



(51) МПК

B32B 5/28 (2006.01)

B32B 17/12 (2006.01)

B32B 18/00 (2006.01)

B32B 27/04 (2006.01)

F41H 5/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B32B 5/28 (2017.02); B32B 17/067 (2006.01); B32B 18/00 (2017.02); B32B 27/04 (2017.02); F41H 5/04 (2017.02)

(21)(22) Заявка: 2013117042, 15.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.04.2013Дата регистрации:  
26.12.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
19.04.2012 US 13/450823

(43) Дата публикации заявки: 20.10.2014 Бюл. № 29

(45) Опубликовано: 26.12.2017 Бюл. № 36

Адрес для переписки:  
190000, Санкт-Петербург, ВОХ-1125,  
ПАТЕНТИКА

(72) Автор(ы):

КОЗАР Майкл П. (US),  
ВИЛЕНСКИ Марк С (US)(73) Патентообладатель(и):  
Зе Боинг Компани (US)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 6060163 A, 09.05.2000. US  
2007172677 A1, 26.07.2007. WO 0206607 A1,  
24.01.2002.

RU 2640061 C2

## (54) КОМПОЗИТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ, СОДЕРЖАЩИЕ ВОЛОКНА С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ В ПРОДОЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ КОНФИГУРАЦИЕЙ

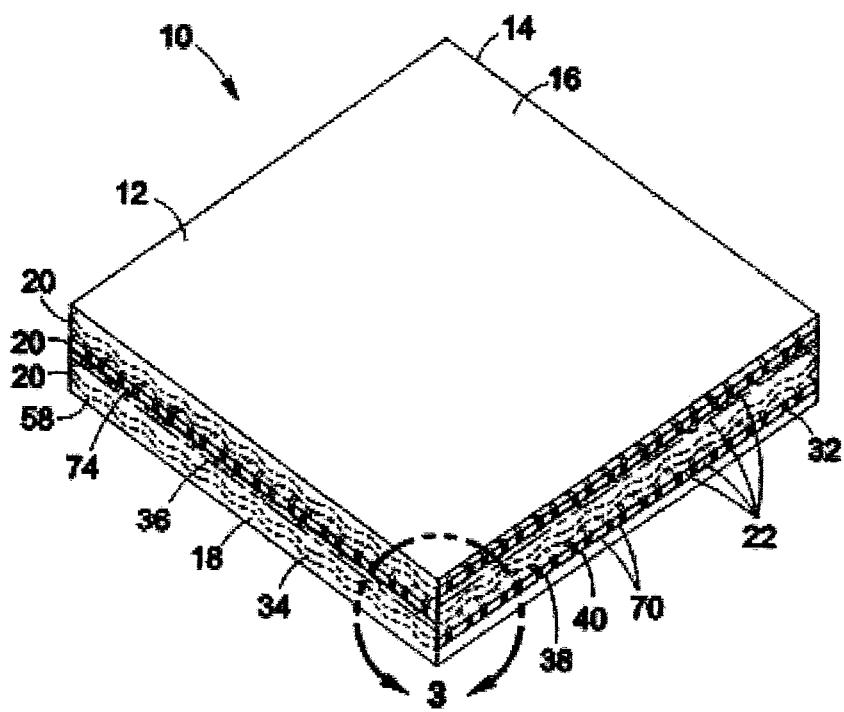
(57) Реферат:

Изобретение относится к армированным волокном композитным материалам, имеющим улучшенные баллистические и оптические характеристики, и касается композитных изделий, содержащих волокна с изменяющейся в продольном направлении конфигурацией. Конструктивное композитное изделие содержит матрицу и волокна, встроенные в матрицу, причем каждое волокно имеет длину и конфигурацию, конфигурация волокна изменяется вдоль его длины, причем волокна расположены рядом друг с другом с образованием слоя; по меньшей мере, часть волокон слоя содержит последовательность

первых частей и вторых частей; и волокна расположены таким образом, что вторые части одного из волокон по меньшей мере частично сопряжены с первыми частями соседнего волокна слоя. Также описаны способ изготовления конструктивного изделия и способ нагружения конструктивного изделия транспортного средства. Изобретение обеспечивает создание композитной структуры, в которой перемещением волокон в матрице можно управлять для улучшения ее баллистических и оптических характеристик. 3 н. и 10 з.п. ф-лы, 23 ил.

RU 2640061 C2

R U 2 6 4 0 0 6 1 C 2



### ФИГ. 1

R U 2 6 4 0 0 6 1 C 2



(51) Int. Cl.

B32B 5/28 (2006.01)

B32B 17/12 (2006.01)

B32B 18/00 (2006.01)

B32B 27/04 (2006.01)

F41H 5/04 (2006.01)

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

B32B 5/28 (2017.02); B32B 17/067 (2006.01); B32B 18/00 (2017.02); B32B 27/04 (2017.02); F41H 5/04 (2017.02)

(21)(22) Application: 2013117042, 15.04.2013

(24) Effective date for property rights:  
15.04.2013Registration date:  
26.12.2017

Priority:

(30) Convention priority:  
19.04.2012 US 13/450823

(43) Application published: 20.10.2014 Bull. № 29

(45) Date of publication: 26.12.2017 Bull. № 36

Mail address:  
190000, Sankt-Peterburg, VOKH-1125,  
PATENTIKA

(72) Inventor(s):

KOZAR Majkl P. (US),  
VILENSKI Mark S (US)

(73) Proprietor(s):

Ze Boing Kompani (US)

C2  
190061  
RU

## (54) COMPOSITE PRODUCTS CONTAINING FIBER WITH LONGITUDINALLY CHANGING CONFIGURATION

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: structural composite product contains a matrix and fibers embedded in the matrix. Each fiber has a length and configuration, the fiber configuration varies along its length. The fibers are disposed nearby to each other to form a layer; at least a part of the fibers of the layer comprises a sequence of the first parts and the second parts; and the fibers are arranged such way that the second parts of one of the

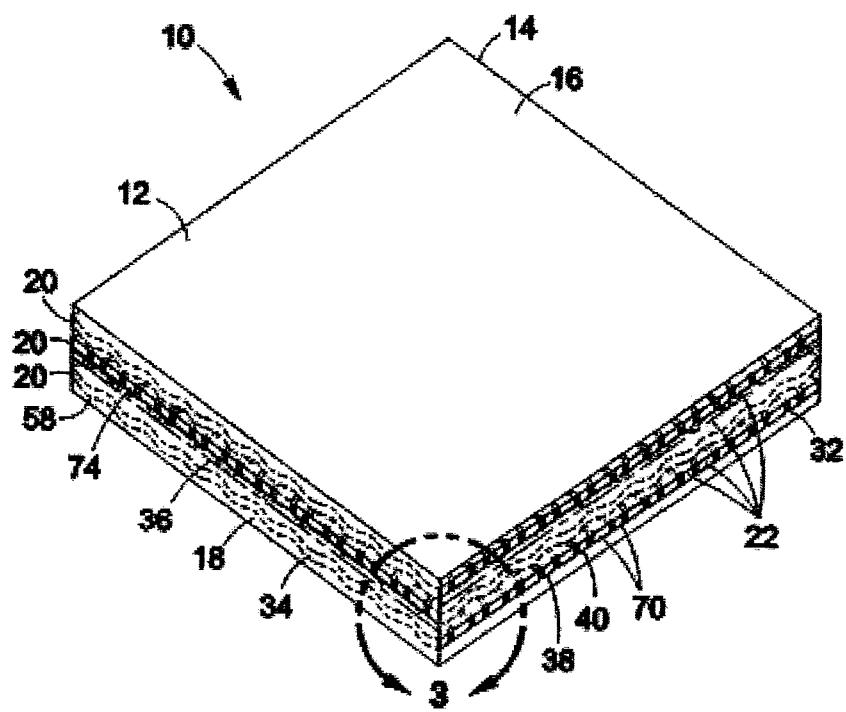
fibers are at least partially interfaced with the first parts of the adjacent fiber layer. A method of manufacturing a structural product and a method of loading a vehicle's structural product are also described.

EFFECT: creating a composite structure in which the movement of fibers in the matrix can be controlled to improve its ballistic and optical characteristics.

13 cl, 23 dwg

R U  
2 6 4 0 0 6 1  
C 2

R U 2 6 4 0 0 6 1 C 2



### ФИГ. 1

R U 2 6 4 0 0 6 1 C 2

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение в целом относится к композитам и более конкретно к армированным волокном композитным изделиям, имеющим улучшенные баллистические и оптические характеристики.

### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Композитные конструкции обычно содержат матрицу, армированную волокнами, причем волокна встроены в матрицу. Композитные конструкции обычно предназначены для передачи нагрузок вдоль волокон. Нагрузки могут быть переданы от одного волокна к другому волокну в том же слое или к волокнам в соседнем слое путем

передачи посредством матричного материала. Однако матрица обычно имеет уменьшенную прочность по сравнению с волокнами, так что при передаче сквозь матрицу достаточно высокой нагрузки от одного волокна к другому волокну указанная матрица может быть разрушена. При разрушении матрицы волокна могут перемещаться внутри композитной структуры.

Во время баллистического события, в котором на композитную панель воздействует снаряд, способность волокон перемещаться внутри матрицы может влиять на баллистические характеристики композитной панели. Например, способность волокон в матрице к перемещению может влиять на сопротивление композитной панели проникновению в нее снаряда. Для прозрачных композитных панелей перемещение

волокон относительно матрицы также может влиять на оптические характеристики композитной панели. В этом отношении, перемещение волокон относительно матрицы во время баллистического события может влиять на размер области, ухудшающей оптические характеристики в результате воздействия снарядом.

Таким образом, в уровне техники имеется потребность в композитной конструкции,

в которой перемещением волокон в матрице можно управлять для улучшения ее баллистических и оптических характеристик.

## РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Вышеуказанные потребностям, связанные с композитными изделиями, в частности могут быть удовлетворены настоящим изобретением согласно одному варианту его

реализации, в котором предложено композитное изделие, содержащее матрицу и волокна, встроенные в матрицу. Каждое из волокон имеет длину и конфигурацию. Конфигурация по меньшей мере части волокон может изменяться вдоль длины волокна.

Согласно другому варианту реализации предложен способ изготовления композитного изделия. Способ содержит этап, на котором берут волокна, каждое из

которых имеет длину и конфигурацию. Способ дополнительно содержит этап, на котором изменяют конфигурацию волокна вдоль его длины по меньшей мере для части волокон. Способ дополнительно содержит этап, на котором встраивают волокна в матрицу.

Также описан способ нагружения композитного изделия, такого как композитная

панель транспортного средства. Способ содержит этап, на котором берут композитное изделие в форме волокон, встроенных в матрицу, причем каждое из волокон имеет длину и конфигурацию, при этом конфигурация волокна может изменяться вдоль его длины. Способ содержит этап, на котором располагают композитное изделие в первом положении, содержащем условие статической нагрузки. Способ также содержит этап,

на котором располагают композитное изделие во втором положении, содержащем условие динамической нагрузки.

Предпочтительно изменение конфигурации волокна может улучшить механическое соединение между волокнами и матрицей. Изменение в конфигурации волокна также

может улучшить механическое соединение между соседними волокнами. Механическое соединение вследствие изменения конфигурации волокна может являться средством для управления перемещением волокна относительно матрицы. Механическое соединение также может являться средством для управления скольжением или

5 перемещением непосредственно соседних волокон.

Управление скольжением волокон может являться средством для управления частями длин волокон, которые вовлечены в ударное событие. Путем управления длиной волокон, вовлеченных в ударное событие, может быть улучшена энергопоглощающая способность волокон, в результате чего могут быть улучшены баллистические и/или

10 оптические характеристики композитного изделия в ответ на воздействие снарядом.

Особенности, функции и преимущества, описанные в настоящей заявке, могут быть независимо достигнуты в различных вариантах реализации настоящего изобретения или могут быть комбинированы в других вариантах реализации, с подробностями которых можно ознакомиться из следующего ниже подробного описания и

15 сопроводительных чертежей.

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Эти и другие особенности настоящего изобретения станут более очевидными по ознакомлении с чертежами, на которых подобными позиционными номерами обозначены подобные элементы по всему описанию, и на которых:

20 На фиг. 1 показан перспективный вид композитного изделия согласно одному варианту реализации, содержащего матрицу и волокна, встроенные в матрицу;

На фиг. 2 показан поэлементный перспективный вид композитного изделия, показанного на фиг. 1, содержащего несколько слоев волокон;

25 На фиг. 3 показан увеличенный перспективный вид части композитного изделия, показанного на фиг. 1, и показано расположение слоев волокон в матрице и дополнительно показано изменение конфигурации волокна вдоль каждого из волокон;

На фиг. 4 показан вид сверху одного из слоев, показанных на фиг. 3, показывающий изменения конфигурации волокна вдоль его длины;

На фиг. 5А показан вид сверху одного из волокон, показанных на фиг. 4, 30 показывающий изменения конфигураций волокон, которые могут содержать последовательность первых и вторых частей;

На фиг. 5В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 5А, показывающий по существу плоскую форму поперечного сечения волокна;

На фиг. 5С показан разрез волокна, показанного на фиг. 5А, показывающий первую 35 форму поперечного сечения одной из первых частей;

На фиг. 5Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 5А, показывающий вторую форму поперечного сечения одной из вторых частей;

На фиг. 6А показан вид сверху альтернативного варианта реализации волокна с отверстием, выполненным в волокне;

40 На фиг. 6В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 6А, показывающий по существу плоскую форму поперечного сечения волокна;

На фиг. 6С показан разрез волокна, показанного на фиг. 6А, показывающий первую форму поперечного сечения волокна, имеющую площадь поперечного сечения;

На фиг. 6Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 6А, показывающий вторую 45 форму поперечного сечения волокна, имеющую по существу ту же самую полную площадь поперечного сечения, что и поперечное сечение, показанное на фиг. 6С;

На фиг. 7А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, содержащего последовательность первых и вторых частей;

На фиг. 7В показан разрез волокна, показанного на фиг. 7А, показывающий первую форму поперечного сечения одной из первых частей;

На фиг. 7С показан разрез волокна, показанного на фиг. 7А, показывающий вторую форму поперечного сечения одной из вторых частей;

5 На фиг. 8А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, имеющего змеевидную форму;

На фиг. 8В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 8А, показывающий по существу плоскую форму поперечного сечения волокна;

10 На фиг. 8С показан разрез волокна, показанного на фиг. 8В, показывающий форму поперечного сечения, имеющую центр тяжести площади волокна, смещенный в одну сторону от продольной оси волокна;

На фиг. 8Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 8В, показывающий центр тяжести площади, смещенный от продольной оси в сторону, противоположную стороне смещения центра тяжести площади, показанного на фиг. 8С;

15 На фиг. 9А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, содержащего последовательность выпуклостей, проходящую вдоль длины волокна;

На фиг. 9В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 9А, показывающий выпуклости, проходящие от верхней и нижней поверхностей волокна;

20 На фиг. 9С показан разрез волокна, показанного на фиг. 9В, показывающий первую форму поперечного сечения в местоположении одной из выпуклостей;

На фиг. 9Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 8В, показывающий вторую форму поперечного сечения волокна в области между выпуклостями;

25 На фиг. 10А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, содержащего последовательность относительно больших выпуклостей и относительно небольших выпуклостей, проходящих вдоль длины волокна;

На фиг. 10В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 10А, показывающий относительно большие выпуклости и относительно небольшие выпуклости, проходящие от верхней и нижней поверхностей волокна;

30 На фиг. 10С показан разрез волокна, показанного на фиг. 10В, показывающий формы поперечного сечения в местоположении одной из относительно небольших выпуклостей;

На фиг. 10Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 10В, показывающий формы поперечного сечения в местоположении одной из относительно больших выпуклостей;

На фиг. 11А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, имеющего спиральную форму;

35 На фиг. 11В показан разрез волокна, показанного на фиг. 11А, имеющего спиральную форму;

На фиг. 11С показан вид сверху другого дополнительного варианта реализации волокна, имеющего скрученную туда и обратно форму;

40 На фиг. 11Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 11С, имеющего скрученную туда и обратно форму;

На фиг. 12А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, содержащего последовательность первых и вторых частей, имеющих прямоугольную форму поперечного сечения;

45 На фиг. 12В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 12А, показывающий первые и вторые части;

На фиг. 12С показан разрез волокна, показанного на фиг. 12В, показывающий первую форму поперечного сечения в местоположении одной из первых частей;

На фиг. 12Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 12В, показывающий

