



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B29C 70/24 (2020.08); B29C 70/28 (2020.08); B29B 11/16 (2020.08); B29B 15/08 (2020.08); D04H 3/10 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2019132236, 11.10.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.10.2019

Дата регистрации:
16.11.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.10.2019

(45) Опубликовано: 16.11.2020 Бюл. № 32

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
ООО "МИЦ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА",
Орлову М.А.

(72) Автор(ы):

Нелюб Владимир Александрович (RU),
Орлов Максим Андреевич (RU),
Калинников Александр Николаевич (RU),
Бородулин Алексей Сергеевич (RU),
Поликарпова Ирина Александровна (RU),
Богачев Вячеслав Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана
(национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2609168 C2, 30.01.2017. WO
9810128, 12.03.1998. RU 2555688 C2, 10.07.2015.
RU 2504478 C2, 20.01.2014.

(54) Способ изготовления многослойной волокнистой заготовки плоской формы

(57) Реферат:

Изобретение относится к области изготовления преформ изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) - заготовок на основе армирующих волокон. Изобретение относится к способу изготовления многослойной волокнистой заготовки плоской формы, состоящему в создании трехмерной структуры из слоев армирующих волокон путем автоматизированной направленной нашивки по TFP-технологии первого слоя к подложке, скрепленного с последующими слоями фиксирующими нитями зигзагообразной строчки, и последующей пропитки образовавшегося каркаса связующим, причем плотность укладки слоев армирующих волокон, характеризующая расстояние между слоями, составляет 58 условных единиц, при 1 у.е. = 0,05 мм для управляющей программы вышивальным оборудованием, длина

зигзагообразного стежка - шага прошивки фиксирующей нити, составляет 7 мм при ширине стежка, равной 5 мм, при этом направление укладки слоев армирующего волокна задают по схеме: [0°, +45°, 90°, -45°], которая повторяется каждые 4 слоя при наборе требуемой толщины преформы. Технический результат в виде оптимизации указанного технологического процесса достигается тем, что при изготовлении преформ изделий из ПКМ используют постоянные параметры операции нашивки слоев заготовки: плотность укладки, длину и ширину зигзагообразного стежка при изменяющейся ориентации слоев укладки, которые в результате обеспечивают наибольшую скорость пропитки структурного каркаса и качество образовавшегося композита. Изобретение может быть использовано в базовых отраслях

промышленности, таких как авиастроение, космическая отрасль, энергетика, судо- и автомобилестроение, для производства деталей

и их компонентов из ПКМ, которые могут выдерживать экстремальные механические нагрузки. 4 з.п. ф-лы, 3 табл., 2 ил.

R U 2 7 3 6 3 6 7 C 1

R U 2 7 3 6 3 6 7 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

B29C 70/24 (2006.01)*B29C 70/28* (2006.01)*B29B 11/16* (2006.01)*B29B 15/08* (2006.01)*D04H 3/10* (2012.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

B29C 70/24 (2020.08); *B29C 70/28* (2020.08); *B29B 11/16* (2020.08); *B29B 15/08* (2020.08); *D04H 3/10* (2020.08)

(21)(22) Application: 2019132236, 11.10.2019

(24) Effective date for property rights:
11.10.2019

Registration date:
16.11.2020

Priority:

(22) Date of filing: 11.10.2019

(45) Date of publication: 16.11.2020 Bull. № 32

Mail address:

105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
OOO "MITS MGTU IM. N.E. BAUMANA",
Orlovu M.A.

(72) Inventor(s):

Nelyub Vladimir Aleksandrovich (RU),
Orlov Maksim Andreevich (RU),
Kalinnikov Aleksandr Nikolaevich (RU),
Borodulin Aleksej Sergeevich (RU),
Polikarpova Irina Aleksandrovna (RU),
Bogachev Vyacheslav Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E.Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"
(MGTU im. N.E. Bauman) (RU)

(54) METHOD FOR MANUFACTURING A MULTILAYER FIBROUS WORK PIECE OF FLAT SHAPE

(57) Abstract:

FIELD: manufacturing technology.

SUBSTANCE: invention relates to production of preforms of articles from polymer composite materials (PCM)—blanks based on reinforcing fibers. Invention relates to a method for manufacturing a multilayer fibrous work piece of flat shape, consisting in creation of three-dimensional structure from layers of reinforcing fibers by means of automated directed strip according to TFP-technology of first layer to substrate, fixed with subsequent layers of fixing threads of zigzag line, and further impregnation of formed frame with binder, wherein density of laying layers of reinforcing fibers, characterizing spacing between layers, is 58 standard units, with 1 standard unit = 0.05 mm for control program by embroidery equipment, length of zigzag stitch—thread pitch of fixing thread is 7 mm with stitch width equal to 5 mm, at that direction of laying layers of reinforcing fiber is set according to pattern: [0°, +45°,

90°, -45°], which is repeated every 4 layers when selecting required thickness of preform. Technical result in the form of optimization of the specified technological process is achieved due to that during production of preforms of products from PCM there are constant parameters of operation of striping of workpiece layers: stacking density, length and width of the zigzag-like stitch at varying orientation of laying layers, which result in maximum impregnation speed of the structural frame and quality of the formed composite.

EFFECT: invention can be used in basic industries, such as aircraft engineering, space industry, power engineering, shipbuilding and automotive industry, for production of parts and their components from PCM, which can withstand extreme mechanical loads.

