

УДК 677.055

DOI 10.47367/0021-3497_2021_6_83

БЕСПРИБОЙНОЕ ТКАЧЕСТВО НА МАШИНАХ КРУГЛОТКАЦКИХ МКТ

SURF-FREE WEAVING ON CIRCULAR WEAVING MACHINES (CWM)

Е.В. ЛАПИН, В.Ю. ЧУНАЕВ, А.Г. ЩУРИК

E.V. LAPIN, V.YU. CHUNAEV, A.G. SHCHURIK

(Акционерное общество "Уральский НИИ композиционных материалов")

(Ural Research Institute of Composite Materials)

E-mail: uniikm@yandex.ru

Ракетно-космическая техника развивается на основе массового и энергетического совершенства и эксплуатационной надежности. Необходимость сохранения свойств в широких диапазонах температур с быстрыми перепадами, на фоне разнообразных механических нагрузок, при их сочетаниях и резких изменениях, требует применения материалов, имеющих уникальные свойства. Создание легких жаростойких композиционных материалов, имеющих высокие характеристики, сохраняющиеся в широком диапазоне температур, велось в "Уральском НИИ композиционных материалов". При разработке и получении объемно армированных изделий из новых композиционных материалов в виде оболочек в качестве наполнителя использовали круглотканые многослойные каркасы. Такие каркасы обеспечивают максимальную межслоевую прочность материала изделий, способствуют снижению опасности появления расслоений и трещин при сочетаниях переменных силовых и температурных воздействий, в особенности в зонах концентраторов напряжений. Процесс изготовления круглотканых многослойных каркасов является труднейшей высокотехнологичной задачей, требующей наличия специальных круглоткацких машин. Такие машины (МКТ) созданы на предприятии. Разработана не имеющая аналогов технология "бесприбойного" ткачества. Паспортизованы новые композиционные материалы на основе круглотканых каркасов. Отработана технология изготовления круглотканых каркасов и заготовок, ведется их серийное производство.

Rocket and space technology is developing on the basis of mass and energy perfection and operational reliability. The need to preserve properties in wide temperature ranges with rapid changes, against the background of various mechanical loads, with their combinations and abrupt changes, requires the use of materials with unique properties. The creation of lightweight heat-resistant composite materials with high characteristics that persist over a wide temperature range was carried out at the Ural Research Institute of Composite Materials. During the development and production of extensively reinforced products from new composite materials in the form of shells, circular-woven multilayer frames were used as a filler. Such frames ensure the maximum interlayer strength of the product material, contribute to reducing the risk of delamination and cracks with combinations of variable force and temperature influences, especially in the areas of stress concentrators. The manufacturing process of circular-woven multilayer frames is the most difficult high-tech task that requires the presence of special circular-weaving machines. Such machines (CWM) are created at the enterprise. A unique technology of "surf-free" weaving has been developed. New composite materials based on round-woven frames have been certified. The technology of manufacturing of circular-woven frames and blanks has been worked out, their serial production is carried out.

Ключевые слова: объемное армирование, ортогональная структура, круглотканый многослойный каркас, машина круглоткацкая, углеродные нити, условный шов, саржевый эффект.

Keywords: three-dimensional reinforcement, orthogonal structure, round-woven multi-layer frame, round-winding machine, carbon filaments, conventional seam, shear effect

Введение

Существуют несколько способов изготовления углеродных волокнистых наполнителей композиционных материалов, в том числе: намотка волокнами, нитями, лентами; выкладка тканями, препрегами; плетение; вязание; ткачество [1...6]. Объемное плетение и объемное вязание технологически и технически сложные и трудоемкие процессы, низок уровень реализации свойств волокон. Главный недостаток намотки и выкладки заключается в отсутствии межслоевых связей, при этом дополнительные операции по созданию таких связей, например, прошивкой, иглопробивным способом, дают далеко не оптимальные результаты. Кардинальное увеличение межслоевой прочности обеспечивает объемно армированный каркас, например, полученный многослойным ткачеством. В объемном армировании зачастую особенно нуждаются композиты в виде оболочек.

Тканые многослойные оболочки впервые стали изготавливать на плоскоткацких

машинах. В России тканые объемно армированные оболочки, например, марок КПЦТЗ, ЦТМЗ, изготавливает предприятие "ТРИ-Д" (ранее подразделение "Всесоюзного научно-исследовательского института синтетических полимерных волокон", где и была создана отечественная технология) [7], [8]. Непрерывным утком формируют одновременно верхнее и нижнее полотна. Полотна раскрывают и формуют на оправках. Наряду с достоинствами (сравнительно низкая трудоемкость изготовления, возможность переработки широкого диапазона видов нитей, в том числе углеродных) оболочки, изготовленные таким способом, имеют принципиальный недостаток – наличие двух ослабленных зон в виде кромочных протяжек утка между полотнами. Подобного недостатка не имеют объемно армированные оболочки, изготовленные на круглоткацких машинах. Уток, прокладываемый в круговой зев, образует на оправке замкнутую ткань без каких-либо кромок. О такой машине известно из патента фирмы

"Монсанто Компани", США [9].

На предприятии "Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов" (АО "УНИИКМ") для изготовления цельнотканых объемно армированных оболочек созданы и производят продукцию машины круглоткацкие (МКТ). В России аналогов не имеется, о действующих в настоящее время иностранных аналогах информации не найдено.

Машины круглоткацкие МКТ

Круглоткацкие машины МКТ предназначены для изготовления оболочек из углеродных нитей, применяемых в качестве наполнителей новых композиционных материал-деталей. Каркасы получили условное название "круглотканые многослойные каркасы" (каркасы КТМК). На круглоткацком производстве предприятия отработано более сотни типоразмеров каркасов КТМК от крупногабаритных, диаметром до 2300 мм, с толщиной стенки до 30 мм, до миниатюрных, с диаметром от 12 мм, с толщиной стенки от 1,5 мм.

В 1983 г. на предприятии был создан экспериментальный стенд машины круглоткацкой ЭС МКТ. После доработки стенд был доведен до полноценной машины круглоткацкой. Машина занимает площадь диаметром около 17 м. Устройство зевобразования включает 8 механических жаккардовых механизмов зевобразования JNS 4820. Шпулярники вмещают 36 тысяч паковок с нитями основы.