вторую форму поперечного сечения в местоположении одной из вторых частей;

На фиг. 13А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, имеющего сердечник, выполненный из первого материала и последовательность вторых частей, имеющих форму куба, выполненных из второго материала;

5 На фиг. 13В показан вид сбоку волокна, показанного на фиг. 13А, показывающий волоконный сердечник, проходящий сквозь последовательность видов вторых частей, имеющих форму куба;

На фиг. 13С показан разрез волокна, показанного на фиг. 13В, показывающий волоконный сердечник, выполненный из первого материала;

10 На фиг. 13Д показан разрез волокна, показанного на фиг. 1В, показывающий одну из вторых частей, имеющих форму куба, выполненных из второго материала;

На фиг. 14А показан вид сверху дополнительного варианта реализации волокна, содержащего сердечник, выполненный из первого материала, и последовательность вторых частей, выполненных из второго материала;

15 На фиг. 14В показан разрез волокна, показанного на фиг. 14А, показывающий волоконный сердечник, выполненный из первого материала;

На фиг. 14С показан разрез волокна, показанного на фиг. 14А, показывающий одну из вторых частей, выполненных из второго материала;

20 На фиг. 15 показан вид сбоку волокна, имеющего конфигурацию, которая изменяется по полупериодическому закону;

На фиг. 16 показан перспективный вид части композитного изделия, состоящего из слоев, содержащих волокна, расположенные перпендикулярно относительно волокон в соседних слоях;

25 На фиг. 16А показан вид с торца композитного изделия, показанного на фиг. 16, показывающий вторые части волокон в чередующихся слоях, в целом выровненные с первыми частями волокон в соседних слоях;

На фиг. 16В показан вид с торца композитного изделия, показанного на фиг. 18А, показывающий действующую в перпендикулярном направлении силу, приложенную к волокнам, вызывающую взаимодействие волокон, ориентированных в одном

30 направлении в слое, с волокнами, ориентированными в другом направлении (например, перпендикулярном), в соседнем слое;

На фиг. 17 показан вид сбоку испытуемого изделия, показывающий снаряд, действующий на переднюю сторону испытуемого изделия;

35 На фиг. 18 показан вид задней стороны испытуемого изделия, показанного на фиг. 17, показывающий относительно увеличенную область локального и глобального вовлечения волокон при относительно слабом соединении волокон с матрицей и/или межволоконном соединении в ответ на удар снаряда в переднюю сторону испытуемого изделия;

40 На фиг. 19 показан вид задней стороны испытуемого изделия, показывающий относительно небольшую область локального и глобального вовлечения волокон при усиленном соединении волокон с матрицей и/или межволоконном соединении по сравнению с вариантом реализации, показанным на фиг. 18;

На фиг. 20 показан перспективный вид слоистой системы, содержащей первый слой, второй слой и композитное изделие;

45 На фиг. 21 показан поэлементный перспективный вид слоистой системы, показанной на фиг. 20;

На фиг. 22 показана блок-схема по меньшей мере одного из этапов, которые могут быть включены в способ изготовления композитного изделия;

На фиг. 23 показан перспективный вид самолета, в который может быть встроено композитное изделие согласно по меньшей мере одному варианту реализации; и

На фиг. 24 показана блок-схема способа использования композитного изделия.

### ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

На чертежах с целью иллюстрации показаны предпочтительные и различные варианты реализации настоящего изобретения и, в частности, на фиг. 1 показано композитное изделие 10. Композитное изделие 10 может быть изготовлено в форме армированной волокном композитной панели 14, содержащей матрицу 18 и волокна 22, встроенные в матрицу 18. Предпочтительно волокна 22 имеют конфигурацию 32, которая изменяется вдоль волокон 22. Изменение конфигурации 32 волокна вдоль его длины 34 может облегчить механическое соединение между волокнами 22 и матрицей 18 (например, волоконно-матричное соединение). Изменение конфигурации 32 волокна вдоль длины 34 волокна 22 также может облегчить механическое соединение между расположенными рядом волокнами 22 (например, межволоконное соединение) в том же слое 20 и/или между волокнами 22, расположенными в различных слоях 20.

Волоконно-матричное механическое соединение может являться средством для управления перемещением или скольжением волокон 22 относительно матрицы 18. Межволоконное механическое соединение может являться средством для управления межволоконным перемещением или скольжением. Путем изменения конфигурации 32 волокна вдоль волокон 22 можно управлять частью длины 34 волокна, охваченной ударным событием. Предпочтительно изменение конфигурации 32 волокна вдоль его длины 34 может улучшить замедляющую способность композитного изделия 10 при ударе в него или входе в него снаряда.

Степень скольжения между волокнами 22 и матрицей 18 также может являться средством для управления разрушением волокон 22 в зависимости от расстояния или проникновения снаряда сквозь композитное изделие 10. В этом отношении, технический результат настоящего изобретения предпочтительно состоит в управлении или выборочном увеличении части каждого волокна 22, которая охвачена баллистическим событием, так что деформация растяжения в каждом волокне 22 может быть распределена вдоль относительно большей части длины волокна 22. Путем управления (например, увеличения) частью длины волокон 22, которая охвачены баллистическим событием, можно управлять (например, увеличивать) общим количеством энергии, поглощенной волокнами 22 во время ударного события. В этом отношении, растягивающими нагрузками, действующими на волокна 22, можно управлять как средством для предотвращения преждевременного разрушения волокна 22 при достижении предельного значения напряжения, действующего на волокна 22.

Кроме того, путем выборочного изменения конфигурации 32 волокна вдоль длины 34 волокна относительным перемещением волокон 22 можно управлять в качестве средства для управления количеством времени, в течение которого волокна участвуют в баллистическом ударном событии, который может быть коррелирован с увеличением количества времени, в течение которого волокна 22 замедляют снаряд, и увеличением энергии снаряда, которая может быть поглощена волокнами 22. Управление скольжением волокон 22 относительно матрицы 18 и относительно друг друга также может определяться или может быть улучшено путем выполнения волокон 22 из материалов, имеющих соответствующее предельное значение напряжения и/или соответствующую реакцию на степень напряжения, как описано более подробно ниже. В этом отношении, волокна 22 могут быть выполнены из материалов, имеющих предельное напряжение, которое препятствует разрушению волокон 22 и в тоже время

увеличивают сопротивление или препятствуют проникновению снаряда в композитное изделие 10.

На фиг. 1 показано композитное изделие 10, имеющее поверхности 12. Композитное изделие 10 выполнено в форме композитной панели 14, имеющей поверхности 16 и 5 содержащей волокна 22, встроенные в матрицу 18. Волокна 22 могут функционировать в качестве конструктивного усиления для матрицы 18 и могут улучшать механические и баллистические характеристики композитного изделия 10. В этом отношении, волокна 22 могут обеспечивать конструктивное усиление для регулирования удельной жесткости композитного изделия 10 в результате улучшения предела прочности и целевого модуля 10 упругости (например, жесткости) волокон 22. Согласно настоящему изобретению, свойства, такие как прочность, напряжение и жесткость, описаны в терминах динамических характеристик или высокоскоростных деформационных характеристик.

На фиг. 2 показан поэлементный вид композитного изделия 10 или композитной панели 14, показанных на фиг. 1 и имеющих несколько слоев 20. В каждом из слоев 20 15 волокна 22 расположены рядом друг с другом, как обозначено позиционным номером 70. Каждое волокно 22 имеет длину 34 и продольную ось 36. Конфигурация 32 волокон 22 в каждом слое 20 может изменяться вдоль длины 34 волокна. Конфигурация 32 волокна может характеризоваться площадью 38 поперечного сечения и формой 40 поперечного сечения, причем площадь 38 поперечного сечения и/или форма 40 20 поперечного сечения могут изменяться вдоль длины 34 волокна. Волокна 22 в каждом слое 20 в целом могут быть выровнены друг с другом, причем продольные оси 36 волокон 22 в данном слое 20 в целом параллельны. Однако, согласно любому из 25 вариантов реализации, описанных в настоящей заявке, волокна 22 могут быть сплетены в тонкий слой (не показано), расположенный в матрице, без ограничения расположением рядом друг с другом в слое или по существу параллельно друг другу в слое. Кроме того, любое волокно 22 согласно вариантам реализации, описанным в настоящей заявке, может быть соткано в ткань (не показана) без матрицы, причем указанное 30 межволоконное соединение может обеспечивать преимущества, относящиеся к сопротивлению проникновению снаряда в ткань, способом, подобным описанному в настоящей заявке.

Согласно одному варианту реализации, продольные оси 36 волокон 22 в одном слое 20 могут быть ориентированы под углом относительно продольных осей 36 волокон 22 в расположенному непосредственно рядом слое 20. Например, на фиг. 2 показаны продольные оси 36 волокон 22 в одном слое 20, ориентированные перпендикулярно 35 продольным осям 36 волокон 22 в слоях 20, расположенных непосредственно рядом с ним. Однако продольные оси 36 волокон 22 расположенных рядом слоев 20 могут быть ориентированы под любым углом относительно друг друга в зависимости от желательного наложения слоев в композитном изделии 10.

На фиг. 3 показано увеличенное изображение части композитного изделия 10, 40 показанного на фиг. 2 и иллюстрирующего нескольких слоев 20. Каждый из слоев 20 содержит волокна 22, имеющие конфигурацию 32, которая изменяется вдоль длины 34 волокна. Как указано выше, слои 20 могут содержать волокна 22, ориентированные в любом направлении относительно волокон 22, расположенных в соседнем слое 20.

Например, на фиг. 3 показана конструкция поперечного слоя, в котором волокна 22 45 одного слоя 20 ориентированы перпендикулярно волокнам 22 соседнего слоя 20. Следует отметить, что на фиг. 3 показан неограничивающий вариант реализации композитного изделия 10, который не должен толковаться как ограничение альтернативных расположений волокон 22 внутри матрицы 18. Например, волокна 22 в слоях 20 могут

быть ориентированы перпендикулярно относительно волокон 22 других слоев 20, как показано на фиг. 3, или волокна 22 могут быть ориентированы не перпендикулярно (например, под углом 15°, 22,5°, 45°, 60°, 75°, и т.п.).

На фиг. 4 показан вид сверху слоя 20 волокон 22, на котором показаны изменения

- 5 в конфигурации 32 волокна вдоль длины 34 волокон 22. Конфигурация 32 волокна 22 может быть характеризована площадью 38 поперечного сечения (как показано на фиг. 3) волокна 22 в данном месте вдоль длины 34 волокна и/или формой поперечного сечения волокна 22 в данном месте вдоль длины 34 волокна. Однако конфигурация 32 волокна может характеризоваться дополнительными параметрами, включая помимо 10 прочего форму перехода между первой частью 52 волокна 22 и второй частью 54 волокна 22. Например, конфигурация 32 волокна может характеризоваться скругленным или плавным круговым переходом между первыми частями 52 и вторыми частями 54, как показано на фиг. 4. Согласно другому варианту реализации конфигурация волокна может характеризоваться относительно более острыми или резкими переходами между 15 первыми частями 52 и вторыми частями 54, как, например, в варианте реализации, показанном на фиг. 12A-12D и описанном ниже.

Как показано на фиг. 4, конфигурация 32 волокна может изменяться периодическим способом 58 вдоль длины 34 волокна. В этом отношении, волокно 22 может содержать последовательность вторых частей 54, которые по существу могут быть распределены

- 20 равномерно по существу с однородным расстоянием между вторыми частями 54. Каждая пара вторых частей 54 может быть разделена первой частью 52. Периодический способ 58 расположения конфигурации 32 волокна может содержать по существу подобную и повторяющуюся конфигурацию 32 волокна вдоль длины 34 волокна. Хотя в настоящей заявке описана конфигурация 32 волокна, которая изменяется периодическим способом 25 58 вдоль длины 34 волокна, волокна 22 могут иметь конфигурацию 32, которая изменяется полупериодическим способом 64 (как показано на фиг. 15). Например, конфигурация 32 волокна может изменяться с прогрессивным увеличением или уменьшением расстояний между соседними парами вторых частей 54, с таким как прогрессивное или постепенное увеличение или уменьшение расстояния между вторыми 30 частями 54 волокна 22. Кроме того, конфигурация 32 волокна может изменяться в соответствии с повторными шаблонами (например, как показано на фиг. 15) вдоль любой части длины 34 волокна 22. Конфигурация 32 волокна также может быть расположена непериодическим или случайным способом (не показано) вдоль длины 34 волокна.

- 35 Как показано на фиг. 4, каждое волокно 22 по существу сформировано одинаково. Каждое из волокон 22 имеет боковые поверхности 30 и расположено таким образом, что между расположенными рядом волокнами 22 имеется зазор 72. Каждый из зазоров 72 по существу может быть заполнен матрицей 18 материала, если волокна 22 встроены в матрицу 18. Изменение в конфигурации 32 волокна вдоль длины волокон 22 может 40 улучшить механическое соединение волокон 22 с матрицей 18. Кроме того, как показано на фиг. 4, волокна 22 могут быть расположены таким образом, что вторые части 54 волокон 22 по меньшей мере частично сопряжены 74 с первыми частями 52 соседних волокон 22. Предпочтительно по меньшей мере частичное сопряжение волокон 22 может улучшить их механическое соединение (например межволоконное соединение). 45 Как указано выше, механическое соединение волокон 22 может уменьшить межволоконное скольжение или перемещение, что может являться средством для управления частью длины 34 волокна, охваченной баллистическим событием. В этом отношении, уменьшенное межволоконное скольжение может способствовать вовлечению

большего количества волокон 22 в баллистическое событие. Увеличение количества волокон 22, вовлеченных в баллистическое событие, может увеличить общее энергопоглощение волокон 22, в результате чего могут быть улучшены баллистические характеристики композитного изделия 10 и/или послеударные оптические

5 характеристики композитного изделия 10, как описано выше.

На фиг. 5А показан вид сверху одного из волокон 22, показанных на фиг. 4. В показанном на чертеже варианте реализации изменение в конфигурации 32 волокна представляет собой чередование первых частей 52 и вторых частей 54 периодическим 10 способом вдоль длины 34 волокна. Не смотря на то, что на чертеже показана в целом симметричная конфигурация относительно продольной оси 36, следует отметить, что конфигурация 32 волокна может характеризоваться асимметричной структурой (не показана), при которой конфигурация волокна 22 на одной стороне продольной оси 36 отличается от конфигурации волокна 22 на противоположной стороне продольной оси 36. Волокно 22 имеет ширину 44, которая может быть задана как наибольшая 15 ширина волокна 22 в любом месте вдоль длины 34 волокна. Конфигурация волокна согласно любому из вариантов реализации, описанных в настоящей заявке, для ясности может быть проиллюстрирована с увеличением или нет.

На фиг. 5В показан вид сбоку волокна 22, показанного на фиг. 5А. Волокно 22 в целом может иметь плоскую конфигурацию, при которой волокно 22 имеет верхнюю 20 поверхность 26 и нижнюю поверхность 28, которые в целом параллельны друг другу и которые определяют толщину 42 волокна, которая в целом может быть постоянной вдоль длины 34 волокна. Толщина 42 волокна 22 может быть определена путем измерения в перпендикулярном направлении относительно ширины волокна 44. Согласно одному варианту выполнения верхняя поверхность 26 и нижняя поверхность 25 28 волокна 22 не являются параллельными друг другу.

На фиг. 5С показан разрез первой части 52 волокна 22, показанного на фиг. 5А. Волокно с конфигурацией 32 (как показано на фиг. 5А) имеет площадь 38 поперечного сечения и форму 40 поперечного сечения (как показано на фиг. 3). На фиг. 5С видно, что первая часть 52 волокна 22 имеет первую площадь 38а поперечного сечения и 30 первую форму 40а поперечного сечения, которая является прямоугольной. Указанная прямоугольная форма поперечного сечения имеет короткую поперечную ось 86 и длинную поперечную ось 88. На фиг. 5Д показана вторая часть 54 (также показанная на фиг. 5А), имеющая вторую площадь 38b поперечного сечения и вторую форму 40b поперечного сечения, которая может быть подобной прямоугольной первой форме 40а. В этом отношении, на фиг. 5А-5Д показан вариант выполнения волокна 22 (в частности, показанный на фиг. 5В), в котором площадь 38 поперечного сечения изменяется вдоль длины 34 волокна, и форма 40 поперечного сечения по существу постоянна (например, прямоугольная) вдоль длины 34 волокна (как показано на фиг. 35 5А). Изменение площади 38 поперечного сечения вдоль длины 34 волокна 22, как показано на фиг. 5А, является результатом увеличения относительного удлинения прямоугольной формы 40 поперечного сечения вдоль длинной поперечной оси 88. Вариант реализации волокна 22, показанный на фиг. 5А-5Д, может облегчить 40 межволоконное механическое соединение в направлении плоскости (например, в слое).