5 cl, 3 tbl, 2 dwg

Изобретение относится к области изготовления преформ изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) - заготовок на основе армирующих волокон. Изобретение может быть использовано в базовых отраслях промышленности, таких как авиастроение, космическая отрасль, энергетика, судо- и автомобилестроение для
 5 производства деталей и их компонентов из ПКМ, которые могут выдерживать экстремальные механические нагрузки.

Усиленные изделия из ПКМ изготавливаются на основе заготовки-преформы после укладки необходимого количества слоев армирующих волокон, помещения заготовки в оснастку, пропитки связующим материалом на основе полимеров и/или смол и
 10 последующего отверждения. При этом зафиксированная направленность армирующих волокон имеет решающее влияние на жесткость и прочность целевого изделия.

Одним из возможных путей обеспечения предъявляемым требованиям к ориентации волокон в соответствии с силовой нагрузкой на изделия в целом и их конструктивные элементы является TFP-технология (Tailored Fiber Placement - направленная укладка
 15 волокна). TFP-технология включает в себя укладку волокнистых слоев-прядей («пучки» или «жгуты» волокон), которые, в свою очередь, формируются из множества отдельных, армирующих волокон, проходящих параллельно друг другу по требуемой, как правило криволинейной, траектории, и их крепление с помощью фиксирующей нити на несущем слое основания заготовки. Обычно TFP-технология реализуется с помощью
 20 универсальных швейных или вышивальных машин с числовым программным управлением (ЧПУ). Следствием обозначенного механического армирования является направленная ориентация отдельных волокнистых прядей, которая оптимальным образом соответствует направлению нагрузки, действующей на изделие в рабочем состоянии.

В патенте RU 2401740 описан способ изготовления одно- или многослойной волокнистой заготовки согласно TFP-технологии. Способ формирования волокнистой заготовки-преформы включает в себя следующие операции: укладку и закрепление
 25 волокнистых прядей на гибком и эластичном основании посредством фиксирующей нити, пропущенной через швейную головку швейной или вышивальной машины с ЧПУ; введение фиксирующей нити в основание посредством иглы, установленной на швейной
 30 головке, причем в результате введения фиксирующей нити в основание образуются петли фиксирующих нитей плотно удерживаются в основании; снятие сформированной волокнистой заготовки с основания. Для того чтобы сформировать законченный композитный компонент, после отделения от основания волокнистая заготовка
 35 отверждается посредством известной RTM-технологии ("Resin Transfer Molding" - "Трансферного Формования Пластмасс"). С этой целью волокнистая заготовка насыщается или пропитывается отверждаемым полимерным материалом, например полиэфирной смолой, эпоксидной смолой или им подобной.

В патенте RU 2388599 описано устройство, посредством которого по TFP - технологии
 40 можно изготавливать волокнистую заготовку, которая имеет по существу любую заданную геометрию поверхности, в частности, отличающуюся от плоской формы. При этом в заготовке армирующие волокна по существу ориентированы в соответствии с действием нагрузки благодаря тому, что швейная головка и/или направляющие средства могут быть позиционированы в пространственном направлении z.

В патенте US 7942993 предложен способ, с помощью которого можно по TFP-технологии изготавливать заготовки из многослойного адаптированного волокна
 45 любой толщины. Для этого армирующие волокна пришивают к опоре фиксирующими нитями, в результате чего образуется заданная структура преформы из армирующего

волокна. Затем фиксирующие нити в волокнистой заготовке химически растворяют или термически расплавляют и тем самым происходит отделение преформы от несущей тканой основы.

В заявках US 2010/0126652 A1 и US 2009/0229761 A1 описывается способ и
 5 соответственно устройство для изготовления волокнистых заготовок, посредством которых можно выполнять требование ориентации волокон в изготавливаемом конструктивном элементе в соответствии с нагрузкой. При этом применяется TFP-технология, по которой нити или жгуты волокон выкладываются в направлении вдоль произвольного, действующего на готовый конструктивный элемент, силового
 10 потока, и посредством фиксирующих ниток предварительно фиксируются. Для этого применяются швейно-вязальные автоматы с ЧПУ, которые используются в текстильной промышленности.

Необходимо отметить, что известные способы изготовления волокнистых заготовок-преформ с комплексными трехмерными структурами, являются всегда технически
 15 трудоемкими и дорогостоящими.

В патенте RU 2583017 описан один из возможных путей изготовления волокнистых заготовок, который связан с применением так называемых нетканых материалов с многоосным расположением волокон. Под указанными материалами понимаются конструкции из нескольких расположенных друг на друге нитяных пластов, причем
 20 эти пласты состоят из множества расположенных параллельно друг другу армирующих ниток. Расположенные друг на друге пласты ниток могут соединяться друг с другом и фиксироваться друг относительно друга посредством множества расположенных рядом и проходящих параллельно друг другу и образующих петли швейных или трикотажных ниток, так что нетканый материал с многоосным расположением волокон
 25 таким образом стабилизируется. Пласты ниток уложены друг на друга так, что армирующие волокна этих пластов ориентированы параллельно друг другу или попеременно перекрещиваясь (например, -45° ; 0° ; $+45^\circ$).

В многослойном нетканом полотне по данному изобретению можно применять в качестве армирующих волокон обычно используемые для получения усиленных
 30 композиционных материалов армирующие волокна или нити. Предпочтительно в случае комплексной армирующей нити речь идет о нити из углеродного волокна, а также стекловолокна или арамидной нити, или о вытянутой UHMW-полиэтиленовой нити. Принимая во внимание высокий уровень механических свойств получаемого конструктивного элемента предпочтительно, чтобы армирующие нити внутри слоя из
 35 комплексных армирующих нитей располагались параллельно друг другу и лежали друг около друга. Этим можно достичь высокой объемной доли волокон и избежать наличия в конструктивном элементе зон с низким содержанием волокон.

