

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202191692** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.12.31

(22) Дата подачи заявки
2019.12.18

(51) Int. Cl. *B32B 5/02* (2006.01)
B32B 5/12 (2006.01)
B32B 5/26 (2006.01)
B32B 1/08 (2006.01)
B32B 7/022 (2019.01)
F16L 11/08 (2006.01)
E21B 17/01 (2006.01)

(54) КОМПОЗИТНЫЙ ТРУБЧАТЫЙ ЭЛЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(31) 102018000020056

(32) 2018.12.18

(33) IT

(86) PCT/IB2019/061029

(87) WO 2020/128907 2020.06.25

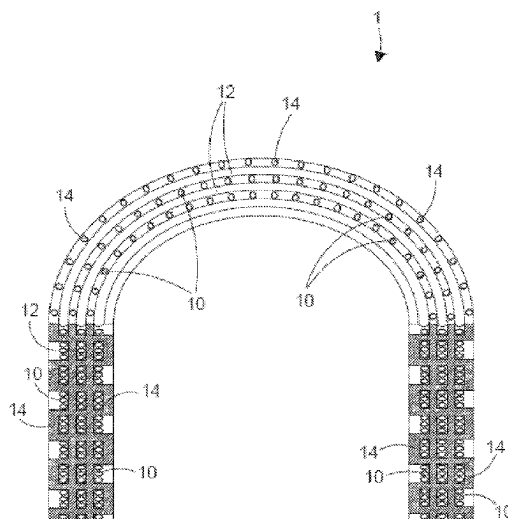
(71) Заявитель:
ЭНИ С.П.А. (IT)

(72) Изобретатель:

Карминати Стефано, Дзампато
Массимо, Ломбарди Марианджела,
Павезе Маттео (IT)

(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Настоящее изобретение относится к трубчатым конструкциям для использования в подводных условиях. Более конкретно, изобретение относится к композитным трубчатым конструкциям для использования в нефтяной и газовой промышленности, такой как производство райзеров, и к способу их изготовления.



A1

202191692

202191692

A1

КОМПОЗИТНЫЙ ТРУБЧАТЫЙ ЭЛЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к трубчатым конструкциям, предназначенным для использования в подводных условиях. В частности, изобретение относится к композитным трубчатым конструкциям для использования в нефтяной и газовой промышленности, таким как эксплуатационные райзеры, и способу их изготовления.

Уровень техники

В последние несколько лет зарегистрированы различные патенты, относящиеся к гибким композитным райзерам и трубам, раскрывающие использование относительно сходных материалов и конструкций.

В патентном документе WO 2013/071449 описана клеёная конструкция, содержащая три основных участка (внутренний, армированный и внешний слой). Армированные (усиленные) слои созданы с помощью спирально намотанных лент, выполненных из термопластичных полимеров, армированных волокнами. Кроме того, в указанном патентном документе приведены некоторые конкретные данные относительно подходящих материалов (полимеры и волокна) для каждого слоя с указанием критериев выбора материала с точки зрения тепловых и/или механических характеристик, химической совместимости или требований, относящихся к условиям монтажа или условиям функционирования.

В патентном документе WO 1999/67561 описана клеёная конструкция, содержащая три основных участка (внутренний, армированный и внешний слой). В этом документе описаны армированные слои, которые формируют с использованием различных ламинатов из термопластичных или термоотверждающихся полимеров, усиленных армированными однонаправленными непрерывными волокнами. Кроме того, приведены некоторые конкретные данные относительно подходящих материалов (полимеры и волокна) для каждого слоя и изменения состава или микроструктуры в каждом слое, для того чтобы сделать их способными выдерживать локальные температурные условия и локальные давления, оптимизируя при этом совместимость материалов.

Предложенная в указанном патентном документе конструкция представляет собой элемент из армированного полимера, созданный из единичных слоев термопластичных матриц, армированных различными волокнами. Кроме того, описанная конструкция райзера может также включать промежуточные слои, образованные из специального

выбранного термопластичного полимера, из числа упомянутых термопластичных матриц, армированных различными волокнами. Эти слои рассчитаны на их использование в качестве ограничителей разрыва и улучшение тепловой изоляции между другими слоями. Наличие субслоев, в которых волокна отсутствуют, будет создавать также некоторое скольжение между соседними слоями, армированными волокнами, что делает трубу более гибкой.

В патентном документе WO 2006/059220 при создании составной системы соединительного трубопровода используется райзер из композитного материала для получения участка транспортирования с меньшей массой, соединенный с плавучей установкой посредством верхнего и нижнего участков, образованных металлическими или не клеёными концевыми трубопроводами. Описанная система содержит центральную часть, образованную композитным трубопроводом, который составляет большую часть длины райзера, при этом его длина намного превышает длину участков верхнего или нижнего концевых трубопроводов.

В патентном документе WO 2010/096671 описана клеёная конструкция композитного трубопровода, содержащая три основных участка (внутренний, армированный и внешний слои). Армированный средний слой характеризуется многослойной структурой, образованной в среднем слое внутренним слоем из композитных лент, средним слоем из термопластичного материала и внешним слоем, выполненным из более твердого термопластика, описанного ниже. Для изготовления композитного трубопровода используется мобильная установка. Кроме того, для каждого слоя приведены некоторые конкретные данные в отношении выбора подходящих материалов (полимеры и волокна).

В патентном документе WO 2010/096671 описан композитный трубопровод с термопластичным внутренним слоем, слоем из ленты, наклеенным на термопластичный слой, и защитным слоем, образованным поверх слоя из ленты. Таким образом, трубопровод содержит три слоя, при этом внутренний слой может быть слоем из термопластичного материала; средний слой может быть слоем из армированной композитной ленты, который может содержать полностью увлажненную ленту и может быть дополнительно заключен или охвачен снаружи термопластиком; наконец, внешний защитный слой может быть выполнен из термопластичного материала. В различных конфигурациях средний слой выполнен в виде многослойной структуры, в которой внутренний средний слой может быть слоем, образованным армированной лентой из композитного материала, средний слой может быть термопластичным эструдатом или

слоем в виде пленки, а внешний средний слой может быть жестким слоем, выполненным из более твердого термопластика.

В патентном документе US 2014/0041879 описан райзер, который характеризуется наличием предварительно напряженных участков (участков, находящихся в состоянии растяжения или сжатия) для обеспечения необходимого пространственного расположения райзера и создания точки перегиба. Характерной особенностью в этом патентном документе является наличие локального изменения состава или микроструктуры композитной стенки для придания предварительно напряженного состояния указанным участкам райзера, в частности, состояния растяжения верхнему и нижнему участкам и, соответственно, состояния сжатия промежуточному участку.

В патентном документе US 2013/0255821 описан райзер, который характеризуется выполнением стенок из композитных материалов с множеством армирующих волокон, внедренных в матрицу. Райзер выполнен с локальным изменением состава или микроструктуры стенки, изготовленной из композитного материала, с соответствующим изменением механических свойств (прочность, жесткость, жесткость при изгибе, изгиб от продольного сжатия, модуль упругости и т.д.) или тепловых характеристик (коэффициент термического расширения, теплопроводность).

В патентном документе CN 103465478 описана резиновая труба, содержащая внутреннюю стенку, внешнюю стенку и каркас, выполненный из вязаной ткани с трехмерной структурой. Задача изобретения заключается в повышении гибкости трубы и создании механически прочной и ударопрочной трубы.

Вязаная ткань представляет собой рифленую с одной стороны тканевую структуру. Ткань соткана из одного или множества тканевых волокон или из трикотажной ленты (сотканной из единственного или из множества тканевых волокон). Указанная ткань может быть также получена путем плетения тканевых волокон и металлической проволоки. Единственным упомянутым в патентном документе типом волокна является арамид. Используемый полимер представляет собой эпоксидную смолу, «пластик», резину или полиуретан.

В патентном документе CN 106885062 описана транспортирующая труба, изготовленная из ткани трехмерного плетения, имеющей трубчатую форму. Труба характеризуется наличием ткани трехмерного плетения, полученной из высокопрочных волокон, и каркаса из резины или полимера. Ткань предпочтительно представляет собой ткань трехмерного ортогонального плетения или трехмерную «плетеную трубчатую ткань», в которой используются высокопрочные волокна.

В настоящее время недостатком трубчатых элементов из композитного материала, таких как райзеры, трубы и тому подобное, образованные из слоев, описанных в приведенных выше примерах, является явление расслаивания, что ограничивает механическую прочность трубчатого элемента и приводит к повреждению. Между слоями распространяются трещины, в частности, в тех местах, где локальная нагрузка является сочетанием режим I – режим II. В настоящее время для увеличения способности полимерной матрицы к упругой деформации осуществляют локальное повышение ударной вязкости, но это создает улучшение лишь с течением времени.

Раскрытие сущности изобретения

В соответствии с настоящим изобретением обеспечивается композитный трубчатый элемент для использования в подводных условиях, при этом композитный трубчатый элемент содержит:

по меньшей мере, первый слой, содержащий первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента, при этом образуется двухмерная трубчатая структура;

третьи волокна, проходящие по меньшей мере частично через толщину стенки с образованием в результате трехмерной трубчатой структуры;

первый термопластичный полимер, распределенный с возможностью последующей заливки им волокон трубчатой структуры и уплотнения (укрепления) за счет этого трубчатой структуры; и

второй термопластичный полимер, введенный с возможностью заполнения остаточных пор трубчатой структуры и формирования, таким образом, трубчатого элемента.

Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением обеспечивается способ изготовления композитного трубчатого элемента, указанный способ включает следующие стадии:

изготовление двухмерной трубчатой структуры, содержащей первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента;

ввод третьих волокон по меньшей мере частично сквозь толщину стенки трубчатого элемента с образованием в результате трехмерной трубчатой структуры;

объединение волокон первым термопластичным полимером; и

ввод второго полимера для заполнения остаточных пор трубчатой структуры с образованием композитного трубчатого элемента.

Трубчатый элемент, полученный в соответствии с изобретением, имеет прочное сцепление по всему поперечному сечению трубчатого элемента. В случае формирования множества слоев, трубчатый элемент предпочтительно имеет повышенное сопротивление эффекту расслоению и распространению трещин под действием напряжений и нагрузок, которые испытывает трубчатый элемент при его использовании.

В качестве варианта по меньшей мере одна из первой, второй и/или третьей групп волокон содержит непрерывные волокна. В качестве варианта по меньшей мере одна из указанных групп волокон образована неизвитыми волокнами. В качестве варианта одна группа волокон или более может быть образована стеклянными волокнами, при необходимости, стеклянными волокнами типа S2. В качестве альтернативы, волокна могут быть углеродными, арамидными или подобными подходящими волокнами.