С целью расширения технологических возможностей по габаритам изготавливаемых каркасов КТМК на предприятии была разработана и введена в эксплуатацию опытная машина круглоткацкая МКТ-250. Машина занимает площадь диаметром около 24 метров. Устройство зевобразования включает 16 механических жаккардовых механизмов зевобразования JNS 4820. Шпулярники вмещают 61 тысячу паковок с нитями основы.

В соответствии с возросшими потребностями в 2013 г. на предприятии была создана машина круглоткацкая МКТ-150. Машина является промышленной с возможностью тиражирования.

Устройство зевобразования состоит из 8 механизмов зевобразования МЗО с электронным программированием и управлением. Для катушек с нитями основы предусмотрено 24 шпулярника (одно-, двух- и трехсекционных, в зависимости от исполнения машины).

Машина разработана в трех исполнениях:

Базовое исполнение. Диаметр машины составляет 16 метров. Шпулярники вмещают около 36 тысяч паковок с нитями основы.

Исполнение -01: диаметр машины составляет 12 метров, шпулярники вмещают около 18 тысяч паковок с нитями основы.

Исполнение -02: диаметр машины составляет 20 метров, шпулярники вмещают около 55 тысяч паковок с нитями основы.

Введенная на предприятии в эксплуатацию машина МКТ-150 выполнена в базовом исполнении (рис. 1). Все машины МКТ в настоящее время производят продукцию, в том числе серийную. Характеристики машин МКТ обобщены в табл. 1.



Рис. 1

Основные узлы и механизмы машин МКТ

Остов машины образует многоуровневые зоны размещения узлов и механизмов машины. Основой остова является единый силовой каркас (станина). Станина установлена на опорах, закрепленных на усиленном железобетонном фундаменте. Остов включает опоры, стойки, площадки, переходы, лестницы, ограждения.

Машина	Занимаемая площадь (диаметр), м	Масса, т	Установленная мощность, кВт	Количество механизмов зевобразования	Количество шпуляриков	Суммарная емкость шпуляриков, катушек	Максимальные габариты оболочек, диаметр/толщина, мм
ЭС МКТ	17	80	80	8	24	36864	1500/30
МКТ-250	24	180	280	16	32	61440	2500/30
МКТ-150	16	100	60	8	24	36864	1500/30
-01	12	80	40	8	24	18432	750/30
-02	20	120	80	8	24	55296	2200/30

Механизмы зевобразования. На машинах ЭС МКТ и МКТ-250 в устройстве зевобразования применены механические зевобразующие жаккардовые механизмы JNS 4820.

В устройстве зевобразования машины круглоткачкой МКТ-150 применены механизмы МЗО собственной разработки (рис. 2) [10].



Рис. 2

Зевобразующий механизм МЗО выполнен с электронным программированием и управлением на основе контроллера, создан по аналогии с современными зевобразующими каретками. Механизм МЗО оснащен устройством отбора подвязей (задание количества рабочих нитей основы с возможностью ввода-вывода нитей основы). Механизм МЗО выполнен с открытым типом зева, с регулируемой высотой до 380 мм. Механизм МЗО включает три секции по 432 подвязи в каждой (18 ножей, по 24 крючка на каждом ноже). Контроллер, через сенсорный дисплей на щите управления, обеспечивает задание новых и запуск имеющихся в памяти программ зевобразо-

вания, задание всего необходимого комплекса команд, контроль и отражение текущей информации о выполнении, показывает информацию об отказах. Имеется возможность применения механизма МЗО на тихоходных плоскоткачных машинах, изготавливающих объемно армированные оболочки, в том числе сложного профиля.

Шпулярики. Установлены по периметру, вокруг центральной зоны машины. Предназначены для размещения паковок (катушек) с нитями основы для обеспечения непрерывной подачи нитей основы к оправке, на которую нарабатывается оболочка. Каждая катушка имеет фрикционное тормозное устройство, обеспечивающее задание натяжения нити в пределах от 30 до 300 г. Катушки размещаются на валах шпуляриков по несколько штук. Валы расположены по рядам и по ярусам. Привод шпуляриков обеспечивает вращение валов с заданной скоростью в заданный отрезок времени, чем обеспечивает отвод нитей основы из нитетрактов и создает нитям основы заданное натяжение.

Устройство перемещения оправки Предназначено для фиксирования оправки и осевого ее перемещения. Оправка перемещается циклично на заданную величину с точностью до 0,1 мм, через заданное количество оборотов челнока, в соответствии со скоростью наработки ткани.

Челнок. Прокладывает в образуемый из нитей основы круговой зев одну, две или три уточных нити, которые собственным натяжением прибивают нити основы к оправке и уплотняют опушку ткани. Ширителями, установленными на челноке, оптимизируется (увеличивается) угол зева, а

накладываются ограничения по натяжению утка, так как при прокладывании витков утка от наружной поверхности к внутренней они удерживаются только нитями основы. Такой порядок прокладывания уточных витков обеспечивает наличие так называемой "силовой ступени". Данная силовая ступень способна удержать уток фактически в одном месте опушки ткани при его натяжении в интервале от F_{\min} до F_{\max} (рис. 4).

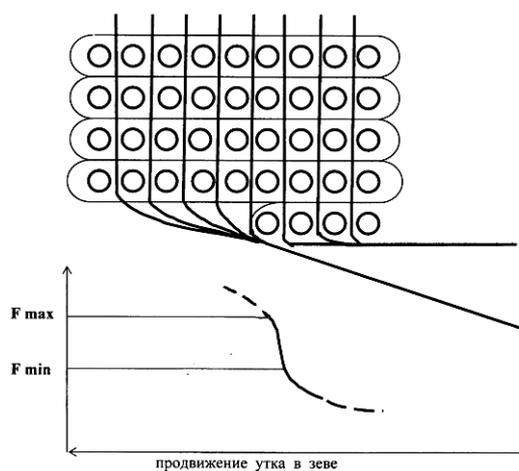


Рис. 4

При превышении утком F_{\max} произойдет необратимое искажение структуры из-за того, что утки, преодолев силовую ступень, сдвинут нити основы к оправке. В противном случае произойдет спонтанное увеличение толщины каркаса. Плавное изменение натяжения утка в пределах силовой ступени ведет к плавному изменению толщины каркаса без каких-либо сбоев структуры ткани. Повышенные требования при порядке II предъявляются к натяжению нитей основы.