Для того чтобы у многослойного нетканого полотна по патенту RU 2583017, в частности, при впрыскивании пропитывающей смолы, получить высокую стабильность
 40 и избежать нежелательного смещения усиленных слоев, в предпочтительном варианте осуществления данного изобретения слои из комплексных армирующих нитей и по меньшей мере один слой нетканого материала соединены друг с другом с помощью расположенных параллельно друг к другу и отстоящих друг от друга на ширину стежка, образующих петли швейных нитей или трикотажных нитей, и фиксированы относительно
 45 друг друга. При этом авторами было установлено, что особенно хорошего уровня прочности конструктивного элемента из композиционного материала достигают, если длина стежка s образованных швейной нитью петель в зависимости от ширины стежка w , а также от угла α_1 армирующих нитей в мультиаксиальном многослойном нетканом

полотне удовлетворяет следующим соотношениям (I) и (II):

$$2 \text{ мм} \leq s \leq 4 \text{ мм} \quad (\text{I})$$

$$s = n \cdot B \cdot \frac{w \cdot |\tan \alpha_1|}{2,3} \quad (\text{II})$$

При этом множитель B может принимать значение в области $0,9 \leq B \leq 1,1$, и n значение 0,5, 1, 1,5, 2, 3 или 4, при этом также для маленьких значений $w \cdot |\tan \alpha_1|/2,3$ ширина стежка s находится в требуемой для уравнения (I) области. Ширина стежка w , то есть расстояние между швейными нитями, при этом указана в мм.

По изобретению длина стежка может находиться в диапазоне от 2 мм до 4 мм. При длине стежка выше 4 мм не обеспечивается достаточная стабильность многослойного нетканого полотна, ниже 2 мм могут встречаться большое число пустых участков в материале.

Нетканые материалы с многоосным расположением волокон являются трудоемкими в изготовлении и, в общем случае, изготавливаются со стандартными значениями ширины, которые редко соответствуют размерам получаемого позднее конструктивного элемента. В результате этого возникает значительная доля обрезков. Кроме того, они только ограниченно применимы, в частности, при изготовлении конструктивных элементов с небольшими радиусами кривизны, так как нетканые материалы с многоосным расположением волокон не могут драпироваться произвольным образом. Кроме того, наблюдалось, что швейные или соответственно трикотажные нитки часто могут приводить к уменьшению ударной вязкости получающегося в результате композитного материала.

В патенте РФ №2562490 отмечается, что недостатком структур заготовок, подобным описанным выше, является относительно высокая доля материала, который не состоит из армирующих волокон и тем самым не способствует прочности получаемого в итоге конструктивного элемента. Матричный материал относится к общему количеству армирующих волокон и нетканого материала, так что относительно объема конструктивного элемента получается меньшее содержание армирующих волокон в конструктивном элементе и соответственно меньшая прочность конечного изделия.

В патенте РФ №2370368 отмечается, что с фиксирующей нитью и опорным слоем TFR-технология вводит в волокнистую заготовку два элемента, которые в последующем композитном компоненте уже больше не выполняют никакой функции, в частности опорной функции. По мнению авторов, как опорный слой, так и фиксирующие нити вызывают проблемы в плане реализации идеальной последовательности слоев, а, кроме того, представляют собой достаточно заметную часть в общем весе, особенно если несколько волокнистых форм устанавливаются друг на друга, или если однослойные волокнистые заготовки большой толщины материала образованы множеством волокнистых пряжей, лежащих одна поверх другой. В соответствии с полезным усовершенствованием способа по указанному изобретению, фиксирующая нить или фиксирующие нити и/или опорный слой или опорные слои выполнены из материала, который может быть удален химическим или физическим путем, в частности из материала, который может быть растворен. Для этого в качестве возможного растворителя, пропускаемого через фиксирующее устройство, предлагается использовать дистиллированную воду.

В патенте РФ №2609168, выбранном в качестве прототипа, описан способ изготовления преформы, пропитанной термопластичным полимером, которая содержит

основу и чередование слоев волоконных прядей и термопластичных нитей. Согласно изобретению однонаправленное волокно по TFP-технологии пришивают зигзагообразной фиксирующей нитью на основу. Затем, на слой волокон укладывают

5 слой термопластичного полимера, представляющего собой термопластичные нити. Затем снова укладывают и пришивают слой однонаправленных волокон, причем фиксирующими нитями снова прошивают совокупность всех слоев вплоть до основы. Таким образом поочередно укладывают слои полимерных нитей и волокна до получения требуемого количества слоев, при этом предпочтительно позиционируя термопластичные нити в одном направлении с армирующими волокнами. В соответствии с вариантами изобретения армирующие волокна могут представлять собой, например, углеродные волокна или пряди углеродных волокон, а фиксирующие нити представляют

10 стеклянные, углеродные, арамидные (марки Kevlar) или базальтовые нити. При этом ориентация армирующих волокон и свойства могут меняться от слоя к слою.

К преимуществам предлагаемого технического решения авторы относят то, что его производительность выше производительности известного способа пропитки и сшивания по RTM-технологии, поскольку предлагаемый способ имеет меньшее время рабочего цикла.