Стеклянные волокна обладают преимуществом в отношении механических напряжений, подобно, например, углеродным волокнам, но имеют более низкую величину модуля Юнга (обычно углеродное волокно имеет величину модуля Юнга порядка 200 ГПа, в то время как стеклянное волокно характеризуется величиной модуля Юнга 70-90 ГПа). Кроме того, плотность стеклянного волокна выше плотности углеродного волокна. Использование стеклянного волокна, таким образом, создает преимущество в том, что барабаны, необходимые для транспортирования смотанных трубчатых элементов, соответствующих настоящему изобретению, могут иметь намного меньшие размеры, чем в случае использования аналогичных трубчатых элементов, известных в уровне техники, таких как трубопровод или райзер из композитных материалов, что уменьшает стоимость. Напряжения, которые испытывает смотанный трубчатый элемент, уменьшаются, что уменьшает опасность повреждения трубчатого элемента перед его использованием.

Использование стеклянных волокон вместо углеродных волокон приводит к получению меньшей жесткости изготовленного трубчатого элемента в продольном направлении, что создает преимущество вследствие снижения действующего на трубчатый элемент напряжения, и, следовательно, для такого трубчатого элемента необходимо меньшее содержание волокон. Снижение механического напряжения, которое может испытывать трубчатый элемент, зависящее от того, каким образом вводятся через толщину элемента третьи волокна, легко достигается и не оказывает негативного влияния на характеристики трубчатого элемента.

В том случае, если трубчатый элемент можно использовать как часть сборной

конструкции райзера, достигаемые меньшие величины продольного механического напряжения и более высокая гибкость трубчатого элемента подразумевают, что на сборные конструкции верхнего райзера и нижнего райзера действуют напряжения меньшей величины, что позволяет использовать более простые конструкции для передачи нагрузки от райзера в устье скважины или поверхностному сооружению. Плавучие средства, используемые для поддержания райзера на поверхности воды, могут быть уменьшены в размере, что снижает их стоимость и, кроме того, уменьшает напряжения, действующие на райзер.

По усмотрению, двухмерная трубчатая структура, содержащая первые и вторые волокна, может быть образована путем ткачества или плетения, например, путем двумерного или, по усмотрению, трехмерного плетения. Трехмерное плетение позволяет повысить механическое сопротивление по отношению к нагрузкам, действующим в направлении x (продольное направление).

В качестве варианта, структура образована из наложенных одни на другие первых и/или вторых волокон. По усмотрению, первые и/или вторые волокна выполнены прямыми (неизвитыми) волокнами, при необходимости, непрерывными волокнами. По усмотрению, трубчатый элемент может быть образован из неизвитых волокон, которые включают наложенные друг на друга прямые волокна, ориентированные в направлениях x и y . Использование неизвитых волокон позволяет в максимальной степени улучшить механические характеристики волокон в продольном направлении x и в окружном направлении y .

В качестве варианта, там, где двумерная трубчатая структура образована путем двумерного (2D) плетения, в различных направлениях могут проходить волокна различных размеров. Например, плетение, содержащее первые волокна, а именно, плетение из волокон, ориентированных в направлении x , параллельно продольной оси трубчатого элемента, может быть толще плетений в других направлениях. По усмотрению, угол переплетения волокон может отличаться от типичного квази-изотропного трехмерного плетения, имеющего переплетение волокон под углом 0° , $+60^\circ$ и -60° , чтобы полностью обеспечивать механическую прочность вдоль направлений x и z относительно продольной оси трубчатого элемента. Например, волокна переплетений в плоскости x - y трехмерной плетеной трубчатой структуры могут быть ориентированы под углами ϕ_1 , ϕ_2 , например, в интервале от 30° до 80° , или, по усмотрению, от 45° до 75° относительно продольных волокон. По усмотрению содержание волокон в направлениях x , z , ϕ_1 и ϕ_2 может изменяться в соответствии с требованиями, установленными для

трубчатой конструкции. Различные содержания волокон или схемы расположения волокон могут быть использованы вдоль различных направлений и вдоль продольной оси трубчатой структуры, что позволяет получить заданные механические характеристики, такие как жесткость или прочность композитных материалов в различных направлениях.

Некоторые примеры интервалов содержаний волокон для трубчатой структуры, образованной посредством 2D – плетения, включают следующие: содержание волокон в направлении x находится в интервале 20-70 объем.%; содержание волокон в направлении z - в интервале 1-20 объем.%; содержание остальных волокон относится к волокнам, проходящим вдоль направлений ϕ_1 и ϕ_2 . Например, для трубчатого элемента, который подвержен значительным напряжениям в продольном (x) направлении, указанные содержания могут составлять 60 объем.% в направлении x , 10 объем.% в направлении z , и 30 объем.% для волокон в направлениях ϕ_1 и ϕ_2 . Для трехмерного квази-изотропного плетения, позволяющего получить почти изотропные свойства в плоскости x - y и надлежащую прочность в направлении z , содержания волокон, ориентированных в направлении x , могут составлять 30 объем.%; в направлении z - 10 объем.% и в направлениях ϕ_1 и ϕ_2 - 60 объем.%.

По усмотрению, первые и вторые волокна могут быть объединены с образованием предварительно уплотненных лент, например, из расположенных по одной прямой стеклянных волокон, залитых полиэфирэфиркетонам (PEEK). По усмотрению, ленты накладывают одна на другую. По усмотрению, ленты могут быть получены путем ткачества или плетения с образованием двумерной трубчатой структуры. По усмотрению, ширина лент может отличаться в различных направлениях, например, ширина лент, содержащих первые волокна, может отличаться от ширины лент, содержащих вторые волокна. По усмотрению, количество лент, которые одновременно сплетены вдоль заданного направления, может быть переменным. По усмотрению, ленты, выполнены как можно более узкими для получения трубчатой конструкции, имеющей высокую плотность.

Как вариант, в том случае, если трубчатая структура образована путем трехмерного (3D) ткачества, относительные содержания волокон, ориентированных в направлениях x , y и z , соответственно, может изменяться, например, для получения требуемых механических свойств трубчатого элемента во всех направлениях, например, жесткости и прочности в направлениях x , y и z . Достижение заданных механических свойств наиболее эффективно обеспечивается с помощью методов ткачества без получения извитости.

Некоторые примеры интервалов содержаний волокон для трубчатой структуры,

образованной посредством 3D – ткачества включают следующие: волокна в направлении x составляют 30-80 объем.%, волокна в направлении y составляют 10-50 объем.%, волокна в направлении z составляют 1-20 объем.%. Например, для трубчатого элемента, который подвержен высоким напряжениям в продольном (x) направлении, указанные содержания волокон могут составлять 70 объем.% в направлении x , 25 объем.% в направлении y и 5 объем.% в направлении z . Для трубчатого элемента, который подвержен напряжениям средней величины в продольном (x) направлении, указанные содержания волокон могут составлять 45 объем.% в направлении x , 45 объем.% в направлении y и 10 объем.% в направлении z . Для трубчатого элемента, подверженного высокой опасности расслоения, указанные содержания могут составлять 40 объем.% в направлении x , 40 объем.% в направлении y и 20 объем.% в направлении z .

По усмотрению, в любом из направлений x , y , z , ϕ_1 и/или ϕ_2 могут быть использованы волокна различных размеров.

В качестве варианта, трубчатая структура и, следовательно, трубчатый элемент может содержать более чем один слой волокон. По усмотрению, для создания композитного трубчатого элемента волокна могут быть переплетены посредством трехмерного плетения с образованием одновременно одного двумерного слоя. По усмотрению, сразу после формирования конечного двумерного слоя, в/через указанные слои вводятся третьи волокна. По усмотрению, все третьи волокна могут проходить по толщине стенки трубчатой конструкции. По усмотрению, третьи волокна содержат радиальный компонент. По усмотрению, третьи слои могут быть ориентированы под некоторым углом относительно продольной оси трубчатой конструкции, например, 50° - 130° . По усмотрению, третьи волокна могут быть ориентированы в направлении z , т.е. в направлении перпендикулярном продольной оси трубчатой конструкции.

Третьи волокна могут быть введены в двумерную трубчатую структуру путем прошивки, ввода армирующих волокон по оси z , тафтинга или с использованием другого подобного метода, обеспечивающего, таким образом, формирование трехмерной структуры. По усмотрению, третьи волокна выполнены прямолинейными. При необходимости, третьи волокна выполнены непрерывными. Определение «непрерывные волокна» является хорошо известной характеристикой в области композитных материалов. В качестве альтернативы, третьи волокна могут быть дискретными (короткими) волокнами, и в этом случае длина третьих волокон должна быть больше критической длины волокна. Критическая длина волокна является хорошо известным параметром в области композитных материалов, армированных дискретными волокнами.

По усмотрению, эта длина может быть по меньшей мере равна общей толщине стенки трубы. Использование волокон, которые имеют длину больше критической, обеспечивает сохранение механической прочности волокна. По усмотрению, при использовании методов прошивки, ввода армирующих волокон по оси z , тафтинга для достижения трехмерного армирования трубчатого элемента исходная двумерная трубчатая структура по усмотрению образована методом создания двумерной структуры, таким как ткачество или плетение волокон.

По усмотрению, в случае переплетения волокон может быть использована типовая оправка, и указанные операции прошивки, ввода армирующих волокон по оси z , тафтинга могут осуществляться непосредственно на трубчатой структуре. Переплетение волокон оставляет пустоты, через которые игла может иметь доступ к волокнам для прошивки, ввода в качестве армирующих волокон по оси z , тафтинга наложения и других подобных операций.

В случае использования предварительно укрепленных лент для образования трубчатой конструкции оправка, по усмотрению, снабжена на её внешней поверхности выступающими шипами, например, полыми шипами, которые выполнены и размещены с возможностью пробивки отверстий в ленте, находящейся в плоскости x - y и выполнения отверстий в трубчатой конструкции, через которые могут быть произведены прошивка, ввод армирующих волокон по оси z или тафтинг. Плотность лент приводит к тому, что ленты с трудом прокалываются иглой при проведении обычных операций прошивки, введения армирующих волокон по оси z , тафтинга и т.п., и, следовательно, наличие упомянутых шипов на оправке обеспечивает создание пустот, через которые можно осуществлять упомянутые операции прошивки/введения армирующих волокон по оси z /тафтинга.

В качестве варианта, в состав трубчатой структуры включен первый термопластичный полимер, объединяющий волокна с образованием композита с полимерной матрицей. По усмотрению, волокна могут быть предварительно залиты (покрыты) термопластичным полимером. По усмотрению, волокна смешивают с термопластичным полимером. По усмотрению, волокна и термопластичный полимер находятся в виде предварительно уплотненных лент, имеющих большую плотность. По усмотрению, предварительно уплотненные ленты могут быть переплетены с образованием трубчатой конструкции. Плетение предварительно уплотненных лент повышает плотность волокон в композитном трубчатом элементе по сравнению с композитным трубчатым элементом, изготовленным из волокон, не входящих в состав лент.