На фиг. 6А показан вид сверху одного из волокон 22 согласно другому варианту 45 реализации, в котором волокно 22 содержит чередование первой и второй частей 52, 54. Вторые части 54 могут содержать отверстие 66, такое как щель или паз, проходящий по меньшей мере частично или полностью сквозь волокно 22. Предпочтительно вторые части 54 волокна 22 могут быть выполнены таким образом, что форма поперечного

сечения волокна 22 в первой части 52 может изменяться вдоль длины 34 волокна по сравнению с формой поперечного сечения волокна 22 во второй части 54. Кроме того, в варианте реализации, показанном на фиг. 6А, площадь поперечного сечения волокна 22 во второй части 54 по существу может быть равна площади поперечного сечения волокна 22 в первой части 52. Максимальная допустимая нагрузка (например, растягивающая нагрузка) волокна 22 может быть ограничена максимальной допустимой нагрузкой для наименьшей площади поперечного сечения в любой точке вдоль волокна 22. На фиг. 6А показано, что наименьшая площадь поперечного сечения волокна 22 может быть расположена в первой части 52. Путем ограничения площади поперечного сечения второй части 54 площадью поперечного сечения первой части 52 может быть минимизирован любой избыточный вес, связанный с увеличенными площадями поперечного сечения волокна 22.

На фиг. 6В показан вид сбоку волокна 22, показанного на фиг. 6А. Волокно 22 может в целом иметь плоскую конфигурацию, как описано выше для волокна 22 в варианте реализации, показанном на фиг. 5А-5Д. В этом отношении, волокно 22, показанное на фиг. 6А-6Д, может иметь толщину 42, которая в целом может быть постоянной вдоль длины 34 волокна. Однако волокно 22 может иметь непостоянную толщину.

На фиг. 6С показан разрез первой части 52 волокна 22, показанного на фиг. 6А.

Конфигурация 32 волокна в его первой части 52 характеризуется первой формой 40а поперечного сечения, обозначенной на чертеже заштрихованным прямоугольником, который ограничивает первую площадь 38а поперечного сечения. На фиг. 6Д показана вторая часть 54, имеющая вторую площадь 38b поперечного сечения и вторую форму 40b поперечного сечения. Вторая форма 40b поперечного сечения волокна 22 является в целом формой прямоугольника, разделенного отверстием 66, показанным на чертеже между двумя заштрихованными областями. Вторая форма 40b поперечного сечения второй части 54 характеризуется общей площадью, равной сумме площадей двух заштрихованных участков. Общая площадь двух заштрихованных участков, показанных на фиг. 6Д, по существу может быть равна площади заштрихованного участка, показанного на фиг. 6С. Таким образом, на фиг. 6А-6Д показан один из множественных вариантов реализации волокна, причем площадь 38 поперечного сечения волокна 22 по существу постоянна вдоль длины 34 волокна (как показано на фиг. 6А), а форма 40 поперечного сечения изменяется вдоль длины 34 волокна.

На фиг. 7А показан вариант выполнения волокна 22, имеющий конфигурацию 32

волокна, которая изменяется вдоль длины 34 волокна. Конфигурация 32 волокна характеризуется последовательностью первых частей 52 и вторых частей 54, которые чередуются друг с другом. Первые части 52 и вторые части 54 на чертеже показаны расположенным периодическим 58 способом вдоль длины 34 волокна. Однако, как указано выше, конфигурация 32 волокна может быть расположена полупериодическим 64 способом, как показано на фиг. 15 и описано ниже. Конфигурация 32 волокна также может изменяться непериодическим способом.

Как показано на фиг. 7В, волокно 22 имеет первую площадь 38а поперечного сечения и первую форму 40а поперечного сечения, являющуюся круглой и представляющей первую часть 52 волокна 22 (показанную на фиг. 7А). На фиг. 6С показана вторая часть 54 (также показанная на фиг. 7А) волокна 22, имеющая вторую площадь 38b поперечного сечения и вторую форму 40b поперечного сечения, также имеющую круглую форму. На фиг. 7А-7С показан вариант выполнения волокна 22, имеющий изменяющуюся площадь 38 поперечного сечения (как показано на фиг. 7С) вдоль длины

34 волокна (как показано на фиг. 7А) и по существу постоянную форму 40 поперечного сечения вдоль длины 34 волокна. Изменение площади 38 поперечного сечения, показанное на фиг. 7В-7С, может быть результатом радиально-однородного увеличения или расширения в размере круглой формы 40 поперечного сечения.

Согласно одному варианту реализации, вторые части 54 (показанные на фиг. 7А) волокна 22 могут иметь вторую площадь 38b поперечного сечения (как показано на фиг. 7С), которая не больше чем примерно на 50% превышает первую площадь 38a поперечного сечения (как показано на фиг. 7В) первых частей 52 (показанных на фиг. 7А). Однако, согласно другому варианту выполнения волокна 22 вторые части 54 имеют вторую площадь 38b поперечного сечения, которая больше чем примерно на 50% превышает первую площадь 38a поперечного сечения первых частей 52. Согласно настоящему изобретению вторая площадь 38b поперечного сечения каждой второй части 54 охватывает, ограничивает или иным способом включает первую площадь 38a поперечного сечения первой части 52 или сердечник 50 волокна (как показано на фиг. 7А). Как указано выше, максимальная допустимая нагрузка (например, растягивающая нагрузка) волокна 22 ограничена максимальной допустимой нагрузкой участка с наименьшим поперечным сечением волокна 22, который может быть расположен в первой части 52. Путем ограничения размера вторых частей 54 избыточный вес и/или экономические потери, связанные с не несущей нагрузку частью волокна 22, могут быть минимизированы.

Предпочтительно волокно 22 согласно варианту реализации, показанному на фиг. 7А-7С, может улучшить межволоконное механическое соединение в плоскостном направлении (например, в слое) и также межволоконное механическое соединение в направлении вне плоскости (например, между слоями). Внеплоскостное механическое соединение волокон 22 (не показано на чертеже) может быть улучшено путем взаимодействия посредством сопряжения вторых частей 54 волокон 22 одного слоя 20 с первыми частями 52 волокон 22 слоях 20, расположенных непосредственно рядом с ним.

На фиг. 8А показан вид сверху варианта выполнения волокна 22, имеющего змеевидную форму 78. Волокно 22 может иметь площадь 38 поперечного сечения, которая может быть смещена относительно продольной оси 36 в различных местах 39 вдоль длины 34 волокна. Согласно одному варианту реализации, волокно 22 может иметь ширину 44, которая в целом постоянна вдоль длины 34 волокна, несмотря на то, что волокно 22 может иметь ширину 44, которая в целом изменяется вдоль длины 34 волокна. Как показано на фиг. 8В, волокно 22 имеет верхнюю и нижнюю поверхности 26, 28, которые в целом параллельны друг другу и задают толщину 42 волокна, которая в целом может быть постоянной. Однако, как указано выше, согласно одному варианту выполнения волокна 22 по меньшей мере одна из поверхностей 24 волокна ориентирована непараллельно по отношению к другой поверхности. Согласно одному из вариантов реализации, волокна 22, показанные на фиг. 8А, могут быть расположены рядом друг с другом (не показано) с образованием слоя, в котором смещения 76 волокон 22 могут быть по меньшей мере частично сопряжены друг с другом для создания межволоконного соединения.

На фиг. 8С показан разрез волокна 22 (показанного на фиг. 8В), имеющего прямоугольную площадь 38 поперечного сечения. Площадь 38 поперечного сечения задает центр 48 тяжести площади, который может быть смещен 76 в одну сторону или в обе стороны относительно продольной оси 36 (как показано на фиг. 8С) волокна 22. На фиг. 8Д показан другой разрез волокна 22, имеющего прямоугольную площадь 38

поперечного сечения с центром 48 тяжести площади, который смещен 76 в другую сторону относительно продольной оси 36 в отличие от смещения 76 центра 48 тяжести площади, показанного на фиг. 8С. Волокно 22, показанное на фиг. 8А-8Д, по существу имеет постоянную площадь 38 поперечного сечения и по существу постоянную форму 40 поперечного сечения (как показано на фиг. 7С) вдоль длины 34 волокна. Не смотря на то, что смещение 76 периодически 58 (как показано на фиг. 8А) изменяется вдоль длины 34 волокна с чередованием сторон продольной оси 36, смещение 76 с противоположных сторон продольной оси 36 может быть полупериодическим или непериодическим, как описано выше. Кроме того, смещение 76 не ограничивается одиночным направлением, таким как направление вдоль длинной поперечной оси 88, как показано на фиг. 8С-8Д, но может быть смещением 76 по меньшей мере в одном из множественных различных направлений, включая направление вдоль короткой поперечной оси 86 или любое из множественных различных направлений.

На фиг. 9А показан вид сверху варианта выполнения волокна 22, содержащего

последовательности имеющих по существу одинаковый размер и форму выпуклостей 81, выполненных вдоль длины 34 волокна. Центры выпуклостей 81 в целом расположены вдоль продольной оси 36. Однако, выпуклости 81 могут быть расположены в любом месте относительно продольной оси 36. Несмотря на то, что волокно 22 показано как имеющее боковые поверхности 30, которые в целом являются прямыми, волокно 22 может иметь любую форму, например змеевидную форму 78, показанную на фиг. 8А, или любую другую форму помимо прочего.

На фиг. 9В показан вид сбоку волокна 22, показанного на фиг. 9А, имеющего толщину 42, которая в целом постоянна вдоль длины 34 волокна. Выпуклости 81 показаны как проходящие от верхней поверхности 26 и от нижней поверхности 28 волокна 22 чередующимся способом. Однако выпуклости 81 могут быть выполнены на одной из верхней и нижней поверхностей 26, 28. Согласно другому варианту реализации выпуклости 81 могут быть выполнены на верхней и нижней поверхностях 26, 28 в не чередующемся порядке (не показано). В показанном на чертеже варианте реализации каждая из выпуклостей 81 дополнительно имеет полую часть 84, которая может быть открыта с внешней стороны волокна 22, так что выпуклости 81 могут иметь отверстия для уменьшения общего веса композитного изделия 10 (показанного на фиг. 4), содержащего волокна 22.

На фиг. 9С показан разрез волокна 22, взятый вдоль части волокна 22 между двумя выпуклостями 81. Конфигурация 32 волокна характеризуется первой площадью 38а

поперечного сечения, обозначенной на чертеже заштрихованной областью, определенной первой формой 40а поперечного сечения, которая является прямоугольной. На фиг. 9Д показан разрез волокна 22, секущий одну из выпуклостей 81. Конфигурация 32 волокна в указанном месте характеризуется второй площадью 38b поперечного сечения и второй формой 40b поперечного сечения в виде арки. Вторая площадь 38b поперечного сечения может быть больше первой площади 38a поперечного сечения (как показано на фиг. 9С). Выпуклости 81 могут улучшить механическое соединение с матрицей 18 (как показано на фиг. 4). Кроме того, несмотря на то, что это не показано на чертежах, выпуклости 81 одного из слоев 20 волокон 22 могут иметь размеры и форму, подходящие для сопряжения с полыми частями 84 (фиг. 9В) выпуклостей 81 волокна 22 непосредственно соседнего слоя 20 (фиг. 4). Такое сопряжение выпуклостей 81 может улучшить межволоконное механическое соединение во внеплоскостном направлении (например, между слоями 20), в результате чего может быть увеличено количество волокон 22, охваченных баллистическим событием.

На фиг. 10А показан вид сверху варианта выполнения волокна 22, содержащего последовательности относительно больших выпуклостей 82 и относительно небольших выпуклостей 83, выполненных вдоль длины 34 волокна. На фиг. 10В показан вид сбоку волокна 22, показывающий относительно большие выпуклости 82, выполненные на 5 верхней поверхности 26, и относительно небольшие выпуклости 83, выполненные на нижней поверхности 28. На фиг. 10С показан разрез волокна 22, секущий одну из относительно небольших выпуклостей 83, в котором заштрихованной областью обозначена первая площадь 38а поперечного сечения, имеющая форму арки. На фиг. 10Д показан разрез волокна 22, секущий одну из относительно больших выпуклостей 10 82, в котором заштрихованной областью обозначена вторая площадь 38б поперечного сечения, также имеющая форму арки. При использовании волокна 22 с имеющими различный размер выпуклостями на верхней поверхности 26 и нижней поверхности 28 могут быть достигнуты различные уровни механического соединения между матрицей 18 и/или другими волокнами 22.

На фиг. 11А-11В показан вариант выполнения волокна 22, имеющего спиральную форму 80. Конфигурация 32 волокна характеризуется формой 40 поперечного сечения, имеющую длинную поперечную ось 88. Ориентация длинной поперечной оси 88 формы 40 поперечного сечения изменяется вдоль длины 34 волокна при наблюдении волокна 22 вдоль направления, параллельного длине 34 волокна. В показанном на чертеже 15 варианте реализации площадь 38 поперечного сечения и/или форма 40 поперечного сечения волокна 22 могут быть по существу постоянными вдоль длины 34 волокна. Однако волокно 22 может иметь площадь 38 поперечного сечения и/или форму 40 поперечного сечения, которые изменяются вдоль длины 34 волокна (не показано). В 20 показанном на чертеже варианте реализации ориентация длинной поперечной оси 88 непрерывно изменяется в направлении, например, по часовой стрелке или против 25 часовой стрелки в зависимости от направления, вдоль которого наблюдается волокно 22. Волокно 22 имеет спиральную форму 80, при которой ориентация длинной поперечной оси 88 изменяется с постоянной скоростью вдоль длины 34 волокна. Однако 30 волокно 22 может иметь конфигурацию, при которой ориентация длинной поперечной оси 88 изменяется с варьирующейся или случайной скоростью. Ориентация длинной поперечной оси 88 также может чередоваться туда и обратно (как показано на фиг. 11С-11Д) вдоль длины 34 волокна, не ограничиваясь изменением спиральной формы 80 в постоянном направлении по часовой стрелке (или против часовой стрелки).

На фиг. 11С-11Д показан вариант выполнения волокна 22, имеющего скрученную 35 форму 79. Конфигурация 32 волокна характеризуется формой 40 поперечного сечения, имеющей длинную поперечную ось 88 (как показано на фиг. 11Д), ориентация которой скручивается туда и обратно вдоль длины 34 волокна (как показано 40 на фиг. 11С) при наблюдении волокна 22 вдоль направления, параллельного длине 34 волокна. Например, в показанном на чертеже варианте реализации поперечная ось 88 скручена туда и обратно примерно на 90° вдоль длины 34 волокна. Однако волокно 22 может быть сконфигурировано таким образом, что поперечная ось 88 скручена туда и обратно на любую угловую величину. Волокно 22 согласно варианту реализации, 45 показанному на фиг. 11А-11Д, может иметь по существу постоянную площадь 38 поперечного сечения вдоль длины 34 волокна. Предпочтительно, поскольку максимальная допустимая нагрузка волокна в целом определяется максимальной допустимой нагрузкой участка с наименьшей площадью поперечного сечения в любой точке вдоль волокна, по существу постоянная площадь 38 поперечного сечения волокна 22 согласно варианту реализации, показанному на фиг. 11А-11Д, минимизирует любой

избыточный вес, в противном случае связанный с волокнами, имеющими увеличенную площадь поперечного сечения вдоль длины волокна.

На фиг. 12А показан вид сверху варианта выполнения волокна 22, имеющего форму 40 поперечного сечения, которая по существу постоянна вдоль длины 34 волокна, и

5 площадь 38 поперечного сечения, которая изменяется вдоль длины 34 волокна. Волокно 22 на чертеже показано как имеющее в целом периодические 58 изменения в его конфигурации в форме периодических 58 изменений формы 40 поперечного сечения и площади 38 поперечного сечения вдоль длины 34 волокна. Однако, как указано выше, волокно 22 может быть сконфигурировано таким образом, что изменения формы 40

10 поперечного сечения и площади 38 поперечного сечения являются полупериодическими или непериодическими. На фиг. 12В показан вид сбоку волокна 22, показывающий изменения в конфигурации 32 волокна вдоль длины 34 волокна. На фиг. 12С показан разрез волокна 22, имеющего первую площадь 38а поперечного сечения и первую форму 40а поперечного сечения, которая в целом является прямоугольной. На фиг.