15

Во всех представленных в разделе «уровень техники», включая прототип, нашивных материалах для каждой схемы армирования заготовки существует свой оптимум шага и плотности нашивки слоев волокон и их ориентации в зависимости от задаваемых прочностных свойств и тем самым назначения целевого изделия из ПКМ. Одним из критериев технологичности процесса изготовления подобных изделий является его производительность, связанная в том числе со временем или скоростью пропитки преформ связующим, а также качество пропитки.

20

Технической задачей изобретения является подбор оптимальных параметров этапов формирования многослойных заготовок плоской формы путем нашивки, снятие преформ с подложки и их пропитки связующим.

25

Технический результат в виде оптимизации указанного технологического процесса достигается тем, что при изготовлении преформ изделий из ПКМ используют постоянные параметры операции нашивки слоев заготовки: плотность укладки, длину и ширину зигзагообразного стежка, при изменяющейся ориентации слоев укладки, которые в результате обеспечивают наибольшую скорость пропитки структурного каркаса и качество образовавшегося композита.

30

Сущность изобретения состоит в следующем.

При изготовлении преформ изделий из ПКМ способом автоматизированной нашивки углеродного ровинга на подложку на конечные прочностные и весовые характеристики готовых изделий или их компонентов влияют как схема укладки и свойства применяемых при изготовлении преформы материалов (углеродные и арамидные волокна, водорастворимая подложка), так и параметры самой операции нашивки слоев преформ на вышивальном оборудовании.

35

40

К таким параметрам относятся плотность укладки ровинга и длина стежка арамидной нити (шаг прошивки), задаваемые при разработке управляющей программы вышивального оборудования. Плотность укладки характеризуется расстоянием между углеродными волокнами: чем оно меньше, тем укладка плотнее, а значение плотности укладки, выставяемое в обычно используемой для этого программе GIS BasePac, меньше. Чем больше расстояние между углеродными волокнами, тем выше значение плотности укладки, и укладка считается менее плотной. Данная величина в программе GIS BasePac не имеет размерности и обозначается через условные единицы (у.е.).

45

Авторами заявляемого изобретения на основе проведенного ими исследования параметров нашивки материала и формирования структуры преформ, в том числе с учетом конкретной ориентации армирующих слоев, предложено технического решения для особого случая, когда образцы многослойной волокнистой заготовки имеют

5 плоскую форму. При этом авторами исследованы характеристики технологических действий в совокупности влияющих на качество пропитки преформ связующей полимерной массой и, как следствие, определяющих прочностные свойства целевого изделия.

В результате проведенных экспериментальных исследований авторами было

10 установлено, что оптимальными параметрами операции нашивки слоев при изготовлении преформ образца плоской формы (200×300 мм при толщине 4 мм, количество слоев (n) равно 8) являются для плотности укладки 2,75-2,90 мм или для управляющей программы вышивальным оборудованием - 55-58 условных единиц, при 1 у.е.=0,05 мм, а длина зигзагообразного стежка- шага прошивки фиксирующей нити составляет 5-7 мм при

15 ширине стежка равной 5 мм, с формированием слоев с ориентацией укладки армирующих волокон по упрощенной схеме [0°, 90°]. При этом оптимальными параметрами являются плотность укладки 58 у.е. (2,90 мм) при шаге 7 мм. Результаты исследования приведены в таблице 1 для пропитки связующим на основе эпоксидных смол (их двух-компонентных систем) под торговой маркой Araldite 8615 с помощью установки RTM

20 Radius, что было также подтверждено и для других связующих, на примере SR8100 и ЭД-20.

25

30

35

40

45

Таблица 1.

Образцы					
Наименование образца	Образец 1.1.	Образец 1.2.	Образец 1.3.	Образец 1.4.	Образец 1.5.
Время выхода связующего	57	57	58	59	56
Время выхода воздуха	63	64	66	70	63
Наименование образца	Образец 2.1.	Образец 2.2.	Образец 2.3.	Образец 2.4.	Образец 2.5.
Время выхода связующего	57	58	59	56	56
Время выхода воздуха	63	66	70	62	63
Наименование образца	Образец 3.1.	Образец 3.2.	Образец 3.3.	Образец 3.4.	Образец 3.5.
Время выхода связующего	52	53	52	55	52
Время выхода воздуха	58	58	59	62	60
Наименование образца	Образец 4.1.	Образец 4.2.	Образец 4.3.	Образец 4.4.	Образец 4.5.
Время выхода связующего	54	53	52	54	52
Время выхода воздуха	60	59	58	59	58
Наименование образца	Образец 5.1.	Образец 5.2.	Образец 5.3.	Образец 5.4.	Образец 5.5.
Время выхода связующего	52	51	53	51	52
Время выхода воздуха	58	59	59	57	57
Наименование образца	Образец 6.1.	Образец 6.2.	Образец 6.3.	Образец 6.4.	Образец 6.5.
Время выхода связующего	42	41	42	43	41
Время выхода воздуха	47	47	48	49	46
Наименование образца	Образец 7.1.	Образец 7.2.	Образец 7.3.	Образец 7.4.	Образец 7.5.