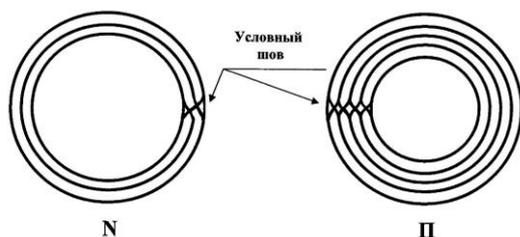


Рис. 5

Переход утка из слоя в слой происходит в зоне между зонами нитей основы первого

и последнего по порядку срабатывания механизмов зевобразования, может проявиться в виде небольшого рубчика и разряжения нитей основы, так называемого "условного шва" (рис. 5). Зона разряжения имеет тенденцию увеличиваться. Если не применять никаких мер, то ширина такого разряжения может достигать нескольких миллиметров, а у крупногабаритных каркасов – сантиметров.

Отработана технология устранения условного шва. На машинах МКТ установлены несколько механизмов зевобразования. Это дает возможность равномерно разносить условный шов между зонами этих механизмов. Для этого достаточно менять ведущий механизм зевобразования, что осуществляется повтором зева на этом механизме. Далее он становится последним в порядке формирования зева, а бывший последний становится ведущим. Место возможного условного шва переводится в соседнюю зону. Смену ведущего механизма зевобразования целесообразно производить через некоторое количество уточных настилов, при формировании которых условный шов не успевает значительно проявиться.

При смене ведущего механизма зевобразования уток в повторяющемся зеве сдвигается, из-за чего необходимо выбрать зев, при котором двойной уток окажется в месте, где не приведет к отрицательным последствиям.

Параметры армирования каркасов КТМК

Каркас ортогональной структуры многослойной ткани обеспечивает армирование в трех направлениях: в направлении образующей поверхности (z); в радиальном направлении (x); в кольцевом направлении (y). Название "многослойная" ткань – условное. Деление на слои также условное. Слой подразумевает ряд однонаправленных нитей.

Можно условно выделить следующие слои:

- слои в плоскостях zy – слои основы наполнительной, чередующиеся с уточными слоями (расположенные параллельно поверхностям каркаса, условно названы

"слоями");

- слои в плоскостях xy – слои основы перевязочной, чередующиеся с уточными слоями (расположенные в плоскостях, перпендикулярных к оси каркаса, условно названы "настилами");

- слои в плоскостях xz – слои основы наполнительной, чередующиеся со слоями основы перевязочной (расположенные радиально к оси и в направлении оси каркаса условно названы "пластами").

Плотностными характеристиками круглотканого многослойного каркаса являются плотности армирования по направлениям. Плотность армирования, характеризуется количеством однонаправленных нитей, расположенных перпендикулярно единице площади сечения (обычно, квадратному сантиметру):

- в направлении образующей (z) " P_o " (основы наполнительной);

- в кольцевом направлении (y) " P_k " (утков);

- в радиальном направлении (x) " P_p " (основы перевязочной).

Расчет плотностей армирования по направлениям:

$$P_o = P_x \cdot P_y ;$$

$$P_k = P_x \cdot P_z ;$$

$$P_p = P_y \cdot P_z ,$$

где P_x – плотность утков, а также наполнительной основы в радиальном (x) направлении, рассчитывается делением толщины (см) на количество слоев данного локального участка каркаса; P_y – плотность перевязочной основы, а также наполнительной основы в кольцевом (y) направлении, подсчитывается визуально; P_z – плотность утков, а также перевязочной основы в направлении образующей (z), подсчитывается визуально.

Толщина каркаса определяется в процессе наработки каркаса замером толщины опушки. Возможен замер проколом. Такие замеры применяют обычно при возникшей необходимости проведения контрольного замера толщины в готовом каркасе. Плотности нитей наполнительных и перевязочных нитей основы выполняются гарантиро-

ванно, так как задаются количеством рабочих нитей основы в механизмах зевообразования.

На образцах плотность армирования по направлениям может быть определена простым подсчетом количества нитей в каждом из направлений. Плотность каркаса может быть определена расчетом общей длины нитей L_o, L_k, L_p в 1 см^3 . Тогда плотность каркаса γ (масса единицы объема) в месте выреза испытуемого образца определяется в г/см^3 с учетом линейной плотности (текс) каждой из армирующих нитей по соотношению:

$$\gamma = \frac{T_o \cdot L_o + T_k \cdot L_k + T_p \cdot L_p}{100000} ,$$

где T_o, T_k, T_p – линейные плотности нитей трех направлений армирования.

Каркасы КТМК отличаются очень высокой плотностью армирования. Например, могут превосходить по плотности аналогичные плоскотканые каркасы до полутора раз. При изготовлении новых композиционных заготовок из углеродных нитей уплотнения каркасов КТМК практически не требуется. Прессование обычно применяется в минимальной степени для получения качественных поверхностей с усилием не более 8 кг/см^2 [12]. Вследствие этого в заготовке сохраняется высокое качество армирования, в особенности в кольцевом направлении.

Для волокон одинакового круглого сечения предельная степень заполнения объема каркаса волокнами (μ) возможна при параллельной укладке волокон в гексагональном (треугольном) порядке. В этом случае $\mu = 0,907$. При таких же условиях, но при прямоугольной укладке волокон $\mu = 0,785$. Для ортогональных структур ("ЗД") степень армирования значительно ниже. При условии одинакового круглого сечения нитей всех направлений армирования, при касании нитей $\mu \approx 0,47$ (даже при гексагональном расположении волокон в нитях). При прямоугольном сечении нитей (максимальная степень уплотнения структуры) $\mu \approx 0,60$. Если сечение нитей будет приближено к квадратному, то каждое из направлений армирования составит по 20%

объема [13]. Зная плотности армирования нитями по направлениям, можно приближенно рассчитать прочностные характеристики материала по каждому из направлений.

Осевое направление армирования Плотность нитей основы в слое определяется заданным количеством рабочих нитей (подвязей) в механизмах зевобразования. При проектировании каркаса КТМК обычно ориентируются на "теоретическую" плотность для нитей основы в слое (нити имеют круглое сечение и касаются друг друга). В расчете диаметры нитей устанавливают по их линейным плотностям с применением расчетных коэффициентов, каждый из которых соответствует конкретному материалу [14]. При отсутствии расчетного коэффициента для конкретной нити обычно применяют простой замер диаметра (без нажима) после максимальной подкрутки нити. В процессе отработки плотность оптимизируют обычно в пределах до 130 % от теоретической.