15 12D показан разрез волокна 22, взятый в участке вдоль длины волокна, имеющем вторую площадь 38b поперечного сечения и вторую форму 40b поперечного сечения, которая в целом является квадратной. Первая площадь 38а поперечного сечения и вторая площадь 38b поперечного сечения в показанном на чертеже варианте реализации по существу могут быть равными. Однако, как указано выше, площадь 38 поперечного

20 сечения может изменяться вдоль длины 34 волокна.

На фиг. 13А показан вид сверху волокна 22, состоящего из первого материала 60 и второго материала 62. Согласно одному варианту реализации, первый материал 60 волокна 22 может быть включен в первую часть 52 волокна 22. Первая часть 52 волокна 22 может содержать сердечник 50, который может проходить вдоль продольной оси

25 36 волокна 22. Второй материал 62 волокна 22 может быть включен по меньшей мере в одну вторую часть 54 волокна 22. Согласно одному варианту реализации, вторые части 54 могут быть смонтированы или иным способом расположены на сердечнике 50 волокна. На фиг. 13В показан разрез волокна 22, взятый вдоль продольной оси 36 волокна 22. На чертеже показан сердечник 50 волокна, выполненный из первого

30 материала 60 и имеющий диаметр 46. На чертеже также показаны несколько вторых частей 54, выполненных из второго материала 62 и смонтированных на сердечнике 50 волокна. На фиг. 13С показан разрез вдоль сердечника 50 волокна, иллюстрирующий первую площадь 38а поперечного сечения и первую форму 40а поперечного сечения, которая является круглой.

35 На фиг. 13D показан разрез вдоль второй части 54 волокна 22 (показанного на фиг. 13А). В показанном на чертеже варианте реализации вторая часть 54 имеет вторую форму 40b поперечного сечения, которая является квадратной. Согласно одному варианту реализации, каждая из вторых частей 54 может быть выполнена в форме бусины 56 из второго материала 62 и установлена (например, закреплена) на сердечнике

40 50 волокна. Несмотря на то, что на чертеже показана бусина, имеющая квадратную форму, волоконные бусины 56 могут иметь любую из множественных форм поперечного сечения. Например, волоконные бусины 56 могут иметь форму сферы, куба, параллелепипеда, многоугольную форму, нерегулярную форму, в целом округлую форму, или иметь любые дополнительные размеры, формы и конфигурации.

45 На фиг. 14А-14В показан вариант выполнения волокна 22, содержащего волоконные бусины 56, имеющие сферическую форму и выполненные из второго материала 62, установленные на сердечнике 50, выполненном из первого материала 60. Согласно одному варианту реализации, волоконные бусины 56, обозначенные заштрихованной

областью, снаружи ограниченной квадратом и кругом изнутри, могут иметь увеличенную площадь 38 поперечного сечения по сравнению с площадью 38 поперечного сечения сердечника 50, который обозначен заштрихованной областью внутри круга.

- 5 Предпочтительно выполнение волокна 22 по меньшей мере из двух различных материалов обеспечивает дополнительное средство для соединения волокон 22 с матрицей 18 (как показано на фиг. 4). Например, первый материал 60 может взаимодействовать с матрицей 18 способом, который отличается от способа взаимодействия второго материала 62 с матрицей 18. В этом отношении, первый 10 материал 60 может обеспечить различные свойства соединения между первым материалом 60 и матрицей 18. Например, первый материал 60 может обеспечить различные уровни прочности, жесткости, податливости, деформации при разрыве и другие свойства адгезионной связи между первым материалом 60 и матрицей 18, отличающиеся от свойств адгезионной связи между вторым материалом 62 и матрицей 15 18.

- На фиг. 15 показан один вариант выполнения волокна 22, в котором конфигурация 32 волокна изменяется полупериодическим 64 способом вдоль длины 34 волокна. Например, волокно 22 может содержать группы вторых частей 54, расположенных с разделительными интервалами вдоль длины 34 волокна. Группы вторых частей 54 20 могут быть отделены друг от друга секцией волокна 22, имеющей относительно уменьшенную ширину 44 или диаметр 46, которая может иметь по существу постоянную площадь поперечного сечения и/или по существу постоянную форму поперечного сечения. Вторые части 54 могут иметь любую из множественных различных форм поперечного сечения и площадей поперечного сечения, включая любую из конфигураций, 25 описанных в настоящей заявке. Предпочтительно группы вторых частей 54 могут быть отделены друг от друга относительно постоянными разделительными интервалами, или указанные разделительные интервалы могут быть изменяющимися между двумя группами вторых частей 54. Вторые части 54 могут иметь размер и могут быть расположены вдоль длины 34 волокна таким образом, чтобы обеспечивать необходимый 30 уровень механического соединения волокон 22 с матрицей. Согласно одному варианту реализации, вторые части 54 могут быть выполнены из различного материала, отличающегося от материала имеющего уменьшенный диаметр сердечника 50, на котором могут быть установлены вторые части 54. Различные материалы могут обеспечивать различные взаимодействия между волокнами 22 и матрицей 18 (показанной 35 на фиг. 3) и таким образом могут обеспечить дополнительное средство для управления соединением между волокнами 22 и матрицей 18.

- Как показано на фиг. 15, полупериодическое 64 расположение конфигурации 32 волокна может быть приспособлено или сконфигурировано для обеспечения дискретизированного управления перемещением волокон 22 относительно матрицы 40 вдоль длины 34 волокна. Например, для вариантов выполнения, в которых необходимо минимизировать площадь оптических искажений в композитном изделии 10, вызванных ударом снаряда, группы вторых частей 54 могут быть расположены вдоль длины 34 волокна способом, при котором минимизируется степень вовлечения волокна в баллистическое событие (например, удар снаряда). В этом отношении, группы вторых 45 частей 54 могут быть расположены относительно с небольшими разделительными интервалами. Напротив, для вариантов выполнения, в которых необходимо максимизировать баллистические характеристики композитного изделия 10 во время удара снаряда, группы вторых частей 54 могут быть расположены с относительно

увеличенными разделительными интервалами, которые максимизируют степень вовлечения волокна в баллистическое событие. Кроме того, относительный размер и конфигурация вторых частей 54 могут быть приспособлены или выбраны таким образом, чтобы обеспечивать дискретизированное или квантованное управление перемещением волокон 22 относительно матрицы.

В любом из вариантов выполнения, описанных в настоящей заявке, форма поперечного сечения волокна 22 может быть любой из множественных различных конфигураций. Например, поперечное сечение волокна 22 может иметь форму круга, закрытого полукруга, эллипсоида, серповидную форму, форму треугольника, квадрата, прямоугольника, многоугольника или любую из множественных различных форм поперечного сечения. Кроме того, волокно 22 может иметь по меньшей мере две различные формы поперечного сечения вдоль длины волокна. Кроме того, волокно 22 может иметь любую нерегулярную или случайную форму поперечного сечения, не ограниченную известными геометрическими формами. По меньшей мере одно из волокон 22 также может иметь в целом полую конфигурацию, так что волокна 22 не ограничены сплошной конфигурацией. Волокно 22 дополнительно может иметь форму поперечного сечения, содержащую по меньшей мере одну пару поверхностей 24 (как показано на фиг. 5В, 6В, 8В, 9В, 10В), которые по существу параллельны друг другу. Кроме того, волокно 22 может иметь форму поперечного сечения (не показана), в который по существу плоские поверхности комбинированы с изогнутыми поверхностями.

Согласно любому из вариантов реализации, описанных в настоящей заявке, матрица 18 (показанная на фиг. 4) и/или волокна 22 (показанные на фиг. 4) могут быть выполнены из любого подходящего органического или неорганического материала, термопластичного материала, термореактивного материала и/или стеклянного материала без ограничений. Например, матрица 18 и/или волокно 22, помимо любого из различных материалов, которые могут быть использованы для изготовления волокон 22, могут быть выполнены из термореактивного материала, включая по меньшей мере один из следующих материалов: акриловые смолы, фторуглероды, полиамиды (нейлоны), полиэтилены, полиэстера, полипропилен, поликарбонаты, полиуретан, полиэфирэфиркетон, полиэфиркетонкетон, полиэфириимида, вытянутые полимеры и любой другой подходящий термопластичный материал. Аналогично, матрица 18 и/или волокна 22, включая любой из различных материалов, которые могут использоваться в волокнах 22, могут быть выполнены из термореактивного пластика, включая любое из следующего: полиуритан, фенольные смолы, полииимида, бисмалеимида, полиэстера, эпоксидные смолы, силесквиоксаны и любой другой подходящий термореактивный пластический материал. Кроме того, матрица 18 и/или волокна 22 могут быть выполнены из неорганического материала, включая углерод, карбид кремния, бор или другой неорганический материал. А также, матрица 18 и/или волокна 22 могут быть выполнены из стекла, содержащего Е-стекло (алюмо-боросиликатное стекло), S-стекло (алюмосиликатное стекло), чистый кварц, боросиликатное стекло, оптическое стекло, керамику, стеклянную керамику и любой другой стеклянный материал без ограничения. Кроме того, матрица 18 и/или волокна 22 могут по меньшей мере частично содержать или включать металлы.

Согласно одному варианту реализации, волокна 22 (показанные на фиг. 4) могут быть выполнены по существу из оптически прозрачного материала, не смотря на то, что волокна 22 могут быть выполнены по существу из непрозрачного материала. Матрица 18 (показанная на фиг. 4) также может быть выполнена по существу из

оптически прозрачного полимерного матричного материала или по существу из непрозрачного материала. Волокна 22 согласно любому из вариантов реализации, описанных в настоящей заявке, могут быть выполнены в форме волокон на основе нитей, моноволокна, многокомпонентного волокна и других типов волокна. Согласно 5 одному варианту реализации, волокна 22 могут иметь толщину 42, ширину 44 и/или диаметр 46, находящиеся в диапазоне примерно от трех (3) микрон до 5000 микрон. Например, волокна 22 могут иметь толщину 42, ширину 44 и/или диаметр 46 в диапазоне примерно от трех (3) микрон до 100 микронов. Согласно дополнительному варианту реализации толщина 42 волокна, ширина 44 волокна и/или диаметр 46 волокна могут 10 находиться в диапазоне примерно от 20 мкм до 50 мкм. Однако волокна 22 могут иметь толщину 42, ширину 44 или диаметр 46 меньше 3 мкм или больше 5000 мкм.

Композитное изделие 10 (показанное на фиг. 4) может иметь любые из множественных различных форм, размеров и конфигураций. В этом отношении, композитное изделие 10 может быть сконфигурировано для использования в любом самоходном или 15 несамоходном случае применения. Например, композитное изделие 10 может быть сконфигурировано как остекление транспортного средства, такого как самолет. Композитное изделие 10 также может представлять собой любую часть ветрового стекла или фонарь кабины самолета. Композитное изделие 10 также может быть сконфигурировано для использования в любой части окна в любом самоходном или 20 несамоходном случае применения. Кроме того, композитное изделие 10 может быть реализовано в форме любой части перегородки, бронированной панели, силовой панели, архитектурной панели, несиловой панели или несилового изделия, слоистой системы или может быть встроено в указанные выше элементы, а также может быть использовано в любом другой форме реализации композитного изделия 10 без ограничения.

25 На фиг. 16 показана часть композитного изделия 10 имеющего волокна 22, встроенные в матрицу 18, в которой волокна 22 расположены рядом друг с другом 70 в несколько слоев 20. Волокна 22 в каждом слое 20 ориентированы перпендикулярно волокнам 22 в соседних слоях 20. Композитное изделие 10 может улучшить взаимодействие 92 волокон 22 путем расположения волокон 22 в одном слое 20 с 30 возможностью являться дополняющими для волокон 22 в слоях 20, расположенных непосредственно рядом с ними. В этом отношении, конфигурация 32 каждого волокна 22 может быть различной вдоль длины 34 волокна, так что волокна 22 содержать первые части 52 и вторые части 54, чередующиеся друг с другом. При приложении силы 90 (как показано на фиг. 16В), действующей по существу перпендикулярно или с 35 наклоном относительно композитного изделия 10, вторые части 54 волокон 22 одного из слоев 20 могут быть по меньшей мере частично сопряжены с волокнами 22 слоев 20, расположенных непосредственно рядом с ними.

На фиг. 16А показан вид с торца композитного изделия 10, показанного на фиг. 16, 40 показывающий волокна 22 в чередующихся слоях 20, в целом выровненные относительно первых частей 52 волокон 22 в слоях 20, расположенных непосредственно рядом с ними. Волокна 22 в каждом слое 20 первоначально могут быть расположены выше или ниже плоскости, заданной соответствующей верхней или нижней поверхностью волокна 22 в соседнем слое 20. Например, нижняя поверхность волокна 22 верхнего слоя 20, как показано на фиг. 16А, может быть расположена выше плоскости, заданной верхней 45 поверхностью волокон 22 соседнего слоя 20, расположенного ниже.

На фиг. 16В показан вид с торца композитного изделия 10, показанного на фиг. 16А, 45 показывающий силу 90, приложенную к волокнам 22. Сила 90 возникает при столкновении снаряда с композитным изделием 10. Как показано на чертеже, сила 90

может вызывать сближение слоев 20 и взаимодействие 92 волокон 22 с волокнами 22 соседнего слоя. В этом отношении, вторые части 54 волокон 22 в каждом слое 20 могут входить по меньшей мере частично во взаимное зацепление или по меньшей мере быть частично сопряженными 74 с первыми частями 52 волокон 22 соседнего слоя.

5 Взаимодействие 92 или сопряжение волокон 22 может улучшать механическое соединение волокон 22 в слоях 20 во время баллистического события, так что относительно увеличенное количество волокон 22 может быть вовлечено в баллистическое событие.

Согласно любому из вариантов реализации, описанных в настоящей заявке, 10 механическое соединение волокон 22 с матрицей 18 (например, волоконно-матричное соединение) вследствие изменения конфигурации 32 волокон 22 вдоль длины 34 волокна может привести к улучшению баллистических характеристик и/или оптических 15 характеристик композитного изделия 10. Кроме того, механическое соединение волокон 22 друг с другом в одном и том же слое 20 и механическое соединение волокон 22 в различных слоях 20 (например, плоскостное межволоконное соединение и 20 внеплоскостное межволоконное соединение) могут привести к улучшению баллистических характеристик и/или оптических характеристик композитного изделия 10. Например, во время баллистического события, в котором на композитное изделие 10, такое как композитная панель 14, может воздействовать снаряд, способность волокон 22 к перемещению в продольном направлении вдоль волокна 22 может влиять 25 на баллистические характеристики композитной панели 14.

Как указано выше, способность волокон 22 в матрице 18 перемещаться в длину 30 вдоль длины 34 волокна относительно матрицы 18 может улучшить способность волокон 22 растягиваться в продольном направлении перед разрушением. Способность волокон 22 перемещаться или скользить относительно друг друга также может улучшить способность волокон 22 растягиваться в продольном направлении. Способность волокон 22 растягиваться в продольном направлении может улучшить способность волокон 22 поглощать энергию снаряда во время его воздействия на композитную панель 14. Улучшение энергопоглощающей способности волокон 22 может улучшить 35 баллистические характеристики композитной панели 14 путем повышения сопротивления композитной панели 14 проникновению в нее снаряда 112.

Для композитных панелей 14, которые по существу являются прозрачными, 35 перемещение волокон 22 относительно матрицы 18 и перемещение волокон 22 относительно друг друга также может влиять на оптические характеристики композитной панели 14 при воздействии на нее снарядом. Например, улучшение энергопоглощающей способности волокон 22 может привести к уменьшению размеров площади вокруг места 116 удара (как показано на фиг. 17). Напротив, использование волокон 22 с улучшенной способностью перемещаться относительно матрицы 18 и 40 относительно друг друга может ухудшить послеударные оптические характеристики композитной панели 14. Ухудшение послеударных оптических характеристиках композитной панели 14 может быть характеризовано увеличением размера площади вокруг места 116 воздействия.

На фиг. 17 показан вид сбоку испытуемого изделия 100 при воздействии снаряда 112 на его переднюю сторону 104. Испытуемое изделие 100 может быть выполнено согласно 45 вариантам реализации композитного изделия 10 (показанного на фиг. 1), описанным выше, согласно которым волокна 110 встроены в матрицу 108. Как указано выше, волокна 110 могут иметь конфигурацию 32 (как показано на фиг. 4), которая изменяется вдоль длины 34 (как показано на фиг. 4) волокон 110. Воздействие снаряда 112 на переднюю сторону 104 происходит в месте 116 воздействия на поверхности 102 изделия.