	Время выхода связующего	37	40	36	37	40
5	Время выхода воздуха	40	43	43	44	45
	Наименование образца	Образец 8.1.	Образец 8.2.	Образец 8.3.	Образец 8.4.	Образец 8.5.
	Время выхода связующего	42	40	39	41	41
10	Время выхода воздуха	57	55	54	55	56
	Наименование образца	Образец 9.1.	Образец 9.2.	Образец 9.3.	Образец 9.4.	Образец 9.5.
15	Время выхода связующего	56	57	58	58	57
	Время выхода воздуха	62	62	63	65	63
	Наименование образца	Образец 10.1.	Образец 10.2.	Образец 10.3.	Образец 10.4.	Образец 10.5.
20	Время выхода связующего	38	39	40	40	40
	Время выхода воздуха	43	44	45	44	45
25	Наименование образца	Образец 11.1.	Образец 11.2.	Образец 11.3.	Образец 11.4.	Образец 11.5.
	Время выхода связующего	35	33	33	33	35
30	Время выхода воздуха	38	35	34	33	35
	Наименование образца	Образец 12.1.	Образец 12.2.	Образец 12.3.	Образец 12.4.	Образец 12.5.
	Время выхода связующего	55	54	54	56	53
35	Время выхода воздуха	65	63	64	64	65

где

Образцы 1.1 - 1.5

Параметры нашивки:

- шаг стежка - 4 мм;
- плотность укладки - 50;

Образцы 2.1 - 2.5

Параметры нашивки:

- шаг стежка - 4 мм;
- плотность укладки - 55;

Образцы 3.1 - 3.5 Параметры нашивки:

- шаг стежка - 4 мм;
- плотность укладки - 58;

Образцы 4.1 - 4.5

Параметры нашивки:

- шаг стежка - 4 мм;
- плотность укладки - 60;

5 Образцы 5.1-5.5

Параметры нашивки:

- шаг стежка - 5 мм;
- плотность укладки - 50;

Образцы 6.1 - 6.5

10 Параметр нашивки:

- шаг стежка - 5 мм;
- плотность укладки - 55;

Образцы 7.1 - 7.5.

Параметры нашивки:

- 15
- шаг стежка - 5 мм;
 - плотность укладки - 58;

Образцы 8.1 - 8.5

Параметры нашивки:

- 20
- шаг стежка - 5 мм;
 - плотность укладки - 60;

Образцы 9.1 -9.5

Параметры нашивки:

- 25
- шаг стежка - 7 мм;
 - плотность укладки - 50;

Образцы 10.1-10.5

Параметры нашивки:

- шаг стежка - 7 мм;
- плотность укладки - 55;

Образцы 11.1 - 11.5

30 Параметр нашивки:

- шаг стежка - 7 мм;
- плотность укладки - 58;

Образцы 12.1-12.5

Параметры нашивки:

- 35
- шаг стежка - 7 мм;
 - плотность укладки - 60;

Предлагаемый способ изготовления преформ состоит из следующих операций:

1) виртуальный раскрой модели изделия на слои;

40 2) написание управляющей программы нашивки каждого слоя в специализированной программе GIS BasePac 8;

3) изготовление преформы на вышивальной машине;

4) отделение подложки от преформы вымыванием;

5) сушка преформы;

6) контроль размеров и массы преформы.

45 7) пропитка под давлением преформы полимерным связующим в жесткой оснастке;

8) полимеризация образца.

На фигуре 1 показан послойный виртуальный раскрой модели образца. Нити углеродного волокна (ориентация): позиции 1-[0°], 2- [90°], 3- [+45°], 4-[-45°]. Нити

прошивки (арамидное волокно) - позиция 5. На фигуре 2 показан образец с заявленными параметрами, уложенный в жесткую формообразующую оснастку.

Иницилирующей операцией нашивки является разработка управляющей программы нашивки каждого слоя преформы для вышивального оборудования в специализированном программном модуле GIS BasePac 8, предназначенном для автоматизированного создания дизайнов машинной вышивки, и используется для создания моделей композитных образцов и управления вышивальной машиной с ЧПУ. Файлы с разработанными управляющими программами сохраняются на съемном носителе.

Затем происходит изготовление преформы автоматизированной направленной нашивкой углеродного ровинга на водорастворимую подложку с помощью вышивальной машины с ЧПУ JCW 0100-500, ZSK Stickmaschinen. В качестве подложки для нашивки преформ используется водорастворимый материал- флизелин на основе 100% поливинилового спирта. В случае данного изобретения флизелин это бумагоподобный нетканый материал на основе модифицированных целлюлозных волокон, пропитанных 100% поливиниловым спиртом (PVA) с поверхностной плотностью порядка 40 г/м².

Трехмерная структура предварительных заготовок-преформ достигается за счет введения третьего Z-направления армирования. В качестве нитей основы при нашивке в Z-направлении используется высокопрочная арамидная нить Русар-С. В качестве нитей утка в плоскости [x; y] применяется высокомодульное углеродное волокно IMS 65. Создание преформ на вышивальной машине с ЧПУ в автоматизированном режиме предполагает участие оператора только для загрузки управляющей программы, запуска/остановки операции нашивки и контроля процесса создания преформ.

Пример изготовления преформ по изобретению реализован следующим образом.

Запускают вышивальную машину, вставляют флэшку с файлом разработанной управляющей программы в USB-разъем оборудования и сохраняют его в памяти машины. Закрепляют водорастворимую подложку на пантограф вышивальной машины с помощью бордюрных рам. Выбирают на управляющем экране машины нужный образец из списка загруженных файлов с программами нашивки. Центрируют образец в плоскости пантографа. Запускают программу нашивки слоев и изготавливают образец заготовки плоской формы (200×300 мм при толщине 4 мм). После заполнения всей рабочей поверхности подложки нашитыми образцами преформ, ее снимают с пантографа вышивального оборудования и вырезают ножницами каждые преформы по отдельности.