Объединение термопластичного полимера с волокнами означает, что оба компонента, волокна и термопластичный полимер, сотканы или переплетены с образованием, например, трубчатой структуры. Использование упомянутого полимера позволяет уменьшить плотность волокон в трубчатой структуре. Однако благодаря предпочтительному снижению жесткости в продольном направлении трубчатого элемента продольные напряжения, действующие на трубчатый элемент, снижаются, и, следовательно, трубчатый элемент может выдерживать напряжения при более низкой плотности волокон.

В качестве варианта, уплотнение трубчатой структуры термопластичным полимером достигается путем плавления термопластичного полимера при высокой температуре, по желанию, без воздействия давления на трубчатую структуру. Отсутствие воздействия давления на трубчатую структуру создает преимущество в том, что группа третьих волокон, ориентированных в направлении, перпендикулярном толщине стенки, например, в направлении z , не деформируется, и, таким образом, эти волокна остаются прямолинейными и сохраняют свои армирующие качества. Для уменьшения или предотвращения изгиба или деформации волокон по толщине слоя в процессе создания трубчатой конструкции, содержащей термопластичный полимер, в трубчатой структуре оставляют поры. Полученная пористость получается выше в случае использования трехмерного ткачества или плетения волокон, после которого осуществляют операции прошивки, ввода армирующих волокон по оси z или тафтинга, и ниже - при использовании плетения лент.

В результате плавления термопластичного полимера при высокой температуре предпочтительно получают трехмерную матрицу из полимера и волокон. В том случае, если сплетены плотные ленты, содержащие волокна и термопластичный полимер, плавление термопластичного полимера обеспечивает сцепление одного с другим различных слоев лент. В результате уменьшается пористость всей структуры, и полученная структура имеет высокую плотность. По усмотрению, в качестве термопластичного полимера может быть использован полиэфирэфиркетон (PEEK), полифенилсульфон (PPSU), полисульфон (PSU), полиэфиримид (PEI), полиимид (PI), полиамидимид (PAI) или подобный полимер. По усмотрению, выбранный полимер можно заменить в соответствии с целевым назначением трубчатого элемента.

В качестве варианта термопластичный полимер соответствует следующим параметрам:

- температура перехода в стеклообразное состояние (T_g) находится в интервале

80°C - 150°C; при этом температура T_g должна быть больше максимальной рабочей температуры, действию которой трубчатый элемент будет подвержен в процессе использования; например, полимер будет способен выдерживать температуру добываемого флюида, такого как нефть и/или газа без ухудшения каких-либо механических свойств;

- стойкость к химическому воздействию текучей среды, транспортируемой в трубопроводе, такой как нефть и коррозионно-активные вещества, например, сероводород (H_2S); требования к стойкости заключаются в том, что материал, при необходимости, должен проявлять стойкость к воздействию текучей среды в течение подходящего минимального отрезка времени, находясь при этом в ненапряженном состоянии, и механические свойства материала, по усмотрению, составляют приблизительно 10-15% от исходных первоначальных свойств после прекращения воздействия на материал текучей среды;

- низкая степень расширения (вспучивания), или его отсутствие, при контактировании с текучей средой, например, с нефтью или другими веществами; композитный материал, как вариант, абсорбирует менее 1 объем. % (исходя из объема цилиндрической стенки); и

- низкая проницаемость по отношению к выбранным газам, например, метану CH_4 , сероводороду H_2S , и т.п.; по усмотрению, материал может иметь коэффициент проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

В качестве варианта, вторым полимером может быть термоотверждающийся полимер, но может быть использован и термопластичный полимер. По усмотрению, второй полимер вводится в трубчатую структуру одновременно с плавлением первого термопластичного полимера в условиях высоких температур. Это позволяет обеспечить отверждение структуры трубчатого элемента до достижения максимальной плотности, и заполнение пор, оставшихся в структуре из волокна и термопластичного полимера, на единственной стадии. В качестве альтернативы, второй полимер вводят в трубчатую структуру после распределения термопластичного полимера, например, с помощью вакуумной инфузии.

По усмотрению, второй полимер имеет меньшую величину модуля Юнга, чем композит, образующий матрицу из первого полимера. Использование второго полимера для заполнения пор или пустот, оставшихся при образовании композита, образующего матрицу из первого полимера, создает эффект дополнительного уменьшения величины модуля Юнга трубчатого элемента по сравнению с использованием одного лишь

упомянутого композита. Это дополнительное уменьшение создает положительный эффект уменьшения продольных напряжений, действующих вдоль трубчатого элемента.

По усмотрению, второй полимер имеет низкую величину вязкости в жидком состоянии, например, < 50 пуаз, т.е. при температуре, при которой второй полимер вводится в структуру, содержащую волокна и термопластичный полимер. Низкая величина вязкости предпочтительно увеличивает степень заполнения пустот в трубчатой структуре вторым полимером.

По усмотрению, второй полимер имеет более высокую способность к деформации по сравнению с композитом, образующим полимерную матрицу. Это позволяет второму полимеру лучше внедриться в трубчатую структуру, содержащую волокна и термопластичный полимер, и, таким образом, уменьшить или исключить образование трещин и/или пористости, которые могут привести к снижению коррозионной стойкости трубчатого элемента.

По усмотрению, второй полимер является эластомером, по желанию, термоотверждающимся эластомером. Преимущество термоотверждающегося эластомера заключается в том, что он имеет вязкость в расплавленном состоянии достаточную для заполнения пустот в трубчатой структуре. Термоотверждающийся полимер, например, термоотверждающийся эластомер, имеет дополнительное преимущество в том, что не требует какого-либо соответствия между температурами перехода в стеклообразное состояние и размягчения трубчатого элемента и рабочей температурой трубчатого элемента при его использовании, что было бы необходимо, в случае использования в качестве второго полимера термопластичного полимера.

В качестве варианта, второй полимер немного расширяется при контактировании с транспортируемой текучей средой, такой как нефть, и степень расширения может определяться количеством жидкого вещества, которое может быть адсорбировано полимером, предпочтительно расширение составляет менее 5% по объему. Это выгодно, если трубчатый элемент используется для проведения операций с нефтью и газом, например, в качестве райзера. Незначительное расширение второго полимера при контактировании с транспортируемой текучей средой, например, с нефтью, в этой ситуации выгодно, поскольку способствует, например, герметизации внутренней полости райзера при контактировании его внутренней поверхности райзера с текучей средой в процессе функционирования. По усмотрению, второй полимер обладает низкой проницаемостью по отношению к транспортируемой текучей среде; этот полимер, по усмотрению, может иметь коэффициент проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

По усмотрению, второй полимер имеет высокую химическую стойкость по отношению к текучей среде, транспортируемой через трубчатую конструкцию, например, нефти и коррозионно-активным веществам, таким как сероводород (H_2S), достигающую уровня, подобного первому термопластичному полимеру. Например, второй полимер может проявлять стойкость по отношению к текучей среде в течение надлежащего интервала времени при нахождении в ненапряженном состоянии. По усмотрению, механические свойства материала после прекращения воздействия на материал текучей среды изменяются приблизительно в пределах 10% от исходных величин этих свойств. По усмотрению, второй полимер имеет низкую величину модуля Юнга при температурах, которым этот полимер будет подвержен в процессе использования.

Различные аспекты настоящего изобретения могут быть осуществлены по отдельности или в комбинации с одним или большим числом других аспектов, которые будут приняты во внимание специалистами в данной области техники. Различные аспекты изобретения могут быть, по усмотрению, воплощены в комбинации с одной или большим числом выбранных по усмотрению характерных особенностей (признаков) других аспектов изобретения. Кроме того, выбранные по усмотрению характерные особенности, описанные в отношении одного аспекта, могут быть, как правило, взяты сами по себе или скомбинированы вместе с другими характерными особенностями других аспектов изобретения. Любой объект изобретения, раскрытый в настоящем описании, может быть скомбинирован с любым другим объектом изобретения в этом описании с образованием новой комбинации.

Различные аспекты изобретения далее будут описаны подробно со ссылками на сопровождающие чертежи. Кроме того, другие аспекты, признаки и преимущества настоящего изобретения с очевидностью следуют из полного описания, включая фигуры, которые иллюстрируют ряд примеров особенностей и воплощений изобретения. Изобретение также допускает другие и различные примеры и аспекты, и некоторые детали могут быть модифицированы в различных отношениях, без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Соответственно, каждый приведенный здесь пример следует понимать как имеющий широкое применение и предназначенный для иллюстрации лишь одного возможного пути осуществления изобретения, при этом не предполагается ограничить этим примером объем настоящего описания и пункты формулы изобретения. Кроме того, используемая здесь терминология и фразеология используется исключительно для целей описания, и их не следует рассматривать как ограничивающие объем изобретения. Выражения, такие как «включающий», «содержащий», «имеющий»,

«имеющий в своем составе» или «охватывающий» и их различные варианты предназначены для широкого понимания и охватывают объект изобретения, описанный ниже, эквиваленты и дополнительный, не описанный здесь объект, и не предполагают исключение других примесей, компонентов, целых чисел или интервалов. Подобным образом, термин «содержащий» считается равнозначным терминам «включающий» или «имеющий в своем составе» для подходящих целей правового характера. Таким образом, будет понятно, что во всем описании и пунктах формулы изобретения, за исключением тех случаев, когда по контексту требуется иное, слово «содержать» или его вариации, такие как «содержит» или «содержащий», подразумевают включение указанного числа или групп чисел, но не исключение любого другого числа или группы чисел.

Любое описание документов, фактов, материалов, устройств, изделий и тому подобного включено в настоящее описание исключительно в целях раскрытия особенностей настоящего изобретения. Не предполагается или не представляется, что любая или все эти характерные особенности изобретения известны из уровня техники или являются общеизвестными знаниями в той области техники, к которой относится настоящее изобретение.

В настоящем описании какому бы составу, элементу или группе элементов не предшествовало слово «содержащий», понятно, что имеется в виду также такой же состав, элемент или группа элементов с фразами «состоящий преимущественно из», «имеющий в своем составе», «выбранный из группы, состоящей из», «включающий» или «представляющий собой», предшествующими описанию раскрытию состава, элемента или группы элементов и наоборот. В настоящем описании слова «обычно» или «не обязательно» следует понимать как предназначенные для указания используемых по усмотрению или несущественных признаков изобретения, которые присутствуют в определенных примерах, но в других примерах могут быть исключены без выхода за пределы объема изобретения.