В процессе отработки технологии изготовления средне- и крупногабаритных каркасов применялись нити линейных плотностей от 600 до 2400 текс. Лучшие комплексные показатели осевого армирования каркасов получены с нитью линейной плотности 1200 текс. В качестве примера можно сравнить осевую прочность на растяжение при нитях с линейными плотностями 600 и 1200 текс. Так, при нитях с линейной плотностью 600 текс в конечном материале достигнута осевая прочность на растяжение 40÷50 МПа. При нитях с линейной плотностью 1200 текс эта же характеристика составляет 70÷90 МПа. Нити больших линейных плотностей ведут не редко к неудовлетворительной анизотропности материалов.

Применение нитей малых линейных плотностей оправдано при изготовлении малогабаритных каркасов с малыми толщинами. Так, при изготовлении миниатюрных каркасов оживальной формы, с внутренними диаметрами от 12 до 150 мм, с толщинами стенки от 1,5 до 3,5 мм, успешно применялись нити с линейной плотностью 200 текс. Следует подчеркнуть, что уменьшение диаметра нитей увеличивает трудоем-

кость изготовления каркаса (количество оборотов челнока) в квадратичной зависимости, что существенно отражается на производительности тихоходных машин, которыми являются машины МКТ (скорость челнока до 6 оборотов в минуту). При снижении линейной плотности наполнительной основы для той же толщины каркаса требуется большее количество слоев, что ухудшает качество каркасов – увеличивается волнистость наружной поверхности. Существенно также (в квадратичной зависимости, при снижении линейной плотности) увеличивается количество нитей основы, участвующих в процессе ткачества, что повышает обрывность, и соответственно увеличивает технологические расходы.

Кольцевое направление армирования Кольцевое направление армирования в каркасах КТМК формирует уток. Значительно натянутый уток образует концентричные витки. За счет этого в кольцевом направлении достигается максимальная степень реализации свойств волокон. Существенное влияние на кольцевую прочность оказывает также и то, что в качестве нитей утка обычно применяют углеродные высокопрочные нити (жгуты) УКН. Применение нитей УКН обусловлено необходимостью поддержания высокого натяжения нитей утка. Так, при изготовлении крупногабаритных каркасов натяжение нити утка может достигать до десяти килограммов. В настоящее время при формировании крупногабаритных каркасов диаметром более 1500 мм другие углеродные нити практически не используются, либо из-за недостаточной прочности, либо из-за недопустимых текстильных свойств. В зев одновременно вводятся до трех нитей утка. При формировании средне- и крупногабаритных каркасов применение в качестве утка единичной уточной нити не практикуется, так как в случае ее обрыва могут произойти необратимые деформации структуры.

Радиальное направление армирования Для деталей из новых углеродных композиционных материалов на основе каркасов КТМК повышенные требования зачастую предъявляют к прочностным свойствам

осевого и кольцевого направлений. Повышение их можно осуществить за счет уменьшения доли радиального армирования, если к межслоевой прочности требования не слишком велики. Оработаны и испытаны детали с армированием в радиальном направлении до 4% от массы каркаса. Применены перевязочные нити основы минимальной для машин МКТ линейной плотности, при этом количество перевязочных нитей может быть снижено в два раза (при шахматном порядке перевязки).

Получить максимальные прочностные свойства материалов на основе каркасов КТМК в осевом и кольцевом направлении позволило применение углеродных нитей утка и наполнительной основы с линейной плотностью 1200 текс и перевязочной основы с линейной плотностью 200 текс. Результаты такого армирования радиального направления в каркасах КТМК сопоставимы с известными положительными результатами испытаний аналогичных углеродных деталей французской фирмой Snesta. При достижении плотности радиального армирования до 3% в изделиях из углеродной ткани иглопробивным методом они получили заметный и достаточный прирост прочности на сдвиг в сравнении с двумерным каркасом.

Коэффициент смятия, плотностные параметры. Геометрическое состояние сечения нитей в каркасе показывает так называемые "коэффициенты смятия" нитей. Для многослойных тканей, в том числе для круглотканых каркасов, рассматриваются коэффициенты смятия в радиальном направлении $K_{см}^r$ (по толщине), в осевом направлении $K_{см}^o$ (по длине), в кольцевом направлении $K_{см}^k$ (по ширине). В качестве расчетной базы можно применить теоретическую плотность, когда подразумевается, что все нити ткани имеют круглое сечение и касаются соседних нитей. При этом коэффициенты смятия принимаются равными единице. В этом случае шаги армирования всех направлений (расстояние между центрами соседних нитей каждой из систем ткани) также приняты теоретическими. Коэффициент смятия рассчитывается как отношение теоретического шага армирования

к шагу армирования фактическому. Если сечение нитей приобретает овальную форму, вытянутую по данному направлению армирования, либо между нитями имеются зазоры, то коэффициент смятия в этом направлении меньше единицы. Соответственно шаг армирования в данном направлении больше теоретического. При превышении коэффициентом смятия единицы шаг армирования в данном направлении меньше теоретического. При увеличении коэффициента смятия во всех направлениях выше единицы сечение нитей приближается к квадратному, повышается плотность армирования. Коэффициент смятия зависит от величины натяжения утка, от натяжения нитей основы, от плотности нитей основы в слое, прочих технологических параметров.

Плотность нитей в кольцевом направлении задается с учетом их диаметров. Для каркасов КТМК в кольцевом направлении коэффициент смятия обычно варьируется до 1,3. За счет изменения коэффициента смятия в кольцевом направлении в процессе наработки каркаса имеется возможность изменения толщины каркаса, в том числе плавного.

Плотностные характеристики каркасов КТМК в осевом направлении зависят от уровня уплотнения слоев в опушке ткани. Это обусловлено тем, что на круглоткацких машинах МКТ уплотнение опушки ткани производится непосредственно утком, за счет его натяжения, в отличие от плоскоткацких машин, где плотность по утку и по основе формируется бердом (номером берда задается плотность по основе), который также прибавляет уток в опушке ткани, и товарным регулятором, который обеспечивает заданную скорость отвода ткани из зоны формирования, и этим формирует плотность утка.

Геометрические параметры каркаса

Толщина каркаса. Толщина каркаса КТМК задается количеством слоев, линейными плотностями нитей основы и реализованным коэффициентом смятия в радиальном направлении. Деталь с переменной толщиной можно изготовить из равнотолщинной заготовки механической обработкой.