Помещают образцы в герметичную емкость для вымывания, заливают водой, нагретой до температуры 80°C до полного заполнения. Выдерживают образцы в течение 3 минут для полного растворения подложки, затем извлекают преформы щипцами и промывают под проточной водой. После этого помещают вымытые образцы преформ в сушильный шкаф, где они при температуре 80°C должны полностью высохнуть. Во избежание деформации образцы преформ должны быть выложены в сушильном шкафу на плоскую решетку.

По окончании сушки образцы помещаются в жесткую формообразующую оснастку и пропитываются под давлением по отобранным группам достаточно часто применяемым в практике изготовления изделий из ПКМ полимерным связующим на основе эпоксидных смол (их двух-компонентных систем) под торговыми марками Araldite 8615, SR8100 и ЭД-20 при помощи установки RTM Radius.

По окончании пропитки оснастка разогревается до 180 градусов и выдерживается

в течение 8 часов, до полной полимеризации связующего. После этого этапа проводят физико-механические испытания изготовленных образцов композитов.

Критериями показателей растворения подложки на основе поливинилового спирта (флизелин -40 (г/м², фирма-изготовитель Augora, Китай), как показали исследования авторов являлись время растворения, качество растворения и качество вымывания. Время растворения подложки измерялось с момента контакта преформы с водой до полного растворения подложки. Качество растворения подложки определялось визуальным способом: процесс считался качественным, если подложка растворилась полностью, без следов, без изменения цвета воды, образования каких-либо комков и т.д.

Критериями оценки качества вымывания являлись наличие/отсутствие визуально-диагностируемых дефектов преформы после вымывания (повреждения волокон и их рассыпание, мягкость/жесткость преформы), а также контроль массы преформы. Жесткость образцов преформ свидетельствует о неподходящих параметрах растворения и недостаточно тщательном вымывании. Растворившиеся частицы подложки при некачественном вымывании въедаются в текстильную структуру преформы и «склеивают» ее (делают жесткой) при высыхании.

Анализ полученных данных показывает, что оптимальными параметрами процесса растворения подложки из преформы являются: первоначальная температура воды - 80°C, при этом время растворения подложки составляет не более 20-30 сек, а время выдержки преформ до окончательного вымывания частиц подложки - 3 минуты.

При изготовлении серий изделий с идентичными параметрами необходимо контролировать их геометрические размеры и массу. Для этого каждую из предварительных заготовок измеряют, а затем взвешивают на весах. Геометрические размеры образцов заготовок составляли 200×300 мм при толщине 4 мм, т.е. все образцы имели плоскую форму. Средняя толщина слоя составляла 0,5 мм, количество слоев (n) равнялось 8. Отклонение массы преформы от номинальной не превышало во всех случаях 1%. Это незначительное отклонение связано с практически постоянной линейной плотностью углеродного ровинга по его длине, что в свою очередь свидетельствует об отсутствии смещения слоев преформ и идентичности с конечной геометрией будущего изделия.

Армирующие волокна внутри каждого слоя могут быть ориентированы в различных направлениях, причем ориентация и соответственно свойства слоев армирующих волокон отличаются от слоя к слою. В данном случае формирование слоев проводили поочередно с ориентацией укладки армирующих волокон по партиям, в одном случае - [0°, 90°], где первый слой состоит из армирующих волокон уложенных под 0°, а каждый последующий перпендикулярно предыдущему. Слои попарно чередуются столько раз, сколько необходимо для набора заданной толщины преформы, в данном случае количество повторений пластов из 2-х слоев равнялось 4. В других двух партиях укладка осуществлялась по следующей схеме: 0° на первом, +45° на втором, 90° или 0° на третьем и -45° на четвертом слое, образующих систему вида [0°, +45°, 90° или 0°, -45°] (см. фиг. 1), а далее схему укладки повторяют послойно N раз (N - количество повторений пластов из 4-х слоев, соответствует целым числам 1,2 ... и т.д. или N=n/4) до набора преформой требуемой толщины, т.е. в данном случае N равнялось 2.

Геометрические размеры образцов заготовок плоской формы выбраны авторами не случайно поскольку представляют собой удобный для исследования своего рода стандартный «кирпич», который в свою очередь может быть применим для построения на его основе сложного многослойного каркаса. В этом случае толщина преформы

зависит от размеров целевого изделия и в зависимости от назначения может иметь значение N до несколько десятков, определяющим здесь является условие не нарушения заданной формы каркаса под весом, т.е. отсутствие деформации конструкции, а также возможности конкретной вышивальной машины.

5 Для исследований влияния параметров нашивки (плотность укладки и шаг стежка) на скорость и качество пропитки, были изготовлены по TFR-технологии опытные образцы преформ с подложкой из флизелина в количестве 45 шт: по 5 шт преформ с одинаковой плотностью укладки, шагом стежка и количеством слоев (n=8), но с различными характеристиками и параметрами армирования и укладки слоев волокон, а именно - $[0^\circ, 90^\circ]$, $[0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$ и $[0^\circ, +45^\circ, 0^\circ, -45^\circ]$.

10 Для верификации результатов пропитки и подтверждения того, что именно параметры укладки - ориентация слоев, составляющие пласты (N) по 4 слоя, при оптимальных плотности и шаге нашивки влияют на скорость и качество пропитки было изготовлено три партии вышеуказанных образцов 1-3, 4-6, 7-9, каждая из которых пропитывалась различным связующим на основе эпоксидной смолы (соответственно Araldite 8615, SR8100 и ЭД-20) при условиях (температура, давление), когда полимерное связующее обладает минимальной вязкостью.

