanics of Composite Materials*, 1992, vol. 28, no. 2, pp. 133-139.

8. Postnykh A.M., Chekalkin A.A., Khronusov V.V. Structural-statistical model of the reliability and durability of the fiber composite. *Mechanics of Composite Materials*, 1991, vol. 26, no. 5, pp. 633-637.

9. Konkov M.A., Tarasov V.A. Tekhnologiya namotki kompozitnykh konstruktsiy raket i sredstv porazheniya [Winding technology for rockets composite designs and weapon of destruction]. Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni N.E. Bauman, 2011. 431 p.

10. Lund-Iversen B. Weaver's interlacings. Moscow: Legprombytizdat, 1987. 104 p.

11. Virenberg R.H.. Composites with three-dimensional reinforcing. *Materials engineering*, 1983, no. 1, pp. 27-31.

12. Newton A., Sarkar B.P. An Analusis of Compound Weaves. *Proektno-konstruktorskoe i tekhnologicheskoe byuro khimicheskogo mashinostroeniya*, 1979, no. 10, pp. 427-438.

13. Surnina N.F. Tekhnologiya i oborudovanie tkatskogo proizvodstva [Technology and equipment of weaver's production]. Moscow, 1981. 326 p.

14. Gordeev V.A. Tkachestvo [Weaving]. Moscow: Legkaya industriya, 1970. 584 p.

15. Sokolkin Yu.V., Chekalkin A.A., Kotov A.G. A structural multi-scale approach to the design of spatially reinforced carbon-carbon composites. *Mechanics of Composite Materials*, 1995, vol. 31, no. 2, pp. 143-148.

Об авторах

Шагеев Артур Маратович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: artyrshageev@yandex.ru).

Микрюкова Наталья Сергеевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: nataha0704@rambler.ru).

Лапин Евгений Васильевич (Пермь, Россия) – начальник НИО-3 ОАО «Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов» (614000, г. Пермь, ул. Новозвягинская, д. 57, e-mail: mkt150@mail.ru).

About the authors

Artur M. Shageev (Perm, Russian Federation) – Master's Degree Student, Department of Mechanics of Composite Materials and Constructions, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: artyrshageev@yandex.ru).

Natalya S. Mikryukova (Perm, Russian Federation) – Master's Degree Student, Department of Mechanics of Composite Materials and Constructions, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: nataha0704@rambler.ru).

Evgeniy V. Lapin (Perm, Russian Federation) – Head of Department of OJSC “Ural Research Institute of Composite Materials” (57, Novozvyaginskaya st., Perm, 614000, Russian Federation, e-mail: mkt150@mail.ru).

Получено 15.05.2015