На фиг. 18 показывает заднюю сторону 106 испытуемого изделия 100, показанного на фиг. 17, с относительно увеличенной площадью локального и общего вовлечения волокон 110 из-за относительно слабого соединения волокон с матрицей и/или межволоконного соединения в ответ на воздействие снаряда 112 на переднюю сторону 104 испытуемого изделия, показанного на фиг. 17. На фиг. 18 показано, что локальное вовлечение 122 волокон 110 включает часть волокон 110 в области, непосредственно окружающей место 116 воздействия на передней стороне 104 испытуемого изделия 100. Глобальное вовлечение 124 волокон 110 в целом может наблюдаться как проходящее в наружном направлении от места 116 воздействия. Относительно увеличенная степень глобального вовлечения 124 может иметь место из-за относительно слабого соединения волокна с матрицей и/или межволоконного соединения в ответ на воздействие снаряда 112 на переднюю сторону 104 испытуемого изделия 100.

На фиг. 19 показан вид сзади испытуемого изделия, имеющего относительно небольшую площадь локального и глобального вовлечения волокон из-за усиленного соединения волокон с матрицей и/или межволоконного соединения по сравнению с соединением, показанным на фиг. 18. Как показано на фиг. 19, усиленное соединение волокна с матрицей и/или межволоконное соединение может быть достигнуто путем увеличения изменений в конфигурации волокна вдоль длины волокон. Усиление соединения волокна с матрицей и/или межволоконного соединения также может быть достигнуто путем уменьшения разделительных интервалов между соседними вторыми частями или между группами вторых частей при полупериодическом 64 расположении, показанном на фиг. 15.

На фиг. 20-21 показаны перспективные виды слоистой системы 94, в которой композитное изделие 10 может быть установлено в пакетированную конструкцию вместе с первым слоем 96 и вторым слоем 98. Согласно одному варианту реализации, первый слой 96 может состоять из керамического и/или стеклянного материала или другого материала и может содержать бронированную поверхность (не показана) слоистой системы 94. Второй слой 98 может быть выполнен в форме композитного слоя, имеющего относительно большую жесткость (не показан), который может быть установлен рядом с первым слоем 96. Композитное изделие 10 может быть установлено на стороне второго слоя 98, противоположной первому слою 96, и таким образом расположено на обратной поверхности или задней стороне слоистой системы 94.

Не смотря на то, что на фиг. 20-21 показано одиночное композитное изделие 10, расположенное на задней стороне слоистой системы 94, может быть использовано любое количество композитных изделий 10. Кроме того, не смотря на то, что на фиг. 20-21 показаны только один первый слой 96 и один второй слой 98, любое количество первых слоев 96 и вторых слоев 98 может быть использовано в комбинации с любым количеством композитных изделий 10. Кроме того, слоистая система 94 может содержать только первый слой 96 и композитное изделие 10. Согласно одному варианту реализации, слоистая система 94 может содержать бронированную панель. Однако слоистая система 94 может быть встроена в любое изделие без ограничения и не ограничивается только бронированной панелью.

Первый слой 96 может быть выполнен из материала, предпочтительно имеющего относительно высокую твердость и относительно высокую жесткость, такого как монолитный слой керамики и/или стекла. Однако первый слой 96 может быть выполнен из различных альтернативных материалов, которые предпочтительно являются относительно жесткими и относительно твердыми. Первый слой 96 может быть выполнен с возможностью функционирования в качестве бронированной поверхности

для баллистических случаев применения. Например, первый слой 96 может быть выполнен с возможностью противостоять удару снаряда.

Второй слой 98 может быть расположен рядом с первым слоем 96, как показано на фиг. 20-21. Второй слой 98 может быть выполнен в форме композитного слоя, имеющего относительно высокую жесткость (не показано). Второй слой 98 может содержать стекловолокно (не показано), встроенное в матрицу (не показана). Согласно другому варианту реализации второй слой 98 может состоять по меньшей мере из одного слоя или листа стекла, такого как по меньшей мере один монолитный лист стекла. Второй слой 98 также может быть выполнен в форме композитного слоя, имеющего высокую жесткость (не показан), состоящего по меньшей мере частично из стекловолокна (не показано), изготовленного из полимерного материала, имеющего высокую прочность и/или высокую жесткость, такого как полиэтилен сверхвысокой плотности,строенного в матрицу (не показана). Комбинированные первый слой 96, второй слой 98 и композитное изделие 10 все вместе образуют усиленную слоистую систему 94, которая сообщает относительно высокую глобальную жесткость первому слою 96 и имеет улучшенные баллистические характеристики.

На фиг. 22 показана блок-схема, показывающая по меньшей мере один этап, который может быть осуществлен в способе 200 изготовления композитного изделия 10 (показанного на фиг. 1). На этапе 202 способа 200 берут волокна 110 (показанные на фиг. 18), в которых каждое волокно 22 (как показано на фиг. 5A-13A) имеет длину 34 волокна (фиг. 5A-13A) и конфигурацию 32 (фиг. 5A-13A).

На этапе 204 изменяют конфигурацию 32 (как показано на фиг. 5A-14B) волокон 22 (показанных на фиг. 5A-13A) вдоль длины 34 волокна (как показано на фиг. 5A-14B). Например, конфигурация 32 волокна может быть различной вдоль длины 34 волокна и может содержать последовательность вторых частей 54 (показанных на фиг. 4), разделенных первыми частями 52 (как показано на фиг. 4) вдоль длины 34 волокна. Согласно одному варианту реализации, конфигурация 32 волокна может изменяться по периодическому 58 закону (как показано на фиг. 4) вдоль длины 34 волокна. Однако конфигурация 32 волокна также может быть изменяться по полупериодическому или непериодическому закону.

Конфигурация 32 волокна (как показано на фиг. 5A-14B) может быть изменена путем изменения формы 40 поперечного сечения (как показано на фиг. 3) волокон 22 вдоль длины 34 волокна (как показано на фиг. 5A-14B) и/или изменения площади 38 поперечного сечения (как показано на фиг. 3) волокон 22 (показанных на фиг. 5A-14B) вдоль длины 34 волокна. Согласно дополнительному варианту реализации конфигурация 32 волокна может быть изменена путем смещения формы 40 поперечного сечения волокон 22 по чередующимся сторонам продольной оси 36 (как показано на фиг. 3), как описано выше, или путем изменения ориентации формы 40 поперечного сечения вдоль длины 34 волокна. Согласно одному варианту реализации, волокна 22 могут иметь змеевидную форму 78 (как показано на фиг. 8A) или спиральную форму 80 (как показано на фиг. 10A), или другие формы. Волокна 22 могут быть выполнены по меньшей мере из одного материала, как описано выше, для достижения различных взаимодействий между волокнами 22 и матрицей 18 (как показано на фиг. 3), который может влиять на соединение между волокнами 22 и матрицей 18.

На этапе 206 способа 200 располагают волокна 22 (как показано на фиг. 5A-14B) рядом друг с другом 70 (как показано на фиг. 3) с образованием слоя 20, такого как слой 20, показанные на фиг. 1-3 и 14-14B. Однако волокна могут быть расположены непараллельно друг к другу. Кроме того, не смотря на то, что это не показано на

чертежах, волокна могут быть использованы в форме плетеной ткани, в которой они могут быть ориентированы по меньшей мере под одним из различных углов относительно друг друга. Согласно одному варианту реализации, волокна 22 могут содержать последовательность вторых частей 54 (как показано на фиг. 4), связанных 5 первыми частями 52 (как показано на фиг. 4), как описано выше.

На этапе 208 располагают волокна 22 таким образом, что вторые части 54 волокон 22 по меньшей мере частично сопряжены 74 (как показано на фиг. 4) с первыми частями 52 соседних волокон 22 слоя 20. Например, на фиг. 4 показано расположение волокон 22 в слое 20, при котором вторые части 54 волокон 22 в слое 20 по меньшей мере 10 частично сопряжены с первыми частями 52 волокон 22 соседнего слоя 20. Согласно другим вариантам реализации (не показаны) вторые части 54 волокон 22 в одном слое 20 могут быть выполнены с возможностью по меньшей мере частичного сопряжения с первыми частями 52 волокон 22 соседнего слоя 20 композитного изделия 10.

На этапе 210 встраивают волокна 22 в матрицу 18 (как показано на фиг. 4) и 15 обрабатывают или отверждают матрицу 18 с образованием композитного изделия 10 (как показано на фиг. 4). Предпочтительно изменение конфигурации 32 волокна вдоль длины 34 волокон 22 может улучшить механическое соединение волокна с матрицей и/или межволоконное механическое соединение в качестве средства для приспособления 20 степени относительного перемещения волокна, такого как во время баллистического события. Путем приспособления степени перемещения волокна относительно матрицы и относительно других волокон можно управлять баллистическими характеристиками и послеударными оптическими характеристиками композитного изделия или улучшать их.

Согласно одному варианту реализации, композитное изделие 10 (показанное на фиг.

25 1) может быть сконфигурировано для улучшения конструктивных характеристик благодаря использованию волокон 22, имеющих конфигурацию 32, которая изменяется периодически или полупериодически вдоль длины 34 волокна. Например, путем образования композитного изделия 10 из волокон 22 с продольным изменением площади поперечного сечения, формы поперечного сечения и/или ориентации волокон 30 устойчивость к повреждениям композитного изделия 10 и сопротивление росту трещин могут быть улучшены по сравнению с устойчивостью к повреждениям и сопротивлением росту трещин традиционного композитного изделия, изготовленного из волокон, которые имеют в целом неизменяющуюся конфигурацию вдоль длины волокна.

Предпочтительно в описанном выше композитном изделии 10 (показанном на фиг.

35 1) изменения конфигурации 32 волокна вдоль длины 34 волокна могут привести к некоторому отклонению трещин в материале матрицы 18. В этом отношении, изменение конфигурации 32 волокна может вызвать распространение трещин в матрице 18 композитного изделия 10 вдоль извилистого пути вместо распространения вдоль в целом прямого пути. Распространение вдоль извилистого пути может привести к 40 ограничению роста трещин в матрице 18 по сравнению с ростом трещин в матрице традиционного композитного изделия, содержащего традиционные волокна с конфигурацией волокон, в целом неизменяющейся вдоль длины волокна. Такая неизменяющаяся конфигурация традиционных волокон может характеризоваться по существу непрерывной или постоянной формой поперечного сечения, по существу 45 непрерывной или постоянной площадью поперечного сечения и/или по существу непрерывной или постоянной ориентацией формы поперечного сечения. Традиционные волокна также могут быть выполнены из материала по существу постоянного типа вдоль длины волокна.

Согласно одному варианту реализации, композитное изделие 10 (показанное на фиг. 1), описанное в настоящей заявке, может содержать волокна 22, имеющие конфигурацию 32, которая изменяется способом, вызывающим распространение трещины в матрице вдоль извилистого пути сквозь один слой 20 или сквозь несколько слоев 20. В этом 5 отношении, изменения конфигурации волокна вдоль длины 34 волокна могут повышать внутрислойную (например, в одном слое) прочность и/или межслойную (например, между соседними слоями) прочность композитного изделия 10 по сравнению с традиционным композитным изделием, содержащим традиционные волокна в целом 10 с неизменяющейся конфигурацией волокон. Повышение внутрислойной прочности может способствовать общему повышению сопротивления развитию трещин в матрице 15 в слое 20 и/или повышению сопротивления развитию трещин при разрушении волоконно-матричного соединения. Повышение межслойной прочности может способствовать общему повышению сопротивления расслаиванию соседних слоев 20. Согласно одному варианту реализации, конфигурация 32 волокон 22 может быть изменена способом, 20 способствующим улучшению межслоевой вязкости разрушения в режиме I и/или улучшению межслоевой вязкости разрушения в режиме II. Межслоевая вязкость разрушения в режиме I может быть характеризована сопротивлением открывшей силе или силе отслаивания, ориентированной вдоль направления, в целом перпендикулярного соседним слоям 20 композитного изделия 10. Межслоевая вязкость разрушения в режиме II может быть характеризована сопротивлением силе срезывания, ориентированной в целом параллельно соседним слоям 20 композитного изделия 10.

В композитном изделии 10, описанном в настоящей заявке, волокна 22 могут быть сконфигурированы таким образом, что изменяющаяся конфигурация может подавлять 25 рост или развитие трещин способом, который улучшает устойчивость к повреждениям композитного изделия. Устойчивость к повреждениям может быть измерена как повышение прочности при сжатии после удара и/или повышение прочности при сжатии со сквозным отверстием. Повышение прочности при сжатии после удара может представлять собой повышение остаточной прочности композитного изделия 10 после 30 относительно низкоскоростного воздействия объекта на композитное изделие. Неограничивающие примеры низкоскоростных воздействий могут включать воздействие, оказанное падающим инструментом, или воздействие летящего мусора на композитное изделие 10 в полете. Повышение прочности при сжатии со сквозным отверстием может представлять собой повышение прочности при продольном изгибе 35 композитного изделия 10 под нагрузкой, работающей на сжатие.

На фиг. 24 показан способ 400 использования композитного изделия 10 (показанного на фиг. 1) в случае применения, таком как в транспортное средство (не показано). Способ 400 использования композитного изделия 10 может содержать этап 402, на 40 котором берут композитное изделие 10 в форме волокон 22 (показанных на фиг. 1), встроенных в матрицу 18 (показанную на фиг. 1), как описано выше, причем каждое из волокон 22 имеет длину 34 волокна (фиг. 1) и конфигурацию 32 волокна (фиг. 1), при этом конфигурация 32 волокна изменяется вдоль длины 34 волокна.

Способ 400, показанный на фиг. 24, дополнительно может содержать этап 404, на котором располагают композитное изделие 10 (показанное на фиг. 1), такое как композитная панель 14 (показанная на фиг. 1) в первом положении в транспортном 45 средстве, которое по существу не перемещается. Композитная панель 14 может быть подвергнута статической загрузке (не показано). Согласно одному варианту реализации, транспортное средство может представлять собой самолет на земле, такой как припаркованный у терминала. На фиг. 23 показан перспективный вид самолета 300, в

который может быть встроен по меньшей мере один варианты реализации композитного изделия 10 (показанный на фиг. 1), описанного в настоящей заявке. Самолет 300 может содержать фюзеляж 302, имеющий пару крыльев 304 и хвостовую секцию 308, которая может содержать вертикальный стабилизатор 312 и горизонтальные стабилизаторы

5 310. Самолет 300 дополнительно может содержать управляющие поверхности 306 и силовые установки 314. Самолет 300 может быть в целом типичным из множественных транспортных средств, которые могут содержать по меньшей мере одно из композитных изделий 10, описанных в настоящей заявке.

Согласно одному варианту реализации, композитное изделие 10 (показанное на фиг.

10 1) может содержать композитную панель 14 (показанную на фиг. 1), которая может быть по меньшей мере частично прозрачной и/или по меньшей мере частично непрозрачной. В условиях статической нагрузки нагрузка на композитную панель 14 может быть ограничена силой тяжести, действующей на массу композитной панели 14. Указанные нагрузки также могут включать сжимающие нагрузки, возникшие при

15 монтаже композитной панели 14 в транспортное средство. Статические нагрузки также могут включать растягивающие нагрузки, поперечные нагрузки и/или крутящие нагрузки, действующие на композитную панель 14 в результате монтажа композитной панели 14 в транспортное средство или в силу других обстоятельств, таких как дифференциальный нагрев соседней конструкции или по другим причинам.

20 Способ 400, показанный на фиг. 24, дополнительно может содержать этап 406, на котором располагают композитную панель 14 (показанную на фиг. 1) во втором положении, в котором транспортное средство, может перемещаться, и/или композитная панель 14 может быть подвергнута динамической нагрузке (не показано). Например, транспортное средство может представлять собой самолет 300 (показанный на фиг.

25 23), перемещающийся вдоль взлетно-посадочной полосы во время взлета. В условиях динамических нагрузок указанные нагрузки, действующие на композитную панель 14, могут включать любую сжимающих нагрузок, растягивающих нагрузок, поперечных нагрузок, крутящих нагрузок или любую комбинацию вышеуказанного. Нагрузки также могут включать локализованные нагрузки, действующие на композитную панель

30 14 в результате удара снаряда или летящих обломков. Как указано выше, продольные изменения конфигурации 32 волокон в композитной панели 14 могут улучшить механическое соединение между волокнами 22 (как показано на фиг. 1) и матрицей 18 (например, волоконно-матричное соединение) и/или между соседними волокнами 22 (например, межволоконное соединение) по меньшей мере в одном из слоев 20 (как

35 показано на фиг. 1), которые образуют композитную панель 14. Механическое соединение может являться средством для управления перемещением волокон относительно матрицы и/или межволоконным перемещением, в результате чего может быть улучшена способность задерживать снаряд, действующий на композитную панель 14.