Определяемыми показателями в исследованиях являлись время пропитки образца тремя различными связующими и последующие физико-механические характеристики образцов, в том числе - прочность при трехточечном изгибе, энергия разрушения, модуль упругости и модуль сдвига. Время пропитки измерялось с момента контакта преформы со связующим до выхода связующего из формы, а также окончания выхода воздуха из формы, что является показателем полной пропитки образца. Время пропитки указано в минутах. Показателем качества пропитки является минимальное время выхода воздуха из образца, что свидетельствует об отсутствии пор и других внутренних дефектов в образце. Полученные данные сведены в таблице 2.

Таблица 2.

Образцы					
Наименование образца	Образец 1.1.	Образец 1.2.	Образец 1.3.	Образец 1.4.	Образец 1.5.
Время выхода связующего	40	38	39	38	38
Время выхода воздуха	43	44	44	43	42
Наименование образца	Образец 2.1.	Образец 2.2.	Образец 2.3.	Образец 2.4.	Образец 2.5.
Время выхода связующего	15	16	15	16	15
Время выхода воздуха	17	17	18	16	16

	Наименование образца	Образец 3.1.	Образец 3.2.	Образец 3.3.	Образец 3.4.	Образец 3.5.
5	Время выхода связующего	18	19	19	20	19
	Время выхода воздуха	25	26	26	28	26
10	Наименование образца	Образец 4.1.	Образец 4.2.	Образец 4.3.	Образец 4.4.	Образец 4.5.
	Время выхода связующего	45	48	49	48	48
	Время выхода воздуха	53	54	54	53	52
15	Наименование образца	Образец 5.1.	Образец 5.2.	Образец 5.3.	Образец 5.4.	Образец 5.5.
	Время выхода связующего	14	17	14	15	16
	Время выхода воздуха	15	17	16	16	16
20	Наименование образца	Образец 6.1.	Образец 6.2.	Образец 6.3.	Образец 6.4.	Образец 6.5.
	Время выхода связующего	19	18	17	18	19
25	Время выхода воздуха	22	23	25	25	26
	Наименование образца	Образец 7.1.	Образец 7.2.	Образец 7.3.	Образец 7.4.	Образец 7.5.
30	Время выхода связующего	39	38	38	41	41
	Время выхода воздуха	43	44	44	46	50
	Наименование образца	Образец 8.1.	Образец 8.2.	Образец 8.3.	Образец 8.4.	Образец 8.5.
35	Время выхода связующего	16	15	16	15	15
	Время выхода воздуха	16	16	18	16	16
40	Наименование образца	Образец 9.1.	Образец 9.2.	Образец 9.3.	Образец 9.4.	Образец 9.5.
	Время выхода связующего	19	21	21	20	21
	Время выхода воздуха	25	26	26	28	26

где

Образцы 1.1 - 1.5, 4.1 - 4.5, 7.1 - 7.5

Параметры нашивки:

- шаг стежка - 7 мм;

- плотность укладки - 58;
 - схема армирования: $[0^\circ, 90^\circ]$
- Образцы 2.1 -2.5, 5.1-5.5, 8.1-8.5

Параметры нашивки:

- 5
- шаг стежка - 7 мм;
 - плотность укладки - 58;
 - схема армирования: $[0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$

Образцы 3.1 -3.5, 6.1 -6.5, 9.1 -9.5

Параметры нашивки:

- 10
- шаг стежка - 7 мм;
 - плотность укладки - 58;
 - схема армирования: $[0^\circ, +45^\circ, 0^\circ, -45^\circ]$

Результаты испытаний преформ, изготовленных с одинаковой плотностью укладки волокон и шагом прошивки, но различной ориентировкой слоев (образцы 1-9), показали, что наивысшую скорость и качество пропитки показывают образцы 2.1-2.5 с пропиткой Araldite 8615 со временами выхода связующего в интервале 15-16 мин и выхода воздуха 16-18 мин, образцы 5.1-5.5 с пропиткой SR8100 и временами выхода связующего 14-16 мин и выхода воздуха 15-17 мин и образцы 8.1-8.5 с пропиткой ЭД-20 и временами выхода связующего 15-16 мин и выхода воздуха 16-18 мин. Отсюда следует вывод, что наиболее предпочтительными параметрами заявляемой технологии нашивки преформ образцов плоской формы являются плотность укладки ровинга 58 у.е. или 2,90 мм с шагом прошивки 7 мм при ориентации укладки пластов из чередующихся без разбивки 4 слоев-компактов армирующих волокон по схеме $[0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$. В таблице 3 приводятся показатели ряда прочностных свойств готового изделия из ПКМ при его изготовлении предложенным способом направленной нашивки углеродного ровинга IMS 65 с заявленными параметрами.

Таблица 3.