Все численные величины в этом описании следует понимать как указанные с оговоркой «приблизительно». Следует понимать, что все сингулярные формы элементов или любых других описанных здесь компонентов включают множественные их формы и наоборот. Указания на характеристики взаимного расположения, такие, как выше и ниже, и направления, например, «вверх», «вниз» и т.п. следует понимать в контексте примеров, описанных с указанием особенностей расположения элементов, показанных на чертежах, и не следует понимать как ограничивающие изобретение буквальным толкованием термина, вместе с тем они должны быть понятны специалисту.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 - схематическое изображение в разрезе трубчатой конструкции в соответствии с настоящим изобретением.

Фиг.2 - трубчатая конструкция, представленная с примером направлений различных волокон, вид в перспективе.

Фиг.3а-3с - схематическая иллюстрация различных конфигураций волокон и их соответствующей ориентации в пределах трубчатой структуры.

Фиг.4 - пример оправки с внешними шипами для использования при осуществлении перфорации плетеных лент с целью облегчения ввода и размещения волокон в направлении z в трубчатой структуре.

Фиг.5 - стадии изготовления трубчатого элемента в соответствии с настоящим изобретением.

Осуществление изобретения

На фиг.1 и фиг.2 представлены примеры выполнения трубчатой конструкции 1, которая в данном случае в качестве варианта представлена в виде райзера, например, эксплуатационного райзера, нитки трубопровода для инъекции химических веществ, трубопровода для транспортирования нефти, воды и газа, образованного из различных слоев или нитей 50, 55 из волокон, проходящих в направлениях x (продольном) 10 и y (в окружном направлении) 12. Продольные волокна 10 и волокна 12, проходящие в окружном направлении, сплетают друг с другом при объемном размещении волокон и образованием одновременно двумерной (2D) структуры. На фиг.3с показаны направления волокон на основе цилиндрической системы координат, в которой продольные волокна направлены вдоль оси z , а окружные волокна проходят вдоль оси θ .

При достижении требуемого числа нитей 50, 55 в трубчатую структуру 1 вводятся непрерывные волокна, проходящие по толщине, например, в направлении z 14 (на фиг.3с это направление показано осью, имеющей обозначение r) с использованием процессов прошивки, тафтинга или введения армирующих волокон по оси z . Проходящие через всю толщину волокна 14 создают эффект усиления различных нитей, образованных из продольных 10 и окружных 12 волокон, уменьшая относительное перемещение слоев и препятствуя расслоению. Введение добавленных волокон 14, проходящих через толщину, приводит к созданию композитной заготовки в 3D.

Добавление волокон 14, проходящих через толщину, может ухудшить механические характеристики продольных 10 и окружных 12 волокон. Для ослабления этого эффекта могут быть использованы неизвитые волокна. Использование непрерывных

прямых волокон в направлениях x 10 и y 12 улучшает механические свойства волокон по сравнению с плетеными извитыми волокнами.

Волокна 10, 12, 14 представляют собой стеклянные волокна 36 типа S2, смешанные с волокнами 37 из материала РЕЕК (см. фиг.5), которые обладают механической прочностью, сравнимой с углеродными волокнами, но имеют меньшую величину модуля Юнга, составляющую приблизительно 70-90 ГПа (по сравнению с величиной модуля Юнга, составляющей приблизительно 200 ГПа, для углеродных волокон), что обеспечивает большую гибкость полученной в результате трубчатой конструкции 1 и готовому конечному продукту – композитной трубе 90. Плотность стеклянных волокон меньше, чем углеродных волокон, но не более чем на 20%. Результирующее воздействие на характеристики композитной трубы 90, таким образом, является минимальным.

Поскольку композитная труба является более гибкой и в рассматриваемом примере труба 90 представляет собой райзер, это означает, что барабаны, необходимые для транспортирования смотанного райзера имеют намного меньшие размеры, и механические напряжения, которые действуют на трубу 90 вследствие её наматывания на барабан, имеют значительно меньшую величину, что уменьшает опасность повреждения трубы 90 и позволяет снизить затраты.

Кроме того, механические напряжения, действующие на трубу 90 в продольном направлении, связаны с жесткостью волокон и, следовательно, жесткостью трубы 90. Если труба 90 является менее жесткой по сравнению, например, с трубой, содержащей углеродные волокна, это означает, что на трубу 90 в продольном направлении действует напряжение меньшей величины, и, следовательно, ухудшение механических свойств в продольных 10 и окружных 12 волокнах, т.е. в плоскости x - y трубы, может быть допущено в большей степени. В случае райзера последствие действия продольного напряжения меньшей величины и большая податливость к изгибу райзера заключается в том, что напряжения, действующие на сборную конструкцию верхнего райзера и на сборную конструкцию нижнего райзера имеют меньшую величину, что обуславливает необходимость использования более простой системы для передачи нагрузки от райзера на устье скважины или на расположенную на поверхности конструкцию. Помимо этого, наполненная воздухом ёмкость или конструкция, обеспечивающая райзеру плавучесть, могут иметь меньшие размеры, что дополнительно снижает величину напряжений, действующих на райзер, и снижает затраты.

Фиг.3b схематически иллюстрирует пример направлений волокон в трубчатой конструкции 1, которая образована 2D-переплетением продольных 10 и окружных 12

волокон. Требования высокой механической прочности в продольном направлении (показанном осью, обозначенной на фиг.3b буквой x) могут быть удовлетворены благодаря пространственному плетению и изменению размера волокон в различных направлениях плетения. Продольные волокна 10 имеют большую толщину, чем окружные волокна 12, которые в данном примере ориентированы фактически под углом $\pm\varphi$ относительно продольных волокон 10. Например, для квази-изотропного пространственного плетения угол $\varphi = 60^\circ$, и, следовательно, пространственное плетение может быть образовано из волокон, ориентированных под углом 0° , -60° и $+60^\circ$. Углы $\pm\varphi$ могут быть изменены в соответствии с функцией трубы 90 для обеспечения максимума механических свойств волокон. В том случае, если трубчатая конструкции получена с помощью трехмерного плетения, но квази-изотропное формирование плетения не является подходящим, плетеные нити в плоскости x-y, например, могут быть ориентированы под углом $\varphi = 45^\circ$ - 75° относительно продольных волокон.

Содержание волокон 10, 12, 14 в различных направлениях трубчатых стенок (x, y и z в случае плетения, как показано на фиг.3a; x, z и $\pm\varphi$, где трубчатая конструкция 1 образована с использованием трехмерного плетения, как показано на фиг.3b) может изменяться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкции трубы, и функциональным назначением трубы 90. Таким образом, по различным направлениям композитной заготовки будет реализовано различное содержание волокон 10, 12 и 14, что обеспечивает получение заданных механических свойств (жесткости и прочности) трубы 90 в каждом направлении. Углы могут быть изменены в соответствии со способом производства каждой нити в трубчатой конструкции 1.

Некоторые примеры интервалов содержания волокон для трубчатой конструкции 1, образованной путем 2D – плетения, как показано на фиг.3b, включают следующие: содержание волокон в направлении x составляет 20-70 объем. %; содержание волокон в направлении z – 1-20 объем.%; остальные волокна ориентированы вдоль направлений под углом $\pm\varphi$. Например, для трубчатого элемента, который подвержен значительным напряжениям в продольном (x) направлении, содержания в направлении x могут составлять 60 объем.%, в направлении z - 10 объем. % и в направлениях $\pm\varphi$ - 30 объем.%. Для трехмерного квази-изотропного плетения, позволяющего получить почти изотропные свойства в плоскости x-y и хорошую прочность в направлении z, содержания волокон могут составлять 30 объем.% в направлении x, 10 объем.% в направлении z и 60 объем.% в направлениях $\pm\varphi$.

Некоторые примеры интервалов содержания волокон для трубчатой конструкции

1, образованной путем 3D – плетения, так как показано на фиг.3а, включают следующие: содержание волокон 10 в направлении x составляет 30-80 объем. %, в направлении y - 10-50 объем. % и в направлении z – 1-20 объем.%. Например, для трубчатого элемента 90, который подвержен значительным механическим напряжениям в продольном (x) направлении, содержания волокон могут составлять 70 объем.% в направлении x 10, 25 объем.% в направлении y 12 и 5 объем.% в направлении z 14. Для трубчатого элемента 90, подверженного действию продольных напряжений средней величины и высокому давлению, содержания волокон могут составлять 45 объем.% в направлении x 10, 45 объем.% - в направлении y 12 и 10 объем.% - в направлении z 14. Для трубы 90, которая подвержена очень высокой опасности расслоения, указанные содержания волокон могут составлять 40 объем.% в направлении x 10, 40 объем.% в направлении y 12 и 20 объем.% волокон в направлении z 14.

В том случае, если трубчатая структура 1 образована путем плетения волокон, эта структура 1 может быть создана с использованием обычной оправки 46 с кольцом 42 для плетения и катушкой 44, как показано на фиг.5. Сплетенные волокна образуют пустоты, через которые могут быть пропущены волокна в направлении z 14 при осуществлении операций прошивки, тафтинга или введения армирующих волокон по оси z. Первый слой смешанных волокон 35 образован на оправке 46 посредством плетения. Плетение других слоев 55 затем производится поверх первого слоя 50, при этом последующие слои формируют по усмотрению.

В качестве альтернативы, трубчатая структура 1 может быть создана путем использования предварительно уплотненных лент, используемых вместо волокон (не показано). Ленты образованы из расположенных вдоль одной линии стеклянных волокон типа S2, пропитанных полиэфирэфиркетонам (ПЭЕК), которые сотканы или сплетены с образованием композитной двухмерной (2D) заготовки. Ширина лент может изменяться в различных направлениях аналогичным образом с изменением толщины волокон или для достижения максимума механических характеристик полученной в результате трубы 90. В отличие от плетения волокон использование лент приводит к получению плотной структуры, при этом более узкая лента создает более плотную структуру по сравнению с более широкой лентой. Для создания физического пространства, обеспечивающего пропускание волокон 14 в направлении z через нити созданной структуры, может быть использована оправка 20, показанная на фиг.4. Внешняя поверхность оправки 40 выполнена с множеством прикрепленных к ней и обращенных наружу полых шипов 21. Эти шипы 21 прокалывают слои ленты и создают отверстия для пропускания через них

волокон 14 в направлении z.

После формирования слоев 50, 55 через эти слои в направлении z вводятся волокна 14 с помощью операций 62 прошивки, тафтинга или введения армирующих волокон по оси z.

По завершению ввода волокон 14 в направлении z слои полученной структуры необходимо подвергнуть уплотнению путем отверждения полимера РЕЕК, смешанного с волокнами, с образованием уплотненной (упрочненной) трубчатой конструкции 80. Уплотнение достигается путем ввода трубчатой структуры 1 в пресс-форму 74 устройства 70 для полимеризации, показанного на фиг.5. Нагревательный элемент 72 создает высокую температуру нагрева трубчатой структуры 1, в тоже время диафрагма 78 обеспечивает создание давления, действующего на внутреннюю окружную поверхность трубчатой конструкции 1, в результате чего получают уплотненную структуру 80.