кой. Детали сложного профиля изготавливают именно так. При этом допускаются существенные отходы дорогостоящего сырья, повышенная трудоемкость на изготовление каркаса и композита. Обычно изменения толщин деталей достаточно просты и могут быть заложены уже на стадии изготовления каркаса. При изготовлении каркаса переменной толщины применяют различные способы изменения толщины.

Отработан ступенчатый способ изменения толщины. Ступенчатое изменение толщины производится изменением количества слоев по толщине со стороны наружной поверхности выводом (вводом) системы (систем) нитей основы и устранением (добавлением) утка соответствующего слоя (слоев).

При ступенчатом изменении в сторону увеличения толщины обычно производится ввод по одному слою. Ступенчатое изменение в сторону уменьшения толщины можно производить выводом как поочередно каждого из слоев, так и одновременным выводом нескольких слоев. Минимальная высота ступени равна толщине одного слоя.

При ступенчатом уменьшении толщины на несколько слоев одновременно выводится такое же количество систем (слоев) нитей основы, количество утков по толщине уменьшается на такое же количество. Когда требуется сглаживание ступеньки, у каркасов ортогональной структуры можно разделить данную операцию на два этапа. Сначала, например, убирают наружный точный слой без вывода системы нитей наполнительной основы. При этом в наружном слое соединяются две системы наполнительных нитей основы. Нити основы наружной наполнительной основы выводят из каркаса через заданное количество настилов.

При незначительных изменениях толщины каркаса применяется способ плавного изменения толщины за счет коэффициента смятия, например, изменением плотности нитей в слое или простым изменением натяжения утка. Величина изменения толщины в данном случае зависит от пределов возможностей по коэффициенту смятия, а также от прочностных свойств

точных нитей. В небольших пределах изменять толщину возможно другими технологическими параметрами процесса ткачества, например, снижением натяжения нитей основы. Изменение толщины каркасов КТМК такими способами возможно приблизительно до 30%. Способы изменения толщин каркасов КТМК обычно совмещают.

Плотностные вводы-выводы нитей основы. Для поддержания плотности армирования и толщин каркасов КТМК с изменяемым диаметром возникает необходимость ввода-вывода дополнительных нитей основы (плотностные вводы-выводы нитей). Для предотвращения скачков плотности локальных участков каркаса плотностные вводы-выводы равномерно разносят по окружности и по длине каркаса. Несколько механизмов зевобразования на машине и наличие на каждом из них секторов позволяет осуществлять вводы-выводы достаточно равномерно. Вводы-выводы осуществляются поочередно на секциях, придерживаясь диаметального порядка. Такие вводы-выводы возможны при небольших углах конусности каркаса. При больших углах конусности вводы-выводы рекомендуется производить одновременно на двух диаметрально расположенных или на нескольких равномерно разнесенных секциях.

На каркасах с большим количеством слоев одновременный ввод-вывод всех нитей по толщине может привести к локальному нежелательному изменению плотности и толщины, а также к раздвижке нитей в структуре ткани. В этом случае производится поэтапный ввод нитей основы по толщине. Оптимальным является ввод по одной нити основы, начиная с внутреннего слоя, в каждом соседнем настиле. Однако для такого ввода, при большом угле конуса, может не хватить количества настилов в каркасе. В этом случае производится одновременный ввод двух, или нескольких нитей основы в один настил.

Волнистость наружной поверхности каркаса. Каркас нарабатывается на оправке, задающей его внутреннюю поверхность. Волнистость внутренней по-

верхности каркаса при наработке не допускается. Волнистость наружной поверхности каркаса в большей или в меньшей степени присутствует на всех каркасах КТМК. Волнистость тем больше, чем больше слоев в каркасе, причем в прогрессирующей зависимости. На волнистость каркаса оказывают влияние многие факторы, важнейшим из которых является натяжение утка. За время отработки технологии изготовления каркасов КТМК принципиально изменился подход к регулировке натяжения утка. Изначально отработывалась версия о необходимости максимально точного поддержания натяжения утка. Для этого были проведены работы по созданию электрического натяжного устройства. Попытки получить качественный каркас с помощью точного поддержания натяжения успеха не имели. Это можно объяснить невозможностью одновременного учета всех факторов, влияющих на процесс структурообразования: точность позиционирования опушки, скоростные режимы, диаметр уточных витков, толщина каркаса и многие другие, даже температура и влажность. Причем при изменении диаметра каркаса его натяжение необходимо также изменять, и при этом для разных типоразмеров каркасов алгоритм изменений сугубо индивидуален. Фактически равномерность толщины зависит от равновесного состояния всех элементов системы, участвующих в формировании каркаса. Любые отклонения от равновесия системы ведут к изменению толщины. С использованием натяжения утка, как инструмента в поддержании равновесия системы, был отработан способ, основанный на принципе поддержания номинальной толщины каркаса. Способ заключается в изменении натяжения утка в зависимости от фактической толщины опушки каркаса, для чего устанавливается номинальная толщина каркаса с двусторонними допусками. Контроль толщины опушки каркаса производится непрерывно. Если толщина каркаса становится больше номинальной, натяжение утка увеличивают. В противном случае – уменьшают. Это производится в пределах допустимой волнистости наружной поверхности.

Изменения каркаса в процессе жизненного цикла. При наработке на оправке у каркаса формируются первоначальные геометрические размеры и до съема с оправки остаются неизменными. После съема происходят релаксационные изменения. Увеличиваются длина и толщина. Через несколько суток релаксационные изменения прекращаются. Впоследствии каркас уплотняют или снаружи, или изнутри. Для плотной посадки каркаса на формообразующую оправку оправка для наработки каркаса подгоняется на величину релаксации каркаса. Последующий передел возможен без съема каркаса с оправки. В этом случае релаксация каркаса исключается.