Характеристика	Обозначение, размерность	IMS 65 [0; 90]	IMS 65 [0; +45; 90; -45]
		Значение с нашивкой ровинга (ширина укладки 58, шаг стежка 7)	
Модуль продольной упругости при растяжении	E_{11} , ГПа	71,37	61,37
Коэффициент Пуассона, характеризующий сжатие в направлении утка при растяжении в направлении основы	ν_{12}	0,405	0,510
Коэффициент Пуассона, характеризующий сжатие в направлении толщины при растяжении в направлении основы	ν_{13}	0,298	0,319
Модуль сдвига в плоскости армирования	G_{12} , ГПа	17,300	18,500
Модуль сдвига в межслоевой плоскости при 4-х точечном несимметричном изгибе	G_{13} , ГПа	1,820	3,520
Модуль сдвига в межслоевой плоскости при 3-х точечном изгибе	G_{13} , ГПа	2,653	3,312

5	Предел прочности при растяжении и нормальной температуре	σ_{11} , МПа	628,45	562,33
10	Предел прочности на сдвиг в плоскости армирования	τ , МПа	152,85	142,58
15	Предел прочности на межслоевой сдвиг методом 4-х точечного несимметричного изгиба	τ_{13} , МПа	44,52	54,41
20	Предел прочности на межслоевой сдвиг методом 3-х точечного изгиба	τ_{13} , МПа	42,88	52,98

В связи с вышеизложенными данными, необходимо отметить, что при одинаковых параметрах нашивки: плотностью 58 у.е. и шагом 7 мм, но различных схемах укладки армирующих слоев, образцы отличаются как временем пропитки, так и прочностными свойствами изделий из этих образцов. Экономия времени в среднем составляет примерно 20-25 мин или в 2,5 раза на каждую заготовку, что делает заявленные параметры наиболее подходящими (оптимальными) для рассматриваемой технологии нашивки и дает существенную экономию времени на стадии изготовления и пропитки волокнистых заготовок при конвейерном производстве изделий из ПКМ. При выходе за заявленные диапазоны параметров нашивки качество пропитки хуже и прочностные характеристики ниже.

Кроме того, укладка слоев по схеме: $[0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$ приводит к увеличению предела прочности на сдвиг преформы, что позволяет в результате сохранять в значительной степени целостность конечного изделия, например, лопаток для турбин, не давая, даже в случае режимов эксплуатации близких к разрушению, распасться изделию на осколки, что дополнительно обеспечивает безопасность обслуживания. Также к преимуществам данной укладки, выраженной в заявленном способе, следует отнести усиление таких механических показателей как прочность на изгиб и кручение, особенно важных для изделий из ПКМ, где есть плоские элементы под нагрузкой - крылья, обшивка или винты беспилотников.

(57) Формула изобретения

1. Способ изготовления многослойной волокнистой заготовки плоской формы, состоящий в создании трехмерной структуры из слоев армирующих волокон путем автоматизированной направленной нашивки по TFR-технологии первого слоя к подложке, скрепленного с последующими слоями фиксирующими нитями зигзагообразной строчки, и последующей пропитки образовавшегося каркаса связующим, причем плотность укладки слоев армирующих волокон, характеризующая

расстояние между слоями, составляет 58 условных единиц, при 1 у.е. = 0,05 мм для управляющей программы вышивальным оборудованием, а длина зигзагообразного стежка - шага прошивки фиксирующей нити, составляет 7 мм при ширине стежка, равной 5 мм, при этом направление укладки слоев армирующего волокна задают по схеме: $[0^\circ, +45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$, которая повторяется каждые 4 слоя при наборе требуемой толщины преформы.

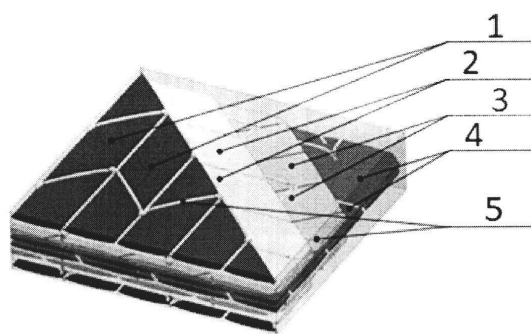
2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что используют отделяемую подложку из водорастворимого материала.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве армирующих волокон используют углеродные волокна.

4. Способ по п. 3, отличающийся тем, что в качестве армирующих волокон используют углеродные волокна в виде ровинга.

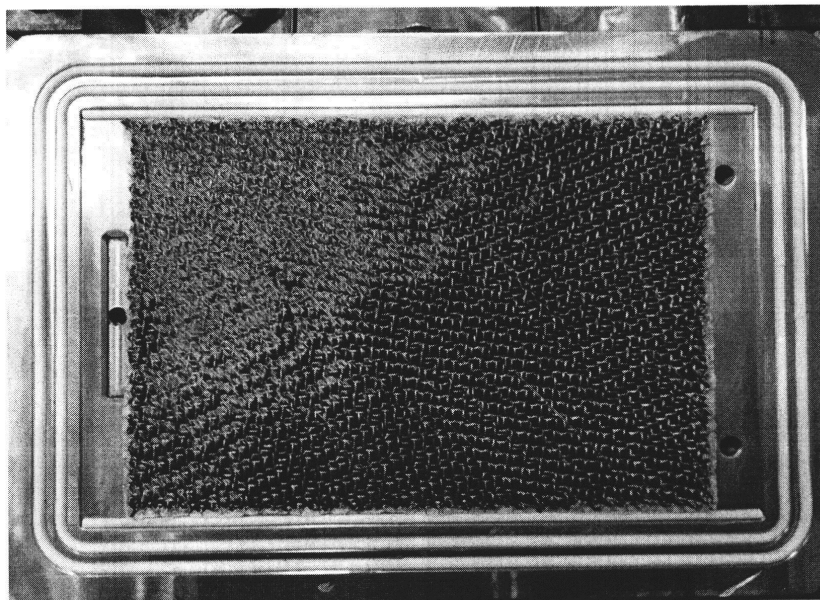
5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве фиксирующих нитей используют арамидные волокна.

1



Фиг.1

2



Фиг.2