Использование полимера РЕЕК обусловлено тем, что он соответствует следующим требованиям для полимера, используемого в процессе уплотнения:

температура (T_g) перехода в стеклообразное состояние находится в интервале 80°C - 150°C ; способность выдерживать температуру добываемого флюида, такого как нефть и/или газ без ухудшения какого-либо из механических свойств;

высокая химическая стойкость к воздействию текучей среды, транспортируемой в трубе, такого как нефть и коррозионно-активные вещества, например, сероводород (H_2S) – способность оказывать сопротивление воздействию текучей среды в течение подходящего минимального промежутка времени при нахождении в ненапряженном состоянии, при этом после прекращения воздействия текучей среды на материал физико-механические (прочностные) свойства композитного материала изменяются в пределах приблизительно 10-15% относительно первоначальных характеристик;

незначительное вспучивание или его отсутствие вследствие контакта с текучей средой, например, нефтью или другими веществами – композитный материал абсорбирует менее 1 % объема, исходя из объема трубчатой стенки; и

низкая проницаемость выбранных газов, например, метана CH_4 , сероводорода H_2S и т.п., которой соответствует коэффициент проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

Процесс уплотнения может оставить некоторую степень пористости в уплотненной структуре 80 для уменьшения или предотвращения изгиба волокон 14 в направлении z в процессе уплотнения. Для исключения пористости в уплотненную структуру 80 может быть введен второй полимер. Второй полимер, в качестве варианта, удовлетворяет следующим требованиям:

низкая величина вязкости (<50 Пуаз) при температуре инфузии;

высокая химическая стойкость, сравнимая с химической стойкостью уплотненной структуры 80;

величина модуля Юнга второго полимера меньше величины модуля Юнга для уплотненной структуры 80 в рабочем интервале температур;

более высокая способность к деформации по сравнению со способностью к деформации уплотненной структуры 80 в рабочем интервале температур;

незначительное вспучивание (определяемое количеством жидкого вещества, абсорбируемого композитом, которое должно составлять менее 5 объем.%) вследствие контакта с транспортируемой текучей средой, таким как нефть или другие вещества; и

низкая проницаемость в отношении текучей среды, характеризуемая величиной коэффициента проницаемости менее 10^{-8} см² с⁻¹ атм⁻¹.

Второй полимер подают в заготовку с использованием метода вакуумной инфузии. Уплотненную структуру 80 размещают в преформу и создают разрежение путем отсасывания воздуха из преформы с помощью спиральной трубки 92 и вакуумной трубки 94. Создания разрежения внутри преформы приводит к всасыванию в преформу второго полимера через вход 96 и спиральную трубку 93 и внедрению второго полимера в уплотненную структуру 80 за счет разрежения. Пропитка вторым полимером приводит к закупориванию пор, оставшихся в уплотненной конструкции 80, и созданию конечного продукта - трубы 90, готовой для использования.

В раскрытых здесь воплощениях могут быть произведены модификации и усовершенствования без выхода за пределы объема изобретения.

КОМПОЗИТНЫЙ ТРУБЧАТЫЙ ЭЛЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к трубчатым конструкциям, предназначенным для использования в подводных условиях. В частности, изобретение относится к композитным трубчатым конструкциям для использования в нефтяной и газовой промышленности, таким как эксплуатационные райзеры, и способу их изготовления.

Уровень техники

В последние несколько лет зарегистрированы различные патенты, относящиеся к гибким композитным райзерам и трубам, раскрывающие использование относительно сходных материалов и конструкций.

В патентном документе WO 2013/071449 описана клеёная конструкция, содержащая три основных участка (внутренний, армированный и внешний слой). Армированные (усиленные) слои созданы с помощью спирально намотанных лент, выполненных из термопластичных полимеров, армированных волокнами. Кроме того, в указанном патентном документе приведены некоторые конкретные данные относительно подходящих материалов (полимеры и волокна) для каждого слоя с указанием критериев выбора материала с точки зрения тепловых и/или механических характеристик, химической совместимости или требований, относящихся к условиям монтажа или условиям функционирования.

В патентном документе WO 1999/67561 описана клеёная конструкция, содержащая три основных участка (внутренний, армированный и внешний слой). В этом документе описаны армированные слои, которые формируют с использованием различных ламинатов из термопластичных или термоотверждающихся полимеров, усиленных армированными однонаправленными непрерывными волокнами. Кроме того, приведены некоторые конкретные данные относительно подходящих материалов (полимеры и волокна) для каждого слоя и изменения состава или микроструктуры в каждом слое, для того чтобы сделать их способными выдерживать локальные температурные условия и локальные давления, оптимизируя при этом совместимость материалов.

Предложенная в указанном патентном документе конструкция представляет собой элемент из армированного полимера, созданный из единичных слоев термопластичных матриц, армированных различными волокнами. Кроме того, описанная конструкция

райзера может также включать промежуточные слои, образованные из специального выбранного термопластичного полимера, из числа упомянутых термопластичных матриц, армированных различными волокнами. Эти слои рассчитаны на их использование в качестве ограничителей разрыва и улучшение тепловой изоляции между другими слоями. Наличие субслоев, в которых волокна отсутствуют, будет создавать также некоторое скольжение между соседними слоями, армированными волокнами, что делает трубу более гибкой.

В патентном документе WO 2006/059220 при создании составной системы соединительного трубопровода используется райзер из композитного материала для получения участка транспортирования с меньшей массой, соединенный с плавучей установкой посредством верхнего и нижнего участков, образованных металлическими или не клеёными концевыми трубопроводами. Описанная система содержит центральную часть, образованную композитным трубопроводом, который составляет большую часть длины райзера, при этом его длина намного превышает длину участков верхнего или нижнего концевых трубопроводов.

В патентном документе WO 2010/096671 описана клеёная конструкция композитного трубопровода, содержащая три основных участка (внутренний, армированный и внешний слои). Армированный средний слой характеризуется многослойной структурой, образованной в среднем слое внутренним слоем из композитных лент, средним слоем из термопластичного материала и внешним слоем, выполненным из более твердого термопластика, описанного ниже. Для изготовления композитного трубопровода используется мобильная установка. Кроме того, для каждого слоя приведены некоторые конкретные данные в отношении выбора подходящих материалов (полимеры и волокна).

В патентном документе WO 2010/096671 описан композитный трубопровод с термопластичным внутренним слоем, слоем из ленты, наклеенным на термопластичный слой, и защитным слоем, образованным поверх слоя из ленты. Таким образом, трубопровод содержит три слоя, при этом внутренний слой может быть слоем из термопластичного материала; средний слой может быть слоем из армированной композитной ленты, который может содержать полностью увлажненную ленту и может быть дополнительно заключен или охвачен снаружи термопластиком; наконец, внешний защитный слой может быть выполнен из термопластичного материала. В различных конфигурациях средний слой выполнен в виде многослойной структуры, в которой внутренний средний слой может быть слоем, образованным армированной лентой из композитного материала, средний слой может быть термопластичным эструдатом или

слоем в виде пленки, а внешний средний слой может быть жестким слоем, выполненным из более твердого термопластика.

В патентном документе US 2014/0041879 описан райзер, который характеризуется наличием предварительно напряженных участков (участков, находящихся в состоянии растяжения или сжатия) для обеспечения необходимого пространственного расположения райзера и создания точки перегиба. Характерной особенностью в этом патентном документе является наличие локального изменения состава или микроструктуры композитной стенки для придания предварительно напряженного состояния указанным участкам райзера, в частности, состояния растяжения верхнему и нижнему участкам и, соответственно, состояния сжатия промежуточному участку.

В патентном документе US 2013/0255821 описан райзер, который характеризуется выполнением стенок из композитных материалов с множеством армирующих волокон, внедренных в матрицу. Райзер выполнен с локальным изменением состава или микроструктуры стенки, изготовленной из композитного материала, с соответствующим изменением механических свойств (прочность, жесткость, жесткость при изгибе, изгиб от продольного сжатия, модуль упругости и т.д.) или тепловых характеристик (коэффициент термического расширения, теплопроводность).

В патентном документе CN 103465478 описана резиновая труба, содержащая внутреннюю стенку, внешнюю стенку и каркас, выполненный из вязаной ткани с трехмерной структурой. Задача изобретения заключается в повышении гибкости трубы и создании механически прочной и ударопрочной трубы.

Вязаная ткань представляет собой рифленую с одной стороны тканевую структуру. Ткань соткана из одного или множества тканевых волокон или из трикотажной ленты (сотканной из единственного или из множества тканевых волокон). Указанная ткань может быть также получена путем плетения тканевых волокон и металлической проволоки. Единственным упомянутым в патентном документе типом волокна является арамид. Используемый полимер представляет собой эпоксидную смолу, «пластик», резину или полиуретан.

В патентном документе CN 106885062 описана транспортирующая труба, изготовленная из ткани трехмерного плетения, имеющей трубчатую форму. Труба характеризуется наличием ткани трехмерного плетения, полученной из высокопрочных волокон, и каркаса из резины или полимера. Ткань предпочтительно представляет собой ткань трехмерного ортогонального плетения или трехмерную «плетеную трубчатую ткань», в которой используются высокопрочные волокна.

В патентном документе US 2008/277013 описано покрытие, используемое для ремонта трубопроводов и каналов. Согласно US 2008/277013 покрытие выполнено многослойным, в котором имеется сотканый слой, содержащий трехмерную сетчатую структуру, образованную из стеклянных и углеродных волокон, переплетенных с полимерным материалом с образованием нитей этой структуры. В соответствии с US 2008/277013 сплетенный слой, перед установкой укладкой трубопровода пропитывают смолой, которая проникает в весь слой, заполняя пустые объемы трехмерной структуры.

В настоящее время недостатком трубчатых элементов из композитного материала, таких как райзеры, трубы и тому подобное, образованные из слоев, описанных в приведенных выше примерах, является явление расслаивания, что ограничивает механическую прочность трубчатого элемента и приводит к повреждению. Между слоями распространяются трещины, в частности, в тех местах, где локальная нагрузка является сочетанием режим I – режим II. В настоящее время для увеличения способности полимерной матрицы к упругой деформации осуществляют локальное повышение ударной вязкости, но это создает улучшение лишь с течением времени.

Раскрытие сущности изобретения

В соответствии с настоящим изобретением обеспечивается композитный трубчатый элемент для использования в подводных условиях, при этом композитный трубчатый элемент содержит:

по меньшей мере, первый слой, содержащий первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента, при этом образуется двухмерная трубчатая структура;

третьи волокна, проходящие по меньшей мере частично через толщину стенки с образованием в результате трехмерной трубчатой структуры;

первый термопластичный полимер, распределенный с возможностью последующей заливки им волокон трубчатой структуры и уплотнения (укрепления) за счет этого трубчатой структуры; и

второй термопластичный полимер, введенный с возможностью заполнения остаточных пор трубчатой структуры и формирования, таким образом, трубчатого элемента.

Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением обеспечивается способ изготовления композитного трубчатого элемента, указанный способ включает следующие стадии:

изготовление двухмерной трубчатой структуры, содержащей первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента;

ввод третьих волокон по меньшей мере частично сквозь толщину стенки трубчатого элемента с образованием в результате трехмерной трубчатой структуры;

объединение волокон первым термопластичным полимером; и

ввод второго полимера для заполнения остаточных пор трубчатой структуры с образованием композитного трубчатого элемента.

Трубчатый элемент, полученный в соответствии с изобретением, имеет прочное сцепление по всему поперечному сечению трубчатого элемента. В случае формирования множества слоев, трубчатый элемент предпочтительно имеет повышенное сопротивление эффекту расслоению и распространению трещин под действием напряжений и нагрузок, которые испытывает трубчатый элемент при его использовании.

В качестве варианта по меньшей мере одна из первой, второй и/или третьей групп волокон содержит непрерывные волокна. В качестве варианта по меньшей мере одна из указанных групп волокон образована неизвитыми волокнами. В качестве варианта одна группа волокон или более может быть образована стеклянными волокнами, при необходимости, стеклянными волокнами типа S2. В качестве альтернативы, волокна могут быть углеродными, арамидными или подобными подходящими волокнами.

Стеклянные волокна обладают преимуществом в отношении механических напряжений, подобно, например, углеродным волокнам, но имеют более низкую величину модуля Юнга (обычно углеродное волокно имеет величину модуля Юнга порядка 200 ГПа, в то время как стеклянное волокно характеризуется величиной модуля Юнга 70-90 ГПа). Кроме того, плотность стеклянного волокна выше плотности углеродного волокна. Использование стеклянного волокна, таким образом, создает преимущество в том, что барабаны, необходимые для транспортирования смотанных трубчатых элементов, соответствующих настоящему изобретению, могут иметь намного меньшие размеры, чем в случае использования аналогичных трубчатых элементов, известных в уровне техники, таких как трубопровод или райзер из композитных материалов, что уменьшает стоимость. Напряжения, которые испытывает смотанный трубчатый элемент, уменьшаются, что уменьшает опасность повреждения трубчатого элемента перед его использованием.

Использование стеклянных волокон вместо углеродных волокон приводит к получению меньшей жесткости изготовленного трубчатого элемента в продольном направлении, что создает преимущество вследствие снижения действующего на

трубчатый элемент напряжения, и, следовательно, для такого трубчатого элемента необходимо меньшее содержание волокон. Снижение механического напряжения, которое может испытывать трубчатый элемент, зависящее от того, каким образом вводятся через толщину элемента третьи волокна, легко достигается и не оказывает негативного влияния на характеристики трубчатого элемента.

В том случае, если трубчатый элемент можно использовать как часть сборной конструкции райзера, достигаемые меньшие величины продольного механического напряжения и более высокая гибкость трубчатого элемента подразумевают, что на сборные конструкции верхнего райзера и нижнего райзера действуют напряжения меньшей величины, что позволяет использовать более простые конструкции для передачи нагрузки от райзера в устье скважины или поверхностному сооружению. Плавучие средства, используемые для поддержания райзера на поверхности воды, могут быть уменьшены в размере, что снижает их стоимость и, кроме того, уменьшает напряжения, действующие на райзер.

По усмотрению, двухмерная трубчатая структура, содержащая первые и вторые волокна, может быть образована путем ткачества или плетения, например, путем двумерного или, по усмотрению, трехмерного плетения. Трехмерное плетение позволяет повысить механическое сопротивление по отношению к нагрузкам, действующим в направлении x (продольное направление).

В качестве варианта, структура образована из наложенных одни на другие первых и/или вторых волокон. По усмотрению, первые и/или вторые волокна выполнены прямыми (неизвитыми) волокнами, при необходимости, непрерывными волокнами. По усмотрению, трубчатый элемент может быть образован из неизвитых волокон, которые включают наложенные друг на друга прямые волокна, ориентированные в направлениях x и y . Использование неизвитых волокон позволяет в максимальной степени улучшить механические характеристики волокон в продольном направлении x и в окружном направлении y .

В качестве варианта, там, где двумерная трубчатая структура образована путем двумерного (2D) плетения, в различных направлениях могут проходить волокна различных размеров. Например, плетение, содержащее первые волокна, а именно, плетение из волокон, ориентированных в направлении x , параллельно продольной оси трубчатого элемента, может быть толще плетений в других направлениях. По усмотрению, угол переплетения волокон может отличаться от типичного квази-изотропного трехмерного плетения, имеющего переплетение волокон под углом 0° , $+60^\circ$ и -60° , чтобы полностью обеспечивать механическую прочность вдоль направлений x и z .

относительно продольной оси трубчатого элемента. Например, волокна переплетений в плоскости x - y трехмерной плетеной трубчатой структуры могут быть ориентированы под углами φ_1 , φ_2 , например, в интервале от 30° до 80° , или, по усмотрению, от 45° до 75° относительно продольных волокон. По усмотрению содержание волокон в направлениях x , z , φ_1 и φ_2 может изменяться в соответствии с требованиями, установленными для трубчатой конструкции. Различные содержания волокон или схемы расположения волокон могут быть использованы вдоль различных направлений и вдоль продольной оси трубчатой структуры, что позволяет получить заданные механические характеристики, такие как жесткость или прочность композитных материалов в различных направлениях.

Некоторые примеры интервалов содержаний волокон для трубчатой структуры, образованной посредством 2D – плетения, включают следующие: содержание волокон в направлении x находится в интервале 20-70 объем.%; содержание волокон в направлении z - в интервале 1-20 объем.%; содержание остальных волокон относится к волокнам, проходящим вдоль направлений φ_1 и φ_2 . Например, для трубчатого элемента, который подвержен значительным напряжениям в продольном (x) направлении, указанные содержания могут составлять 60 объем.% в направлении x , 10 объем.% в направлении z , и 30 объем.% для волокон в направлениях φ_1 и φ_2 . Для трехмерного квази-изотропного плетения, позволяющего получить почти изотропные свойства в плоскости x - y и надлежащую прочность в направлении z , содержания волокон, ориентированных в направлении x , могут составлять 30 объем.%; в направлении z - 10 объем.% и в направлениях φ_1 и φ_2 - 60 объем.%.

По усмотрению, первые и вторые волокна могут быть объединены с образованием предварительно уплотненных лент, например, из расположенных по одной прямой стеклянных волокон, залитых полиэфирэфиркетонам (ПЕЕК). По усмотрению, ленты накладывают одна на другую. По усмотрению, ленты могут быть получены путем ткачества или плетения с образованием двумерной трубчатой структуры. По усмотрению, ширина лент может отличаться в различных направлениях, например, ширина лент, содержащих первые волокна, может отличаться от ширины лент, содержащих вторые волокна. По усмотрению, количество лент, которые одновременно сплетены вдоль заданного направления, может быть переменным. По усмотрению, ленты, выполнены как можно более узкими для получения трубчатой конструкции, имеющей высокую плотность.

Как вариант, в том случае, если трубчатая структура образована путем трехмерного (3D) ткачества, относительные содержания волокон, ориентированных в направлениях x , y и z , соответственно, может изменяться, например, для получения требуемых

механических свойств трубчатого элемента во всех направлениях, например, жесткости и прочности в направлениях x , y и z . Достижение заданных механических свойств наиболее эффективно обеспечивается с помощью методов ткачества без получения извитости.

Некоторые примеры интервалов содержаний волокон для трубчатой структуры, образованной посредством 3D – ткачества включают следующие: волокна в направлении x составляют 30-80 объем.%, волокна в направлении y составляют 10-50 объем.%, волокна в направлении z составляют 1-20 объем.%. Например, для трубчатого элемента, который подвержен высоким напряжениям в продольном (x) направлении, указанные содержания волокон могут составлять 70 объем.% в направлении x , 25 объем.% в направлении y и 5 объем.% в направлении z . Для трубчатого элемента, который подвержен напряжениям средней величины в продольном (x) направлении, указанные содержания волокон могут составлять 45 объем.% в направлении x , 45 объем.% в направлении y и 10 объем.% в направлении z . Для трубчатого элемента, подверженного высокой опасности расслоения, указанные содержания могут составлять 40 объем.% в направлении x , 40 объем.% в направлении y и 20 объем.% в направлении z .

По усмотрению, в любом из направлений x , y , z , ϕ_1 и/или ϕ_2 могут быть использованы волокна различных размеров.

В качестве варианта, трубчатая структура и, следовательно, трубчатый элемент может содержать более чем один слой волокон. По усмотрению, для создания композитного трубчатого элемента волокна могут быть переплетены посредством трехмерного плетения с образованием одновременно одного двумерного слоя. По усмотрению, сразу после формирования конечного двумерного слоя, в/через указанные слои вводятся третьи волокна. По усмотрению, все третьи волокна могут проходить по толщине стенки трубчатой конструкции. По усмотрению, третьи волокна содержат радиальный компонент. По усмотрению, третьи слои могут быть ориентированы под некоторым углом относительно продольной оси трубчатой конструкции, например, 50° - 130° . По усмотрению, третьи волокна могут быть ориентированы в направлении z , т.е. в направлении перпендикулярном продольной оси трубчатой конструкции.

Третьи волокна могут быть введены в двумерную трубчатую структуру путем прошивки, ввода армирующих волокон по оси z , тафтинга или с использованием другого подобного метода, обеспечивающего, таким образом, формирование трехмерной структуры. По усмотрению, третьи волокна выполнены прямолинейными. При необходимости, третьи волокна выполнены непрерывными. Определение «непрерывные волокна» является хорошо известной характеристикой в области композитных материалов. В качестве альтернативы, третьи волокна могут быть дискретными

(короткими) волокнами, и в этом случае длина третьих волокон должна быть больше критической длины волокна. Критическая длина волокна является хорошо известным параметром в области композитных материалов, армированных дискретными волокнами. По усмотрению, эта длина может быть по меньшей мере равна общей толщине стенки трубы. Использование волокон, которые имеют длину больше критической, обеспечивает сохранение механической прочности волокна. По усмотрению, при использовании методов прошивки, ввода армирующих волокон по оси z , тафтинга для достижения трехмерного армирования трубчатого элемента исходная двумерная трубчатая структура по усмотрению образована методом создания двумерной структуры, таким как ткачество или плетение волокон.