40 Способ 400, показанный на фиг. 24, дополнительно может содержать этап 408, на котором вызывают распространение любых трещин (не показаны) в матрице 18 вдоль извилистого пути (не показан) благодаря продольным изменениям конфигурации 32 волокон 22 в композитной панели 14. В этом отношении, направления извилистого пути могут быть заданы изменениями в конфигурации 32 волокон 22. Извилистый путь

45 развития трещины может улучшить внутрислойную (например внутри одного слоя) вязкость разрушения и/или межслойную (например, между соседними слоями) вязкость разрушения композитной панели 14. В этом отношении, извилистое развитие трещины может повысить прочность при сжатии после удара композитной панели 14, когда на

композитную панель 14 воздействуют с относительно небольшой скоростью, такой как, например, при ударе падающим инструментом или посторонними предметами на взлетно-посадочной полосе, или гравия в случае перемещения самолета 300 (показанного на фиг. 23) во время взлета или приземления. Кроме того, извилистое развитие трещины 5 может повысить прочность при сжатии со сквозным отверстием в композитной панели 14, в результате чего повышается прочность при продольном изгибе композитной панели 14 под сжимающей нагрузкой.

Согласно одному аспекту настоящего изобретения предложено композитное изделие, содержащее матрицу, волокна, встроенные в матрицу, причем каждое из волокон имеет 10 длину и конфигурацию, при этом конфигурация волокна изменяется вдоль его длины. Предпочтительно волокно состоит из первого материала и второго материала. Предпочтительно матрица и/или волокно выполнены по меньшей мере из одного из следующих материалов: термопластичный материал, содержащий по меньшей мере один из следующих компонентов: акриловые смолы, нейлон, фторуглероды, полиамиды, 15 полиэтилены, полиэфиры, полипропилены, поликарбонаты, полиуретаны, полиэфирэфиркетон, полиэфиркетонкетон, полиэфириамиды, растянутые полимеры; термореактивный пластик, содержащий по меньшей мере один из следующих компонентов: полиуретаны, фенольные смолы, полиимид, бисмалеимиды, полиэфиры, эпоксидные смолы, силесквиоксаны; неорганический материал, содержащий по меньшей 20 мере один из следующих компонентов: углерод, карбид кремния, боросодержащее и стеклосодержащее Е-стекло (алюмоборосиликатное стекло), S-стекло (алюмосиликатное стекло), чистый кварц, боросиликатное стекло, оптическое стекло, керамику, стеклянную керамика. Предпочтительно волокна являются непрозрачными и/или по существу оптически 25 прозрачными, и матрица является непрозрачной и/или по существу оптически прозрачной. Предпочтительно композитное изделие включено по меньшей мере в одно из следующих изделий: ветровое стекло, фонарь кабины, окно, перегородка, бронированная панель, силовая панель, архитектурная панель, несиловое изделие, слоистую систему. Предпочтительно волокна расположены в матрице таким образом, что изменение конфигурации волокна вдоль его длины вызывает распространение 30 трещины в матрице вдоль извилистого пути; и извилистый путь вызывает подавление развития трещины в матрице в отличие о роста трещины в матрице композитного изделия, содержащего волокна в целом с неизменяющейся конфигурацией волокна вдоль его длины. Предпочтительно извилистый путь проходит по меньшей мере частично внутри по меньшей мере одного из следующего: матричного материала в 35 слое волокон и матричного материала между соседними слоями. Предпочтительно конфигурация волокон изменяется способом, вызывающим улучшение по меньшей мере одного из следующего: устойчивости к повреждениям, межслойной вязкости разрушения в режиме I и межслойной вязкости разрушения в режиме II.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения предложен способ изготовления

40 композитного изделия, содержащий этапы, на которых берут волокна, каждое из которых имеет длину и конфигурацию, причем по меньшей мере одно из волокон имеет конфигурацию, которая изменяется вдоль длины волокна, и встраивают указанные волокна в матрицу. Предпочтительно указанные волокна выполнены из первого материала и второго материала. Предпочтительно на дополнительных этапах 45 предложенного способа располагают волокна рядом друг с другом с образованием слоя, причем каждое из волокон содержит последовательность вторых частей, разделенных первыми частями, и располагают указанные волокна таким образом, что вторые части одного из волокон одного слоя по меньшей мере частично сопряжены с

первыми частями соседнего волокна указанного слоя.

Согласно дополнительному аспекту настоящего изобретения предложено волокно для композитного изделия, имеющее длину и конфигурацию, которая изменяется вдоль по меньшей мере части длины волокна. Предпочтительно конфигурация волокна

5 характеризуется площадью поперечного сечения, которая изменяется вдоль длины волокна. Предпочтительно конфигурации волокна характеризуется формой поперечного сечения, которая изменяется вдоль длины волокна. Предпочтительно конфигурация волокна характеризуется площадью поперечного сечения, которая по существу постоянна вдоль длины волокна. Предпочтительно волокно имеет продольную ось,

10 проходящую вдоль длины волокна; причем конфигурация волокна характеризуется площадью поперечного сечения, которая смещена относительно продольной оси в различных местах вдоль длины волокна. Предпочтительно изменение конфигурации волокна содержит последовательность первых частей и вторых частей, расположенных вдоль длины волокна. Предпочтительно волокна имеют толщину в диапазоне примерно

15 от 3 мкм до 5000 мкм.

Дополнительные модификации и усовершенствования настоящего изобретения могут быть очевидными для специалистов. Таким образом, конкретная комбинация частей, описанных и показанных в настоящей заявке, представляет только некоторые варианты реализации настоящего изобретения и не должна толковаться как ограничение

20 альтернативных вариантов реализации способа или устройств в пределах идеи и объема защиты настоящего изобретения.

### (57) Формула изобретения

1. Конструктивное композитное изделие, содержащее:

25 матрицу (18) и  
волокна (22), встроенные в матрицу (18),  
причем каждое волокно (22) имеет длину (34) и конфигурацию (32), а конфигурация (32) волокна изменяется вдоль его длины (34), причем волокна (22) расположены рядом друг с другом с образованием слоя (20);

30 по меньшей мере часть волокон (22) слоя (20) содержит последовательность первых частей и вторых частей; и

волокна (22) расположены таким образом, что вторые части одного из волокон (22) по меньшей мере частично сопряжены с первыми частями соседнего волокна (22) слоя (20).

35 2. Композитное изделие по п. 1, в котором:

конфигурация (32) волокна характеризуется площадью поперечного сечения, которая изменяется вдоль длины (34) волокна.

3. Композитное изделие по п. 1 или 2, в котором:

40 конфигурация (32) волокна характеризуется формой поперечного сечения, которая изменяется вдоль длины (34) волокна.

4. Композитное изделие по п. 1 или 2, в котором:

волокна (22) имеют продольную ось, проходящую вдоль длины (34) волокна, а конфигурация (32) волокна характеризуется площадью поперечного сечения, которая смещена относительно продольной оси в различных местах вдоль длины (34) волокна.

45 5. Композитное изделие по п. 1 или 2, в котором

конфигурация (32) волокна характеризуется формой поперечного сечения, имеющей поперечную ось, причем

ориентация указанной поперечной оси изменяется вдоль длины (34) волокна.

6. Композитное изделие по п. 1 или 2, в котором волокна (22) являются непрозрачными и/или по существу оптически прозрачными;

и

матрица (18) является непрозрачной и/или по существу оптически прозрачной.

5 7. Способ изготовления конструктивного композитного изделия, содержащий этапы, на которых:

берут волокна (22), каждое из которых имеет длину (34) и конфигурацию (32), причем по меньшей мере одно из волокон (22) имеет конфигурацию (32), которая изменяется вдоль длины (34) волокна,

10 располагают волокна (22) рядом друг с другом с образованием слоя (20), причем каждое из волокон (22) содержит последовательность вторых частей, разделенных первыми частями, и

15 располагают волокна (22) таким образом, что вторые части одного из волокон (22) слоя (20) по меньшей мере частично сопряжены с первыми частями непосредственно соседнего волокна (22) слоя (20), и

встраивают волокна (22) в матрицу (18).

8. Способ по п. 7, дополнительно содержащий этап, на котором:

изменяют форму поперечного сечения волокон (22) вдоль их длины (34).

9. Способ по п. 7 или 8, дополнительно содержащий этап, на котором:

20 изменяют площадь поперечного сечения волокон (22) вдоль их длины (34).

10. Способ по п. 7 или 8, дополнительно содержащий этап, на котором:

смещают форму поперечного сечения волокон (22) относительно их продольной оси.

11. Способ нагружения конструктивного композитного изделия транспортного средства, содержащий этапы, на которых:

берут композитное изделие (10) в виде волокон (22), встроенных в матрицу (18), причем каждое из волокон (22) имеет длину (34) и конфигурацию (32), а конфигурация (32) волокна изменяется вдоль его длины (34), волокна (22) расположены рядом друг с другом с образованием слоя (20), и по меньшей мере часть волокон (22) слоя (20)

30 содержит последовательность первых частей и вторых частей, причем волокна (22) расположены таким образом, что вторые части одного из волокон (22) по меньшей мере частично сопряжены с первыми частями соседнего волокна (22) слоя (20);

располагают композитное изделие (10) в первом положении, содержащем условие статической нагрузки, и

35 располагают композитное изделие (10) во втором положении, содержащем условие динамической нагрузки.

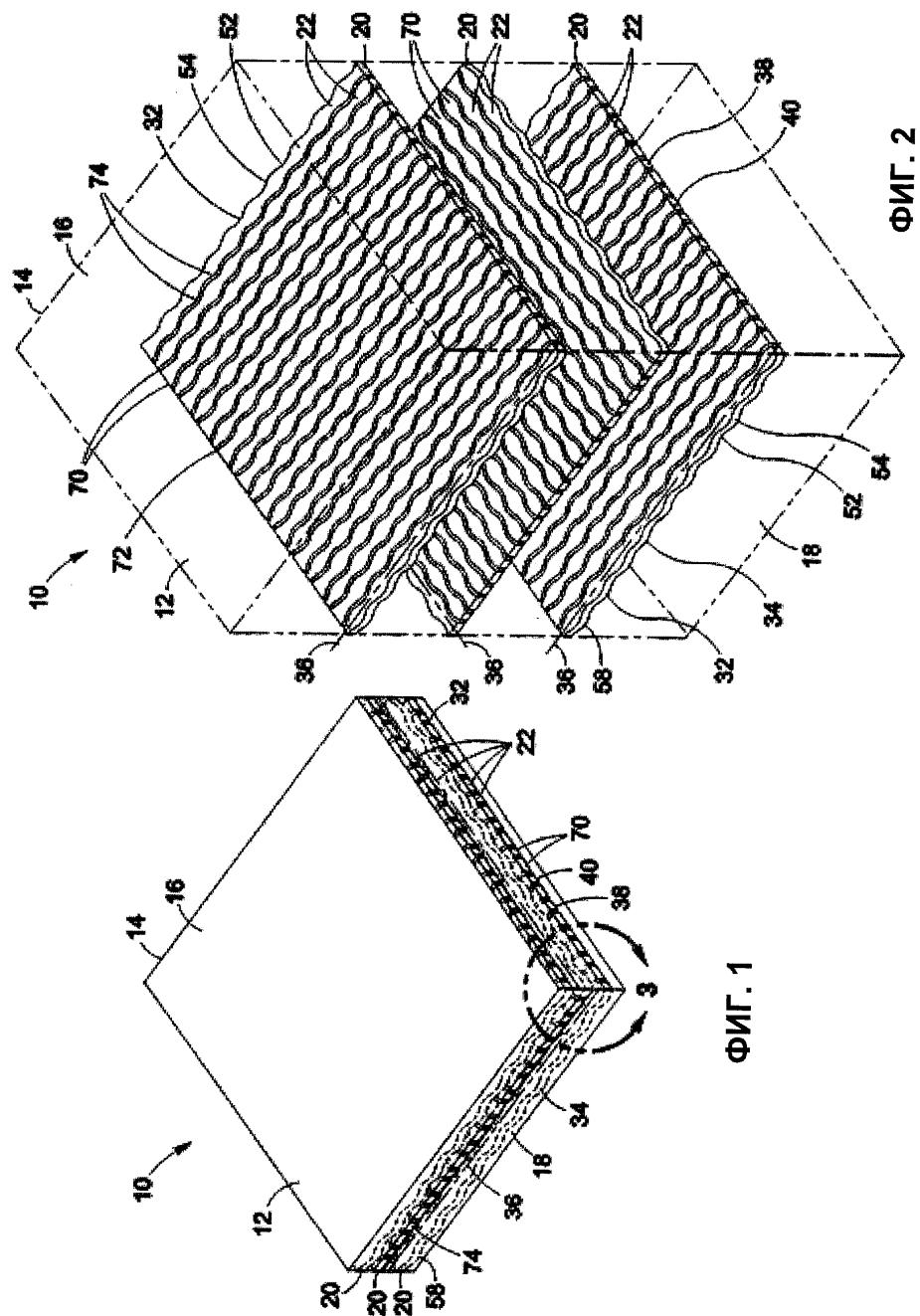
12. Способ по п. 11, дополнительно содержащий этап, на котором:

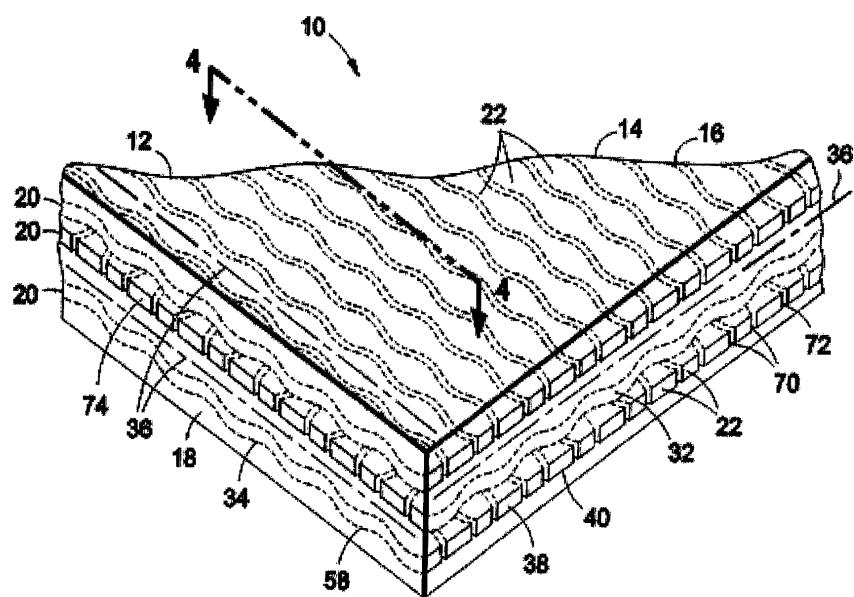
вызывают в ответ на изменение конфигурации (32) волокна вдоль длины (34) волокна распространение трещины в матрице (18) вдоль извилистого пути.

40 13. Способ по п. 11 или 12, согласно которому:

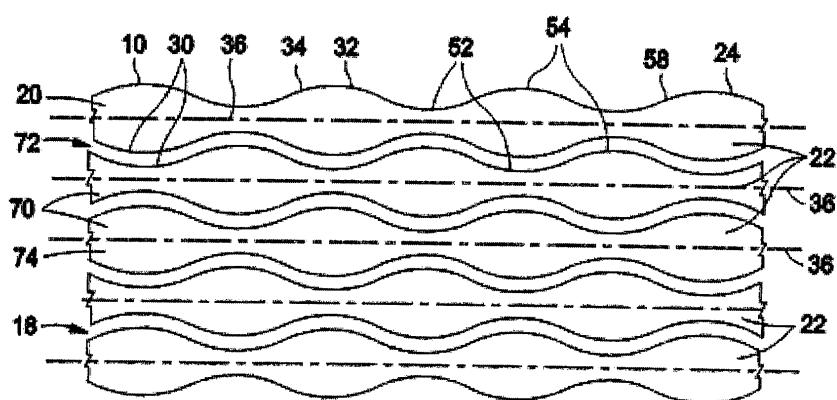
условие статической нагрузки связано по существу с неподвижным транспортным средством; а

условие динамической нагрузки связано с перемещающимся транспортным средством.