Обрывность нитей основы и утка
Восстановление целостности основы и утка является первостепенной задачей для традиционного ткачества. Отсутствие одной нити в ткани зачастую считается браком. Контроль обрывности нитей основы и утка уделяется особое внимание. Для этого плоские ткацкие машины оборудованы устройствами автоматического останова при обрыве каждой из нитей основы и утка. Для машин МКТ устройства автоматического останова при обрыве каждой из нитей основы разрабатывались, но применения не нашли. Отсутствие некоторого рассредоточенного количества отсутствующих нитей основы (из нескольких тысяч) фактически не влияет на прочностные свойства. Останавливать машину для восстановления каждого обрыва нити основы нецелесообразно. Оработка технологического процесса изготовления каркасов показала достаточность визуального контроля обрывности работниками, обслуживающими центральную зону машины. При этом для каркасов устанавливается индивидуальный допуск пропусков (обрывности) нитей основы. Обычно предел допуска на обрывность нитей основы не превышает 3 % от количества рабочих нитей основы по рассредоточенным зонам, например, для каждого из шпулярников в отдельности, с запретом концентрации, например, одновременного отсутствия соседних нитей.

При обрыве нити утка автоматический останов челнока не требуется, так как на

машинах МКТ нити утка находятся под постоянным контролем работников, обслуживающих центральную зону машины, имеющих возможность быстрого ручного останова. Челнок движется со скоростью до шести оборотов в минуту и для останова челнока при обрыве нити утка вполне достаточно времени. При ликвидации обрыва целостность уточной нити восстанавливается.

Формование заготовок не круглого сечения. На машинах МКТ, за редким исключением, изготавливают каркасы КТМК в виде тел вращения. При последующих переделах имеется возможность получения заготовок, отличных от тел вращения. Формирование заданного сечения выполняется на формообразующих оправках. При этом внутренний диаметр каркаса на соответствующем уровне должен быть равен периметру желаемого профиля. Недостатком здесь является возможность появления заломов ткани, так как соответствие диаметра и периметра касается только внутренней поверхности каркаса. Более толстые каркасы подвержены этому в большей степени.

Толстостенные каркасы. На предприятии разработан способ получения каркаса с толщиной стенки, существенно превосходящей возможности заправочного количества нитей основы. Способ основан на возможности изготовления, так называемых, "ребристых" полотен, имеющих кольцевые выступы на поверхностях. При этом способе ребристые структуры нарабатывают друг на друга [15]. Выступы последующего полотна входят в углубления предыдущего полотна. Большое натяжение утка способствует заполнению углублений практически без пустот. Такой каркас, без разрезки, фактически является цельнотканым. Соединение ребристых поверхностей в композите не уступает межслойным сдвиговым характеристикам цельнотканого каркаса. Толщина одного полотна в данном случае устанавливается с учетом качества, производительности, оптимального количества рабочих нитей основы. Ограничения по толщине и по размерам накладывают только возможности центральной зоны машины МКТ.

Каркасы с кольцевыми ребрами и фланцами

На машинах МКТ возможна горизонтальная наработка каркаса, когда формирование ткани осуществляется от оправки в радиальном направлении. Это дает возможность наработки кольцевых ребер, монолитно связанных с каркасом КТМК. Для этого из каркаса в зоне планируемого ребра выводятся нити основы, из которых и формируют ребро. При дальнейшей наработке каркаса выведенные нити вводятся обратно. Таким образом, возможно формирование нескольких ребер на одном каркасе. Можно перед зоной ребра произвести ввод в каркас дополнительных нитей основы, которые в зоне ребра выводятся из каркаса [16].

Возможно формирование ребра у торца каркаса. В этом случае получается фланец. При необходимости посадки каркаса с фланцем на формообразующую оправку имеется возможность сохранения у торца каркаса части наполнительных нитей основы с целью использования их в натяжных приспособлениях [17].

При необходимости производят аппретирование ребер. Но обычно они имеют достаточную жесткость, которая позволяет производить последующие переделы без аппретирования или других дополнительных мероприятий.

Каркасы с саржевым эффектом

На предприятии проведены работы по созданию каркасов КТМК с диагональным рисунком на наружной поверхности. Диагональный рисунок создает саржевое переплетение. На многослойных тканях возможно создание саржевого эффекта на глубину нескольких слоев. На каркасах КТМК возможно получение саржевых структур. Саржевый рисунок на наружной поверхности и на требуемую глубину создается из перевязочных нитей основы. Технология изготовления таких каркасов опробована. Но, так как рисунок создают нити перевязочной основы минимально возможной для переработки линейной плотности, то для требуемого эффекта необходимо заменить их на более толстые, что существенно сни-

жает прочностные свойства материал-деталей.

Имитация саржи. На каркасах КТМК саржевый эффект можно получить точечными уплотнениями. Такие точечные уплотнения получаются выводом на наружную поверхность нитей основы в пределах одной ячейки или нескольких соседних ячеек. Уплотнение можно создать на любую глубину, например, созданием в заданных местах петель из одной или из нескольких наполнительных нитей основы от требуемого по глубине слоя к наружной поверхности и обратно. Саржевый эффект достигается за счет распределения уплотнений по диагонали с заданным углом к оси каркаса, с заданным расстоянием между диагоналями. По аналогии с имитацией саржевого эффекта локальными разряжениями имеется возможность формирования диагонального рисунка сочетанием локальных разряжений. Это достигается выборкой на заданную глубину нитей основы. Эффект усиливается при использовании одновременно уплотнений и разряжений [18].

Каркасы с винтовым армированием Максимально возможный саржевый эффект достигнут на каркасах КТМК с осевым армированием под углом к образующей (так называемые "винтовые" каркасы). Способ изготовления винтового каркаса основан на принудительном повороте оправки вокруг оси в какую-либо сторону. При этом равновесие сил при структурообразовании нарушается, нити основы стремятся сместиться в сторону, противоположную повороту оправки, чем и достигается армирование нитями наполнительной основы под углом относительно образующей каркаса. Величина угла достигается величиной поворота оправки. Величина поворота оправки ограничена. При обработке технологии изготовления конических винтовых каркасов из углеродных нитей был получен угол закрутки армирования до 10 градусов. Необходимо учитывать снижение осевой прочности, связанное с отклонением осевого армирования. Имеется возможность совмещения винтового каркаса с

каркасом нормального осевого армирования. В этом случае можно на каркас нормального осевого армирования наработать винтовой каркас, например, с ребристыми структурами, когда выступы на внутренней поверхности винтового полотна входят в углубления на наружной поверхности внутреннего полотна с нормальным армированием. Винтовые каркасы обычно достаточно стабильные, но для гарантированного сохранения геометрии применяется операция аппретирования, либо всего каркаса, либо точечно.