По усмотрению, в случае переплетения волокон может быть использована типовая оправка, и указанные операции прошивки, ввода армирующих волокон по оси z , тафтинга могут осуществляться непосредственно на трубчатой структуре. Переплетение волокон оставляет пустоты, через которые игла может иметь доступ к волокнам для прошивки, ввода в качестве армирующих волокон по оси z , тафтинга наложения и других подобных операций.

В случае использования предварительно укрепленных лент для образования трубчатой конструкции оправка, по усмотрению, снабжена на её внешней поверхности выступающими шипами, например, полыми шипами, которые выполнены и размещены с возможностью пробивки отверстий в ленте, находящейся в плоскости x - y и выполнения отверстий в трубчатой конструкции, через которые могут быть произведены прошивка, ввод армирующих волокон по оси z или тафтинг. Плотность лент приводит к тому, что ленты с трудом прокалываются иглой при проведении обычных операций прошивки, введения армирующих волокон по оси z , тафтинга и т.п., и, следовательно, наличие упомянутых шипов на оправке обеспечивает создание пустот, через которые можно осуществлять упомянутые операции прошивки/введения армирующих волокон по оси z /тафтинга.

В качестве варианта, в состав трубчатой структуры включен первый термопластичный полимер, объединяющий волокна с образованием композита с полимерной матрицей. По усмотрению, волокна могут быть предварительно залиты (покрыты) термопластичным полимером. По усмотрению, волокна смешивают с термопластичным полимером. По усмотрению, волокна и термопластичный полимер находятся в виде предварительно уплотненных лент, имеющих большую плотность. По усмотрению, предварительно уплотненные ленты могут быть переплетены с образованием трубчатой конструкции. Плетение предварительно уплотненных лент повышает плотность

волокон в композитном трубчатом элементе по сравнению с композитным трубчатым элементом, изготовленным из волокон, не входящих в состав лент.

Объединение термопластичного полимера с волокнами означает, что оба компонента, волокна и термопластичный полимер, сотканы или переплетены с образованием, например, трубчатой структуры. Использование упомянутого полимера позволяет уменьшить плотность волокон в трубчатой структуре. Однако благодаря предпочтительному снижению жесткости в продольном направлении трубчатого элемента продольные напряжения, действующие на трубчатый элемент, снижаются, и, следовательно, трубчатый элемент может выдерживать напряжения при более низкой плотности волокон.

В качестве варианта, уплотнение трубчатой структуры термопластичным полимером достигается путем плавления термопластичного полимера при высокой температуре, по желанию, без воздействия давления на трубчатую структуру. Отсутствие воздействия давления на трубчатую структуру создает преимущество в том, что группа третьих волокон, ориентированных в направлении, перпендикулярном толщине стенки, например, в направлении z , не деформируется, и, таким образом, эти волокна остаются прямолинейными и сохраняют свои армирующие качества. Для уменьшения или предотвращения изгиба или деформации волокон по толщине слоя в процессе создания трубчатой конструкции, содержащей термопластичный полимер, в трубчатой структуре оставляют поры. Полученная пористость получается выше в случае использования трехмерного ткачества или плетения волокон, после которого осуществляют операции прошивки, ввода армирующих волокон по оси z или тафтинга, и ниже - при использовании плетения лент.

В результате плавления термопластичного полимера при высокой температуре предпочтительно получают трехмерную матрицу из полимера и волокон. В том случае, если сплетены плотные ленты, содержащие волокна и термопластичный полимер, плавление термопластичного полимера обеспечивает сцепление одного с другим различных слоев лент. В результате уменьшается пористость всей структуры, и полученная структура имеет высокую плотность. По усмотрению, в качестве термопластичного полимера может быть использован полиэфирэфиркетон (PEEK), полифенилсульфон (PPSU), полисульфон (PSU), полиэфиримид (PEI), полиимид (PI), полиамидимид (PAI) или подобный полимер. По усмотрению, выбранный полимер можно заменить в соответствии с целевым назначением трубчатого элемента.

В качестве варианта термопластичный полимер соответствует следующим параметрам:

- температура перехода в стеклообразное состояние (T_g) находится в интервале $80^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$; при этом температура T_g должна быть больше максимальной рабочей температуры, действию которой трубчатый элемент будет подвержен в процессе использования; например, полимер будет способен выдерживать температуру добываемого флюида, такого как нефть и/или газа без ухудшения каких-либо механических свойств;

- стойкость к химическому воздействию текучей среды, транспортируемой в трубопроводе, такой как нефть и коррозионно-активные вещества, например, сероводород (H_2S); требования к стойкости заключаются в том, что материал, при необходимости, должен проявлять стойкость к воздействию текучей среды в течение подходящего минимального отрезка времени, находясь при этом в ненапряженном состоянии, и механические свойства материала, по усмотрению, составляют приблизительно 10-15% от исходных первоначальных свойств после прекращения воздействия на материал текучей среды;

- низкая степень расширения (вспучивания), или его отсутствие, при контактировании с текучей средой, например, с нефтью или другими веществами; композитный материал, как вариант, абсорбирует менее 1 объем.% (исходя из объема цилиндрической стенки); и

- низкая проницаемость по отношению к выбранным газам, например, метану CH_4 , сероводороду H_2S , и т.п.; по усмотрению, материал может иметь коэффициент проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

В качестве варианта, вторым полимером может быть термоотверждающийся полимер, но может быть использован и термопластичный полимер. По усмотрению, второй полимер вводится в трубчатую структуру одновременно с плавлением первого термопластичного полимера в условиях высоких температур. Это позволяет обеспечить отверждение структуры трубчатого элемента до достижения максимальной плотности, и заполнение пор, оставшихся в структуре из волокна и термопластичного полимера, на единственной стадии. В качестве альтернативы, второй полимер вводят в трубчатую структуру после распределения термопластичного полимера, например, с помощью вакуумной инфузии.

По усмотрению, второй полимер имеет меньшую величину модуля Юнга, чем композит, образующий матрицу из первого полимера. Использование второго полимера для заполнения пор или пустот, оставшихся при образовании композита, образующего матрицу из первого полимера, создает эффект дополнительного уменьшения величины модуля Юнга трубчатого элемента по сравнению с использованием одного лишь

упомянутого композита. Это дополнительное уменьшение создает положительный эффект уменьшения продольных напряжений, действующих вдоль трубчатого элемента.

По усмотрению, второй полимер имеет низкую величину вязкости в жидком состоянии, например, < 50 пуаз, т.е. при температуре, при которой второй полимер вводится в структуру, содержащую волокна и термопластичный полимер. Низкая величина вязкости предпочтительно увеличивает степень заполнения пустот в трубчатой структуре вторым полимером.

По усмотрению, второй полимер имеет более высокую способность к деформации по сравнению с композитом, образующим полимерную матрицу. Это позволяет второму полимеру лучше внедриться в трубчатую структуру, содержащую волокна и термопластичный полимер, и, таким образом, уменьшить или исключить образование трещин и/или пористости, которые могут привести к снижению коррозионной стойкости трубчатого элемента.

По усмотрению, второй полимер является эластомером, по желанию, термоотверждающимся эластомером. Преимущество термоотверждающегося эластомера заключается в том, что он имеет вязкость в расплавленном состоянии достаточную для заполнения пустот в трубчатой структуре. Термоотверждающийся полимер, например, термоотверждающийся эластомер, имеет дополнительное преимущество в том, что не требует какого-либо соответствия между температурами перехода в стеклообразное состояние и размягчения трубчатого элемента и рабочей температурой трубчатого элемента при его использовании, что было бы необходимо, в случае использования в качестве второго полимера термопластичного полимера.

В качестве варианта, второй полимер немного расширяется при контактировании с транспортируемой текучей средой, такой как нефть, и степень расширения может определяться количеством жидкого вещества, которое может быть адсорбировано полимером, предпочтительно расширение составляет менее 5% по объему. Это выгодно, если трубчатый элемент используется для проведения операций с нефтью и газом, например, в качестве райзера. Незначительное расширение второго полимера при контактировании с транспортируемой текучей средой, например, с нефтью, в этой ситуации выгодно, поскольку способствует, например, герметизации внутренней полости райзера при контактировании его внутренней поверхности райзера с текучей средой в процессе функционирования. По усмотрению, второй полимер обладает низкой проницаемостью по отношению к транспортируемой текучей среде; этот полимер, по усмотрению, может иметь коэффициент проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

По усмотрению, второй полимер имеет высокую химическую стойкость по отношению к текучей среде, транспортируемой через трубчатую конструкцию, например, нефти и коррозионно-активным веществам, таким как сероводород (H_2S), достигающую уровня, подобного первому термопластичному полимеру. Например, второй полимер может проявлять стойкость по отношению к текучей среде в течение надлежащего интервала времени при нахождении в ненапряженном состоянии. По усмотрению, механические свойства материала после прекращения воздействия на материал текучей среды изменяются приблизительно в пределах 10% от исходных величин этих свойств. По усмотрению, второй полимер имеет низкую величину модуля Юнга при температурах, которым этот полимер будет подвержен в процессе использования.

Различные аспекты настоящего изобретения могут быть осуществлены по отдельности или в комбинации с одним или большим числом других аспектов, которые будут приняты во внимание специалистами в данной области техники. Различные аспекты изобретения могут быть, по усмотрению, воплощены в комбинации с одной или большим числом выбранных по усмотрению характерных особенностей (признаков) других аспектов изобретения. Кроме того, выбранные по усмотрению характерные особенности, описанные в отношении одного аспекта, могут быть, как правило, взяты сами по себе или скомбинированы вместе с другими характерными особенностями других аспектов изобретения. Любой объект изобретения, раскрытый в настоящем описании, может быть скомбинирован с любым другим объектом изобретения в этом описании с образованием новой комбинации.

Различные аспекты изобретения далее будут описаны подробно со ссылками на сопровождающие чертежи. Кроме того, другие аспекты, признаки и преимущества настоящего изобретения с очевидностью следуют из полного описания, включая фигуры, которые иллюстрируют ряд примеров особенностей и воплощений изобретения. Изобретение также допускает другие и различные примеры и аспекты, и некоторые детали могут быть модифицированы в различных отношениях, без выхода за пределы объема настоящего изобретения. Соответственно, каждый приведенный здесь пример следует понимать как имеющий широкое применение и предназначенный для иллюстрации лишь одного возможного пути осуществления изобретения, при этом не предполагается ограничить этим примером объем настоящего описания и пункты формулы изобретения. Кроме того, используемая здесь терминология и фразеология используется исключительно для целей описания, и их не следует рассматривать как ограничивающие объем изобретения. Выражения, такие как «включающий», «содержащий», «имеющий», «имеющий в своем составе» или «охватывающий» и их различные варианты

предназначены для широкого понимания и охватывают объект изобретения, описанный ниже, эквиваленты и дополнительный, не описанный здесь объект, и не предполагают исключение других примесей, компонентов, целых чисел или интервалов. Подобным образом, термин «содержащий» считается равнозначным терминам «включающий» или «имеющий в своем составе» для подходящих целей правового характера. Таким образом, будет понятно, что во всем описании и пунктах формулы изобретения, за исключением тех случаев, когда по контексту требуется иное, слово «содержать» или его вариации, такие как «содержит» или «содержащий», подразумевают включение указанного числа или групп чисел, но не исключение любого другого числа или группы чисел.