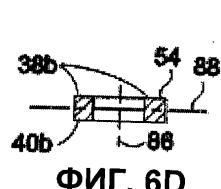
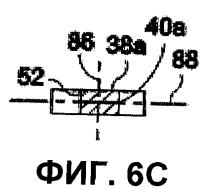
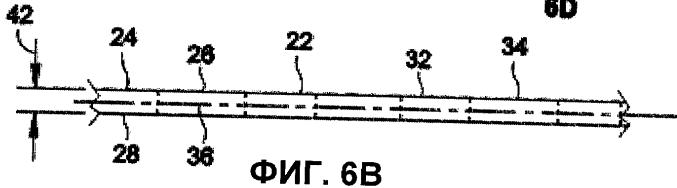
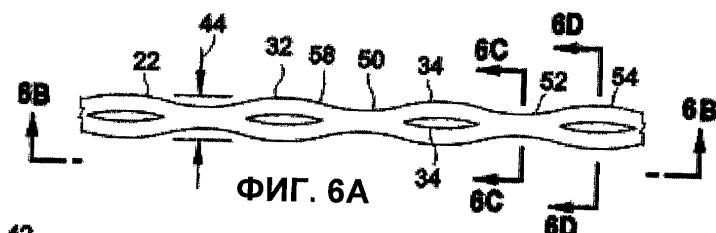
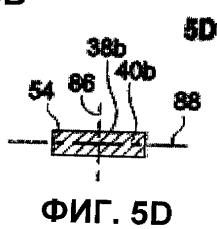
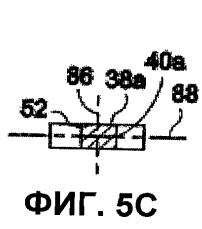
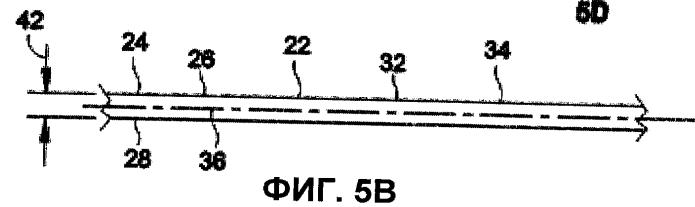
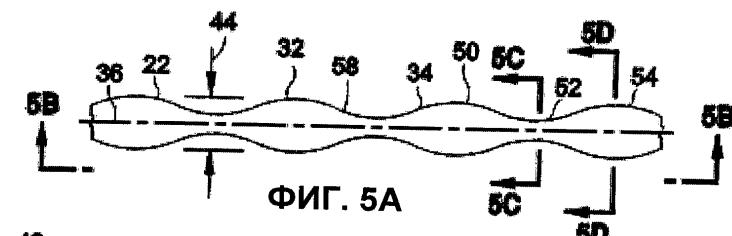


ФИГ. 3

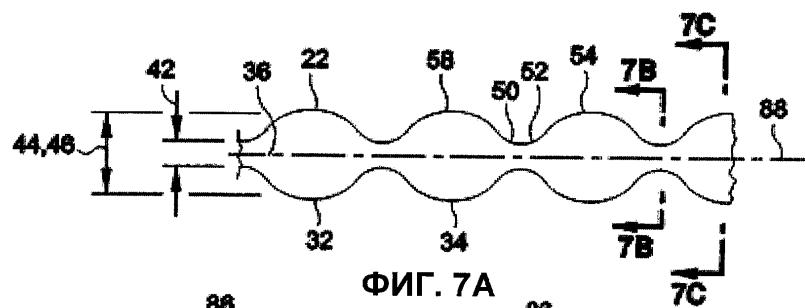


ФИГ. 4

3 / 16

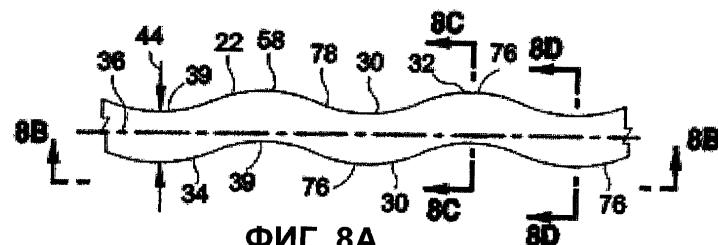


4 / 16

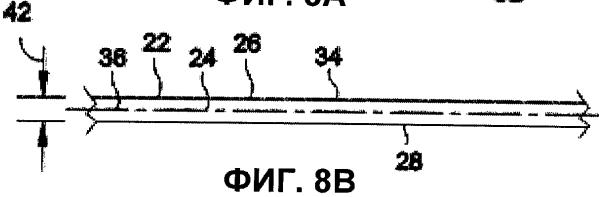


ФИГ. 7В

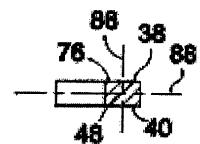
ФИГ. 7С



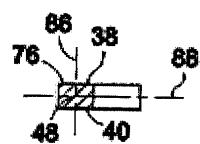
ФИГ. 8А



ФИГ. 8В

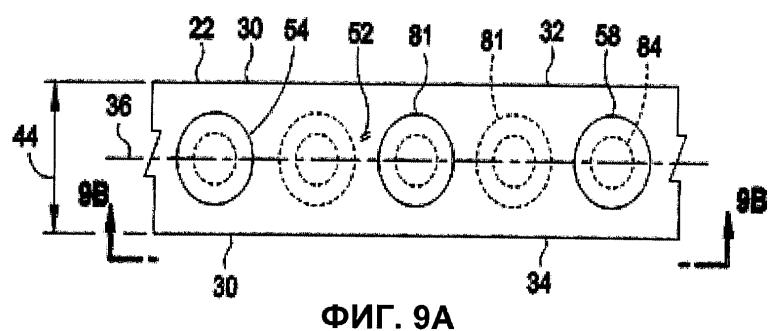


ФИГ. 8С

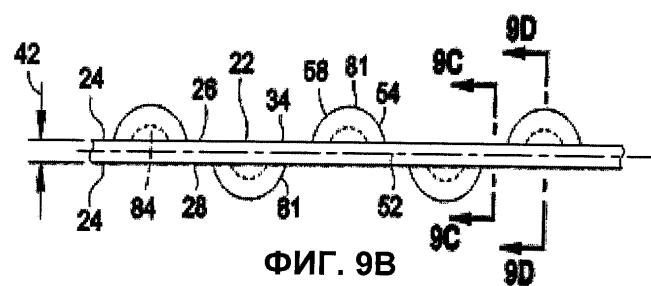


ФИГ. 8Д

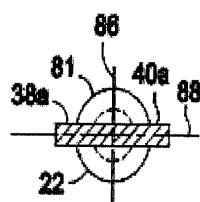
5 / 16



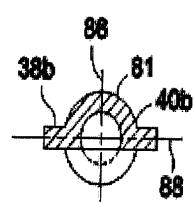
ФИГ. 9А



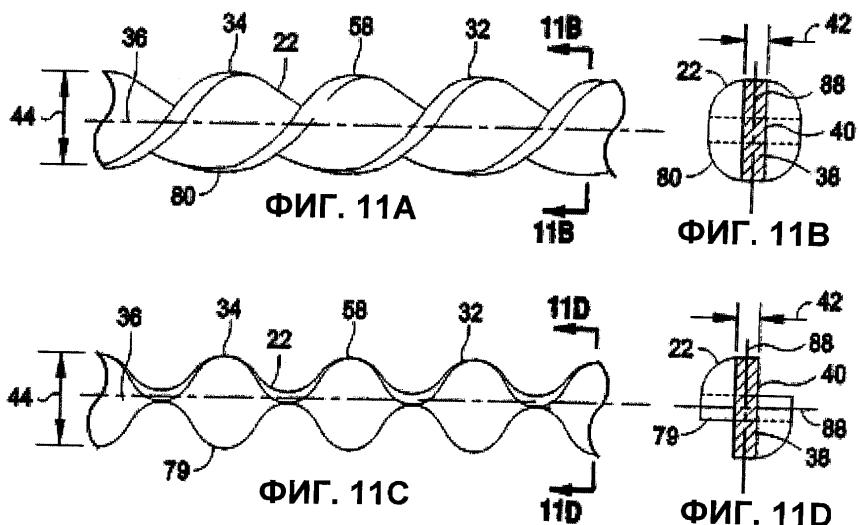
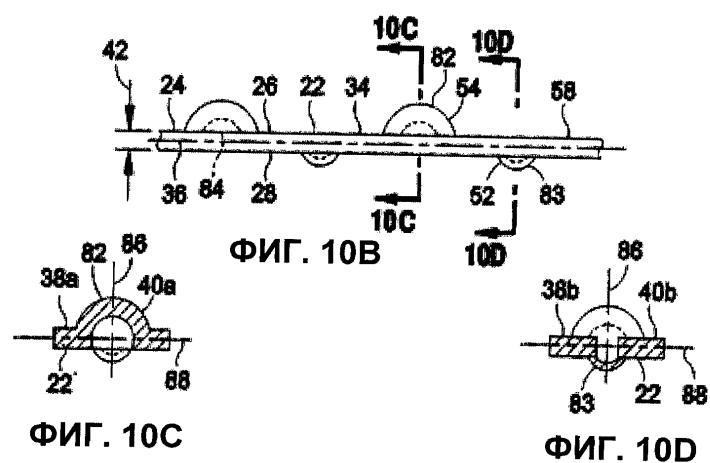
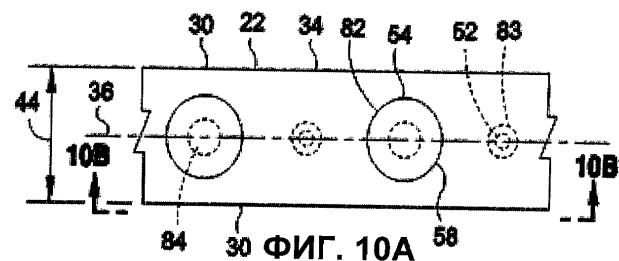
ФИГ. 9В



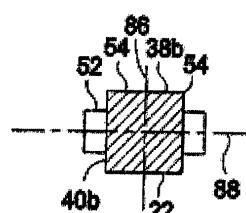
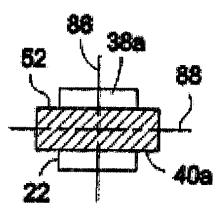
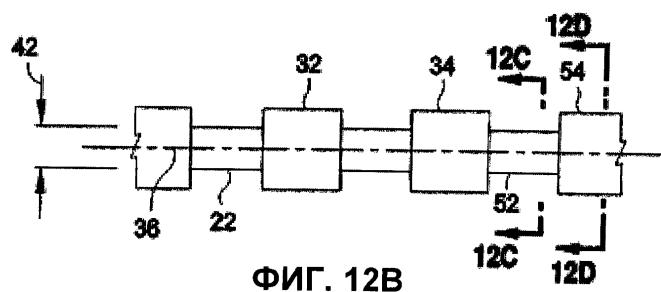
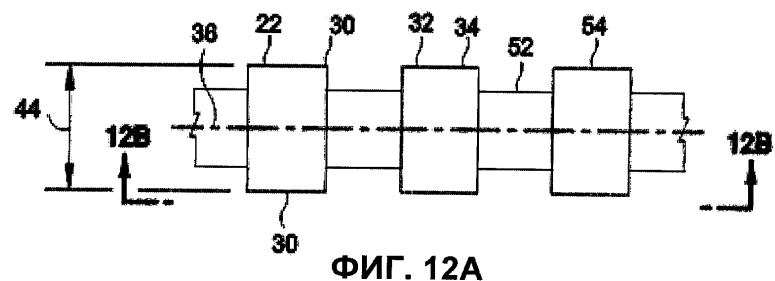
ФИГ. 9С

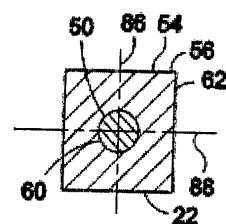
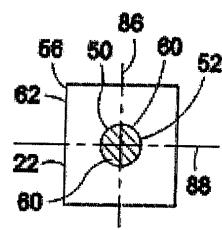
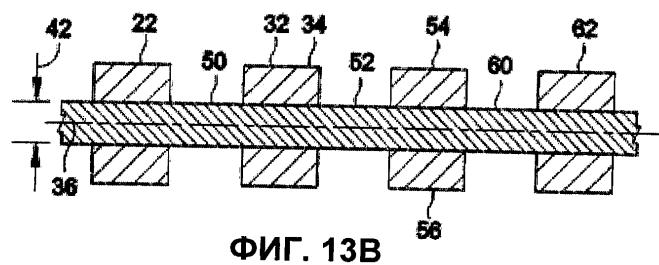
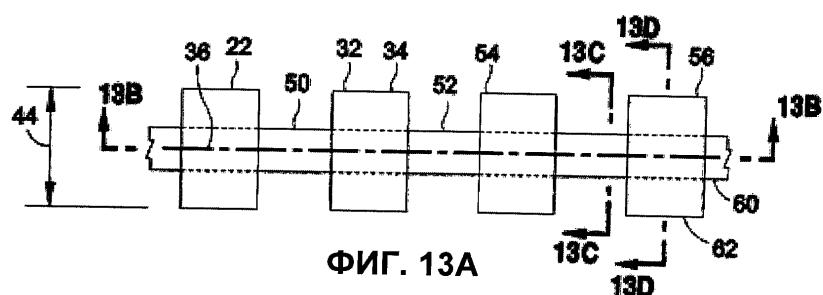


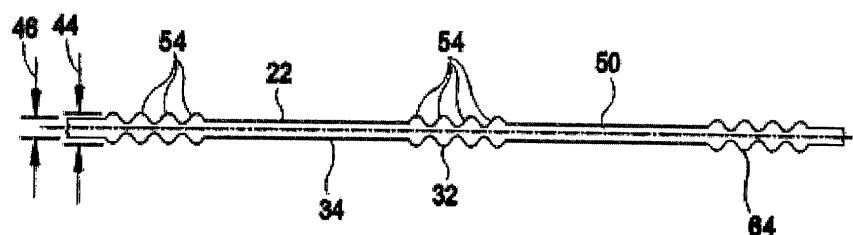
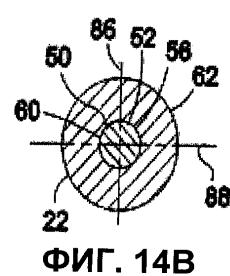
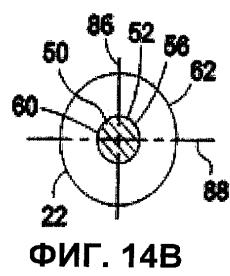
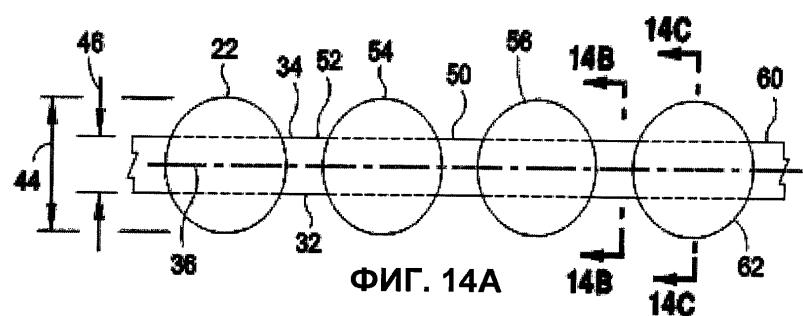
ФИГ. 9Д