Удаление шлихты и аппретов из каркасов

Поставляемые нити в той или иной степени содержат замасливатели и шлихту. С целью повышения текстильных свойств перед переработкой на машинах МКТ углеродные нити подвергаются дополнительной обработке, в том числе аппретированию (шлихтованию). Наличие включений шлихты, замасливателей и аппрета (полиуретана) обычно ухудшает смачиваемость волокон структуры каркаса связующим при пропитке, и может существенно снизить качество пластика. Ухудшение качества пластика выражается в заниженном содержании матричного материала, в наличии пустот, непропитанных участков. На предприятии отработана технология удаления полиуретана и других включений из каркаса без потери массы углерода самих нитей. В воздушной среде каркас из углеродных нитей следует выдержать 30...60 мин при температуре 300...350°C. В результате окисления образуется остаток в количестве не более 5 % массовых от первоначального количества покрытий, то есть, в абсолютном выражении, не более 0,15 % от массы углеродных нитей в каркасе, что не повлияет на результаты последующих технологических операций и на конечные свойства изделий [19]. Повышение температуры не влечет существенного уменьшения остатка полиуретана, но резко повышает процесс окисления углеродных волокон, что недопустимо.

Следует отметить, что данная операция, выполненная непосредственно перед про-

питкой, позволяет также устранить излишнюю влагу, что способствует улучшению качества и повышению стабильности характеристик углепластиков.

При изготовлении новой композиционной углеродной заготовки не требуется проведения предварительной операции по удалению технологических включений из каркаса, так как процесс термообработки заготовки происходит при температуре вблизи 1000°C. Нити основы-перевязки имеют значительно меньший (в 2...3 раза модуль упругости [20], [21]. Нити имеют значительные отличия по коэффициенту линейного термического расширения (КЛТР). Все это придает композиту разные свойства по направлениям армирования [22].

Подготовка нитей к текстильной переработке

Для технических нитей, каковыми являются углеродные, кремнеземные и кварцевые, требуется подготовка к текстильной переработке на машинах МКТ для придания им требуемых свойств и геометрических параметров (достижение требуемой линейной плотности и схемы при трощении-кручении, обработка шлихтой, аппретами для придания необходимых текстильных свойств). Подготовка нитей к текстильной переработке осуществляется непосредственно на предприятии. На предприятии для этого разработан и эксплуатируется комплекс специального оборудования.

- Станок тростильно-крутильный, созданный на предприятии специально для углеродных нитей. Предназначен для трощения (соединения) двух нитей и подкрутки до 50 кручений на метр нити.

- Установка шлихтовальная, предназначенная для шлихтования (аппретирования) раствором полиуретана в ацетоне одновременно до 32 нитей, на каждой из двух сторон, линейной плотности от 100 до 1500 текс. Ацетон удаляется с помощью системы вентиляции. Температура в камере от 110 до 150 °С. Скорость протяжки нитей до 15 м в минуту в зависимости от необходимого времени полимеризации полиуретана.

- Станок для параллельной намотки утка на штатные паковки с регулируемым натяжением до 15 кгс.

- Станок для намотки основы на штатные паковки.

Технология для подготовки углеродных нитей, используемых на МКТ, отработана в достаточной степени. Технология подготовки кремнеземных и кварцевых нитей, нитей СВМ отработана экспериментально.

В Ы В О Д Ы

На предприятии "Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов" ("УНИИКМ"), г. Пермь, отработано новое направление ткачества – "бесприбойное" ткачество на уникальных машинах круглоткацких МКТ. Создано круглоткацкое производство. За время его существования отработана технология изготовления от миниатюрных до крупногабаритных каркасов КТМК и заготовок на их основе. Благодаря уникальным свойствам они применяются в ответственных деталях современных образцов ракетно-космической техники. Осуществляется серийное производство комплектов каркасов и заготовок. Поступают новые предложения и технические задания. Разрабатываются каркасы и заготовки для перспективных изделий.

Изложенное здесь свидетельствует о приоритете АО "УНИИКМ" в направлении создания круглотканых многослойных каркасов и уникальных композиционных материалов на их основе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Производство стеклянных волокон и тканей / Под ред. М.Д. Ходаковского. – М.: Химия, 1973.
2. Высокопрочные армирующие волокна // Обзорная информация / Сер. Промышл. хим. волокон. – М.: НИИТЭХИМ, 1983.
3. Углеродные волокна / Пер. с япон./ Под ред. С. Симамуры. – М.: Мир, 1987.
4. Сурнина Н. Ф. Технология и оборудование ткацкого производства. – М., 1981.
5. Текстильные материалы на основе углеродных волокон и методы определения их свойств//Об

зорная информация/Сер. Промышл. хим. волокон. – М.: НИИТЭХИМ, 1985.

6. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов. – М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 1998.

7. Пат. 2023073 Российская Федерация, С1 D03D11/00. Способ получения полой многослойной тканой заготовки / Р.В. Райков, В.Л. Бабанова, В.И. Еровенкова; заявл. 14.05.1991; опубл. 15.11.1994.

8. Пат. 2466219 Российская Федерация, С1 D03D11/00. Способ изготовления многослойной контурно-профильной ткани / И.Ю. Павлихина, В.Т. Сергеев, М.Н. Никулина, Т.Л. Доброва; заявл. 02.08.2011; действ. пат. 02.08.2011.

9. Pat. 3719210 US, МКИ D03d 37/00 CIRCULAR WEAVING APPARATUS PRODUCT AND PROCESS / Paul D. Emerson et al.; March 6, 1973.

10. Пат. 2748556 Российская Федерация, D03C 11/00 Устройство для образования зева ткацкой машины / Е.В. Лапин, В.И. Тестов, В.М. Бушуев; заявл. 11.12.2019; действ. пат. 11.12.2019.

11. Пат. 2130093 Российская Федерация, D03d 37/00 Способ изготовления тканых оболочек / Е.В. Лапин; заявл. 02.03.1998; действ. пат. 02.03.1998.

12. Изготовление деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов // Руководящие технические материалы РТМ-1.4.401-78. – М.: НИИТ, ВИАМ, 1979.

13. Тарнопольский Ю.М., Жигун И.Г., Поляков В.А. Пространственно-армированные композиционные материалы. – М.: Машиностроение, 1987.

14. Гордеев В.А., Арефьев Г.И., Волков П.В. Ткачество. – М.: Легкая индустрия, 1970.

15. Пат. 2707100 Российская Федерация, D03d 37/00 Полое изделие в виде тканого полотна, способ его формирования и способ формирования на его основе толстостенного изделия, в том числе крупногабаритного / Е.В. Лапин, В.М. Бушуев, А.А. Черепанов, А. М. Шагеев; заявл. 14.06.2019; действ. пат. 14.06.2019.

16. Пат. 2713990 Российская Федерация, D03d 37/00 Цельнотканая многослойная оболочка с ребрами жесткости и способ ее формирования / Е.В. Лапин, В.М. Бушуев, А.А. Черепанов; заявл. 14.06.2019; действ. пат. 14.06.2019.

17. Пат. 2714146 Российская федерация, D03d 37/00 Цельнотканая многослойная оболочка с фланцем и способ ее формирования / Е.В. Лапин, В.М. Бушуев, А.А. Черепанов; заявл. 31.08.2019; действ. пат. 31.08.2019.

18. Пат. 2751123 Российская федерация, D03d 1/00, D03d 11/00, D03d 23/00 Полая многослойная тканая заготовка объемной структуры с имитацией саржевого эффекта и способ ее изготовления / Е.В. Лапин, А.А. Черепанов, В.М. Бушуев; заявл. 11.12.2019; действ. пат. 11.12.2019.

19. Щурик А.Г., Чунаев В.Ю., Пуков П.В. Окисление углеродных материалов и покрытия на углеродных волокнах // Вестник ПГТУ Аэрокосмическая техника. – 2006, № 25. С. 135...140.

20. Пат. 2201893 Российская Федерация, С01В 31/00, С04В 35/52. Композиционный материал / А.Г. Щурик, Е.В. Лапин, П.Г. Удинцев, В.Ю. Чунаев; заявл. 19.09.2000; действ. пат. 19.09.2000.

21. Пат. 2201894 Российская федерация, С01В 31/00, С04В 35/52. Композиционный материал / А.Г. Щурик, Е.В. Лапин, П.Г. Удинцев, В.Ю. Чунаев; заявл. 19.09.2000; действ. пат. 19.09.2000.

22. Щурик А.Г. Искусственные углеродные материалы. – Пермь, 2009.

REFERENCES

1. Production of glass fibers and fabrics / Ed. M.D. Khodakovsky. - M.: Chemistry, 1973.

2. High-strength reinforcing fibers // Overview information / Ser. Industrial chem. fibers. – M.: НИТЕХИМ, 1983.

3. Carbon fibers / Per. from Japanese / Ed. S. Simamura. – M.: Mir, 1987.

4. Surnina N. F. Technology and equipment of weaving production. - M., 1981.

5. Textile materials based on carbon fibers and methods for determining their properties//Overview information/Ser. Industrial chem. fibers. – M.: НИТЕХИМ, 1985.

6. Bulanov I.M., Vorobey V.V. Technology of rocket and aerospace structures from composite materials. – M.: Ed. MSTU im. Bauman, 1998.

7. Pat. 2023073 Russian Federation, С1 D03D11/00. The method of obtaining a hollow multilayer woven blank / R.V. Raikov, V.L. Babanova, V.I. Erovenkov; dec. May 14, 1991; publ. 11/15/1994.

8. Pat. 2466219 Russian Federation, С1 D03D11/00. Method for manufacturing multilayer contour-profile fabric / I.Yu. Pavlikhin, V.T. Sergeev, M.N. Nikulina, T.L. Dobrov; dec. 08/02/2011; action Pat. 08/02/2011.

9. Pat. 3719210 US, МКИ D03d 37/00 CIRCULAR WEAVING APPARATUS PRODUCT AND PROCESS / Paul D. Emerson et al.; March 6, 1973

10. Pat. 2748556 Russian Federation, D03C 11/00 Device for forming the throat of a weaving machine / E.V. Lapin, V.I. Testov, V.M. Bushuev; dec. 12/11/2019; action Pat. 12/11/2019.

11. Pat. 2130093 Russian Federation, D03d 37/00 Method for manufacturing woven casings / E.V. Lapin; dec. 03/02/1998; action Pat. 03/02/1998.

12. Manufacture of parts and assemblies from polymer composite materials // Guiding technical materials РТМ-1.4.401-78. – М.: НИИТ, ВИАМ, 1979.

13. Tarnopolsky Yu.M., Zhigun I.G., Polyakov V.A. Spatially reinforced composite materials. - M.: Mashinostroenie, 1987.

14. Gordeev V.A., Arefiev G.I., Volkov P.V. Weaving. – M.: Light industry, 1970.

15. Pat. 2707100 Russian Federation, D03d 37/00 A hollow product in the form of a woven fabric, a method for its formation and a method for forming a thick-walled product on its basis, including a large-sized one

/E.V. Lapin, V.M. Bushuev, A.A. Cherepanov, A. M. Shageev; dec. 06/14/2019; action Pat. 06/14/2019.

16. Pat. 2713990 Russian Federation, D03d 37/00 Solid-woven multilayer shell with stiffeners and method of its formation / E.V. Lapin, V.M. Bushuev, A.A. Cherepanov; dec. 06/14/2019; action Pat. 06/14/2019.

17. Pat. 2714146 Russian Federation, D03d 37/00 Solid-woven multilayer shell with a flange and method of its formation / E.V. Lapin, V.M. Bushuev, A.A. Cherepanov; dec. 08/31/2019; action Pat. 08/31/2019.

18. Pat. E.V. Lapin, A.A. Cherepanov, V.M. Bushuev; dec. 12/11/2019; action Pat. 12/11/2019.

19. Shchurik A.G., Chunaev V.Yu., Pukov P.V. Oxidation of carbon materials and coatings on carbon fibers // Bulletin of PSTU Aerospace engineering. - 2006, No. 25. S. 135 ... 140.

20. Pat. 2201893 Russian Federation, C01B 31/00, C04B 35/52. Composite material / A.G. Shchurik, E.V. Lapin, P.G. Udintsev, V.Yu. Chunaev; dec. 09/19/2000; action Pat. 09/19/2000.

21. Pat. 2201894 Russian Federation, C01B 31/00, C04B 35/52. Composite material / A.G. Shchurik, E.V. Lapin, P.G. Udintsev, V.Yu. Chunaev; dec. 09/19/2000; action Pat. 09/19/2000.

22. Shchurik A.G. Artificial carbon materials. - Perm, 2009.

Рекомендована заседанием Президиума НТС АО "УНИИКОМ". Поступила 15.10.21.