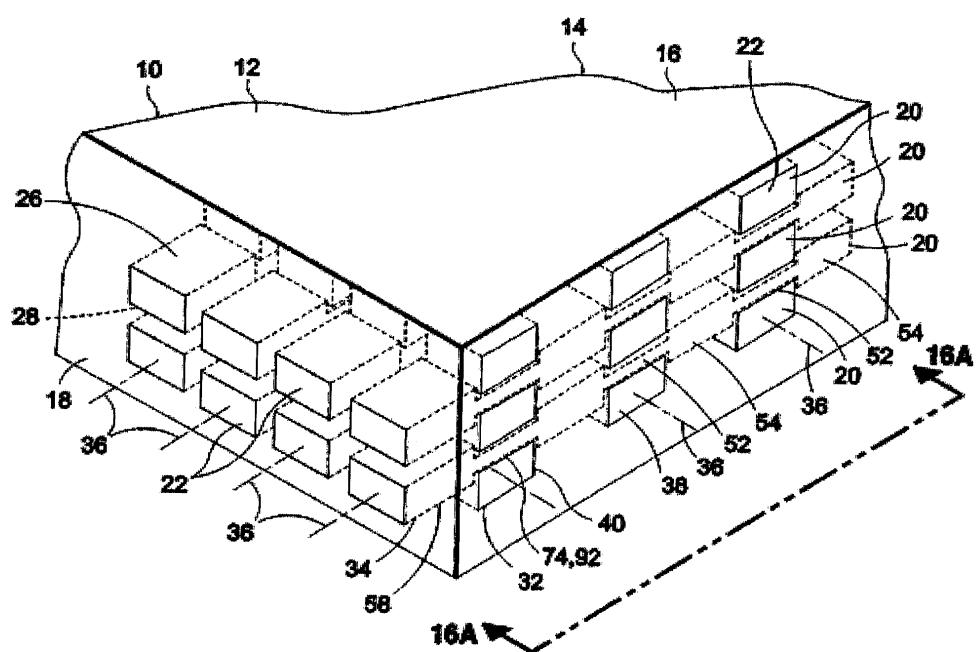


7 / 16

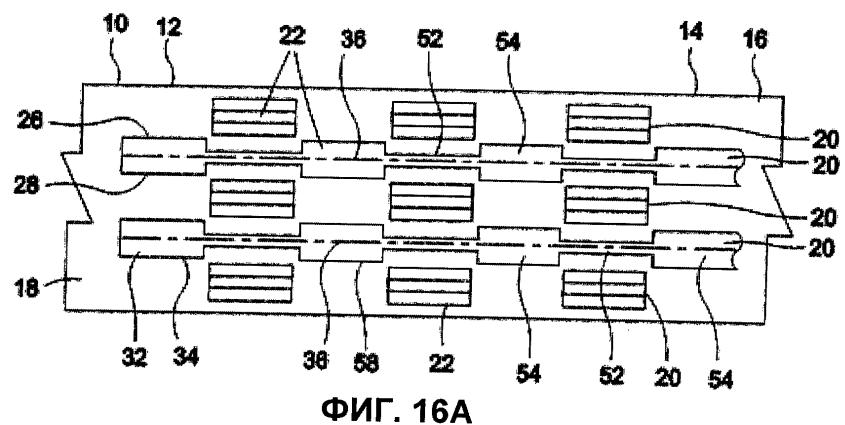




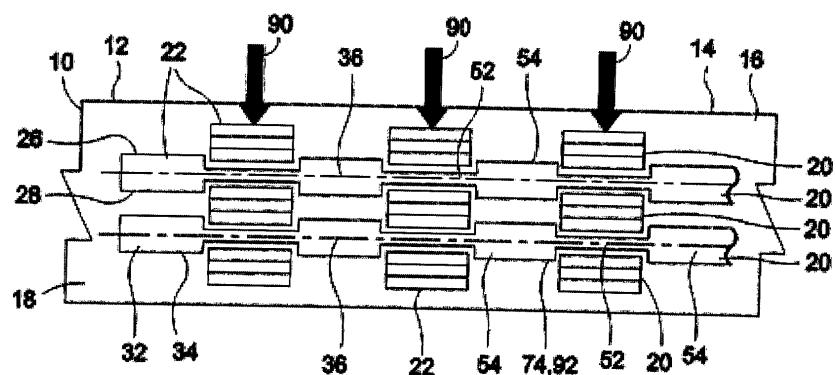




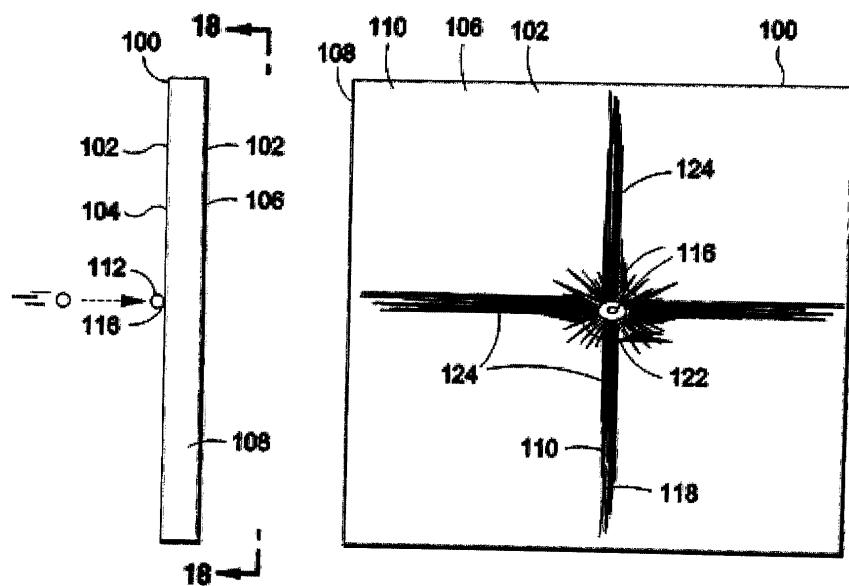
ФИГ. 16



ФИГ. 16А

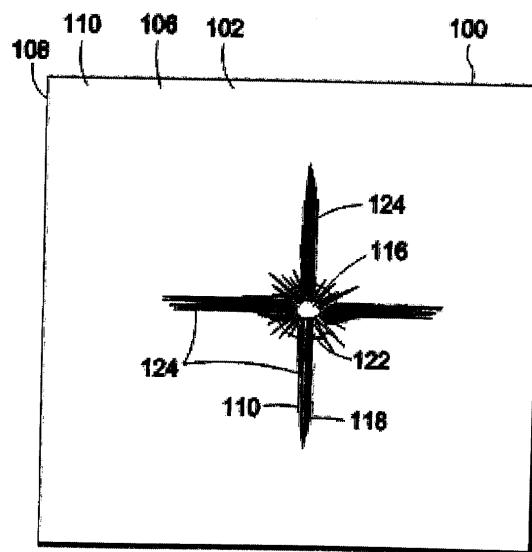


ФИГ. 16В

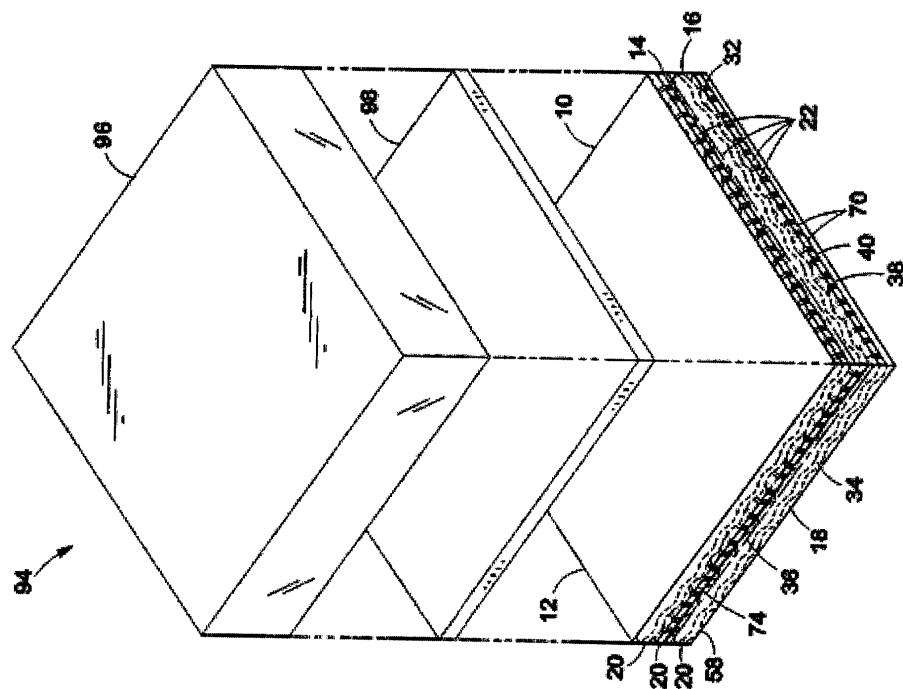


ФИГ. 17

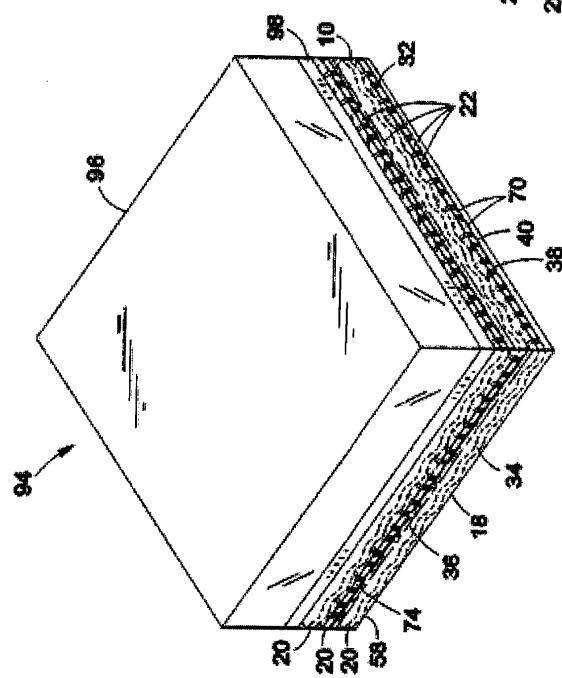
ФИГ. 18



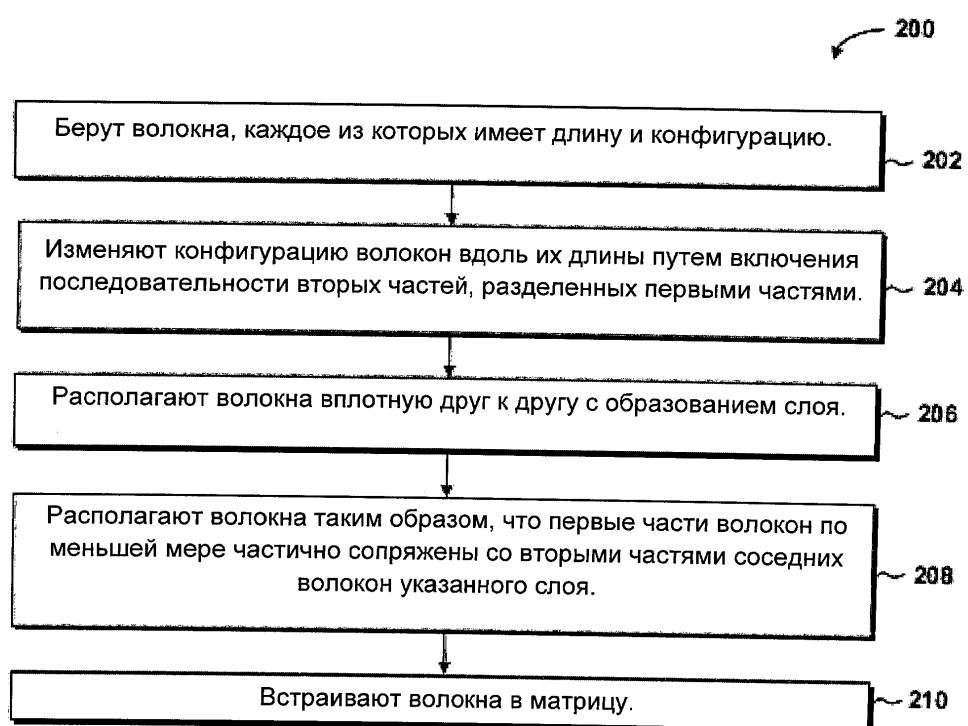
ФИГ. 19



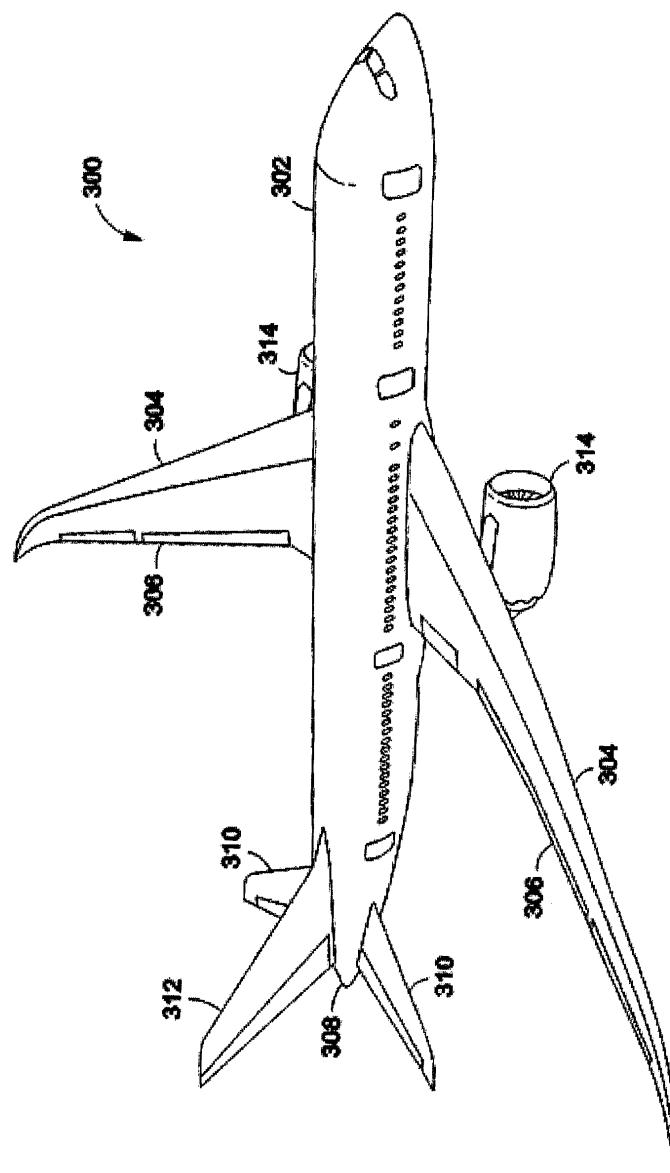
ФИГ. 21



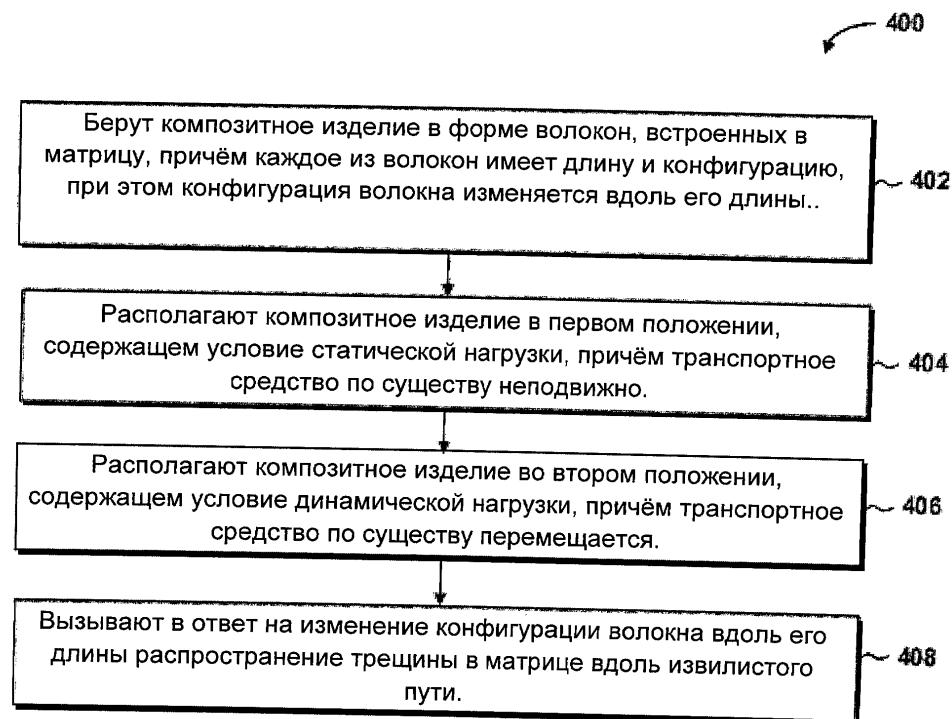
ФИГ. 20



ФИГ. 22



ФИГ. 23



ФИГ. 24