Любое описание документов, фактов, материалов, устройств, изделий и тому подобного включено в настоящее описание исключительно в целях раскрытия особенностей настоящего изобретения. Не предполагается или не представляется, что любая или все эти характерные особенности изобретения известны из уровня техники или являются общеизвестными знаниями в той области техники, к которой относится настоящее изобретение.

В настоящем описании какому бы составу, элементу или группе элементов не предшествовало слово «содержащий», понятно, что имеется в виду также такой же состав, элемент или группа элементов с фразами «состоящий преимущественно из», «имеющий в своем составе», «выбранный из группы, состоящей из», «включающий» или «представляющий собой», предшествующими описанию раскрытию состава, элемента или группы элементов и наоборот. В настоящем описании слова «обычно» или «не обязательно» следует понимать как предназначенные для указания используемых по усмотрению или несущественных признаков изобретения, которые присутствуют в определенных примерах, но в других примерах могут быть исключены без выхода за пределы объема изобретения.

Все численные величины в этом описании следует понимать как указанные с оговоркой «приблизительно». Следует понимать, что все сингулярные формы элементов или любых других описанных здесь компонентов включают множественные их формы и наоборот. Указания на характеристики взаимного расположения, такие, как выше и ниже, и направления, например, «вверх», «вниз» и т.п. следует понимать в контексте примеров, описанных с указанием особенностей расположения элементов, показанных на чертежах, и не следует понимать как ограничивающие изобретение буквальным толкованием термина, вместе с тем они должны быть понятны специалисту.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 - схематическое изображение в разрезе трубчатой конструкции в соответствии с настоящим изобретением.

Фиг.2 - трубчатая конструкция, представленная с примером направлений различных волокон, вид в перспективе.

Фиг.3а-3с - схематическая иллюстрация различных конфигураций волокон и их соответствующей ориентации в пределах трубчатой структуры.

Фиг.4 - пример оправки с внешними шипами для использования при осуществлении перфорации плетеных лент с целью облегчения ввода и размещения волокон в направлении z в трубчатой структуре.

Фиг.5 - стадии изготовления трубчатого элемента в соответствии с настоящим изобретением.

Осуществление изобретения

На фиг.1 и фиг.2 представлены примеры выполнения трубчатой конструкции 1, которая в данном случае в качестве варианта представлена в виде райзера, например, эксплуатационного райзера, нитки трубопровода для инъекции химических веществ, трубопровода для транспортирования нефти, воды и газа, образованного из различных слоев или нитей 50, 55 из волокон, проходящих в направлениях x (продольном) 10 и y (в окружном направлении) 12. Продольные волокна 10 и волокна 12, проходящие в окружном направлении, сплетают друг с другом при объемном размещении волокон и образованием одновременно двумерной (2D) структуры. На фиг.3с показаны направления волокон на основе цилиндрической системы координат, в которой продольные волокна направлены вдоль оси z , а окружные волокна проходят вдоль оси θ .

При достижении требуемого числа нитей 50, 55 в трубчатую структуру 1 вводятся непрерывные волокна, проходящие по толщине, например, в направлении z 14 (на фиг.3с это направление показано осью, имеющей обозначение r) с использованием процессов прошивки, тафтинга или введения армирующих волокон по оси z . Проходящие через всю толщину волокна 14 создают эффект усиления различных нитей, образованных из продольных 10 и окружных 12 волокон, уменьшая относительное перемещение слоев и препятствуя расслоению. Введение добавленных волокон 14, проходящих через толщину, приводит к созданию композитной заготовки в 3D.

Добавление волокон 14, проходящих через толщину, может ухудшить механические характеристики продольных 10 и окружных 12 волокон. Для ослабления этого эффекта могут быть использованы неизвитые волокна. Использование непрерывных прямых волокон в направлениях x 10 и y 12 улучшает механические свойства волокон по сравнению с плетеными извитыми волокнами.

Волокна 10, 12, 14 представляют собой стеклянные волокна 36 типа S2, смешанные с волокнами 37 из материала РЕЕК (см. фиг.5), которые обладают механической прочностью, сравнимой с углеродными волокнами, но имеют меньшую величину модуля Юнга, составляющую приблизительно 70-90 ГПа (по сравнению с величиной модуля Юнга, составляющей приблизительно 200 ГПа, для углеродных волокон), что обеспечивает большую гибкость полученной в результате трубчатой конструкции 1 и готовому конечному продукту – композитной трубе 90. Плотность стеклянных волокон меньше, чем углеродных волокон, но не более чем на 20%. Результирующее воздействие на характеристики композитной трубы 90, таким образом, является минимальным.

Поскольку композитная труба является более гибкой и в рассматриваемом примере труба 90 представляет собой райзер, это означает, что барабаны, необходимые для транспортирования смотанного райзера имеют намного меньшие размеры, и механические напряжения, которые действуют на трубу 90 вследствие её наматывания на барабан, имеют значительно меньшую величину, что уменьшает опасность повреждения трубы 90 и позволяет снизить затраты.

Кроме того, механические напряжения, действующие на трубу 90 в продольном направлении, связаны с жесткостью волокон и, следовательно, жесткостью трубы 90. Если труба 90 является менее жесткой по сравнению, например, с трубой, содержащей углеродные волокна, это означает, что на трубу 90 в продольном направлении действует напряжение меньшей величины, и, следовательно, ухудшение механических свойств в продольных 10 и окружных 12 волокнах, т.е. в плоскости x-y трубы, может быть допущено в большей степени. В случае райзера последствие действия продольного напряжения меньшей величины и большая податливость к изгибу райзера заключается в том, что напряжения, действующие на сборную конструкцию верхнего райзера и на сборную конструкцию нижнего райзера имеют меньшую величину, что обуславливает необходимость использования более простой системы для передачи нагрузки от райзера на устье скважины или на расположенную на поверхности конструкцию. Помимо этого, наполненная воздухом ёмкость или конструкция, обеспечивающая райзеру плавучесть, могут иметь меньшие размеры, что дополнительно снижает величину напряжений, действующих на райзер, и снижает затраты.

Фиг.3b схематически иллюстрирует пример направлений волокон в трубчатой конструкции 1, которая образована 2D-переплетением продольных 10 и окружных 12 волокон. Требования высокой механической прочности в продольном направлении (показанном осью, обозначенной на фиг.3b буквой x) могут быть удовлетворены благодаря пространственному плетению и изменению размера волокон в различных

направлениях плетения. Продольные волокна 10 имеют большую толщину, чем окружные волокна 12, которые в данном примере ориентированы фактически под углом $\pm\varphi$ относительно продольных волокон 10. Например, для квази-изотропного пространственного плетения угол $\varphi = 60^\circ$, и, следовательно, пространственное плетение может быть образовано из волокон, ориентированных под углом 0° , -60° и $+60^\circ$. Углы $\pm\varphi$ могут быть изменены в соответствии с функцией трубы 90 для обеспечения максимума механических свойств волокон. В том случае, если трубчатая конструкции получена с помощью трехмерного плетения, но квази-изотропное формирование плетения не является подходящим, плетеные нити в плоскости x-y, например, могут быть ориентированы под углом $\varphi = 45^\circ$ - 75° относительно продольных волокон.

Содержание волокон 10, 12, 14 в различных направлениях трубчатых стенок (x, y и z в случае плетения, как показано на фиг.3а; x, z и $\pm\varphi$, где трубчатая конструкция 1 образована с использованием трехмерного плетения, как показано на фиг.3b) может изменяться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конструкции трубы, и функциональным назначением трубы 90. Таким образом, по различным направлениям композитной заготовки будет реализовано различное содержание волокон 10, 12 и 14, что обеспечивает получение заданных механических свойств (жесткости и прочности) трубы 90 в каждом направлении. Углы могут быть изменены в соответствии со способом производства каждой нити в трубчатой конструкции 1.

Некоторые примеры интервалов содержания волокон для трубчатой конструкции 1, образованной путем 2D – плетения, как показано на фиг.3b, включают следующие : содержание волокон в направлении x составляет 20-70 объем. %; содержание волокон в направлении z – 1-20 объем.%; остальные волокна ориентированы вдоль направлений под углом $\pm\varphi$. Например, для трубчатого элемента, который подвержен значительным напряжениям в продольном (x) направлении, содержания в направлении x могут составлять 60 объем.%, в направлении z - 10 объем. % и в направлениях $\pm\varphi$ - 30 объем.%. Для трехмерного квази-изотропного плетения, позволяющего получить почти изотропные свойства в плоскости x-y и хорошую прочность в направлении z, содержания волокон могут составлять 30 объем.% в направлении x, 10 объем.% в направлении z и 60 объем.% в направлениях $\pm\varphi$.

Некоторые примеры интервалов содержания волокон для трубчатой конструкции 1, образованной путем 3D – плетения, так как показано на фиг.3а, включают следующие: содержание волокон 10 в направлении x составляет 30-80 объем. %, в направлении y - 10-50 объем. % и в направлении z – 1-20 объем.% . Например, для трубчатого элемента 90, который подвержен значительным механическим напряжениям в продольном (x)

направлении, содержания волокон могут составлять 70 объем.% в направлении x 10, 25 объем.% в направлении y 12 и 5 объем.% в направлении z 14. Для трубчатого элемента 90, подверженного действию продольных напряжений средней величины и высокому давлению, содержания волокон могут составлять 45 объем.% в направлении x 10, 45 объем.% - в направлении y 12 и 10 объем.% - в направлении z 14. Для трубы 90, которая подвержена очень высокой опасности расслоения, указанные содержания волокон могут составлять 40 объем.% в направлении x 10, 40 объем.% в направлении y 12 и 20 объем.% волокон в направлении z 14.

В том случае, если трубчатая структура 1 образована путем плетения волокон, эта структура 1 может быть создана с использованием обычной оправки 46 с кольцом 42 для плетения и катушкой 44, как показано на фиг.5. Сплетенные волокна образуют пустоты, через которые могут быть пропущены волокна в направлении z 14 при осуществлении операций прошивки, тафтинга или введения армирующих волокон по оси z. Первый слой смешанных волокон 35 образован на оправке 46 посредством плетения. Плетение других слоев 55 затем производится поверх первого слоя 50, при этом последующие слои формируют по усмотрению.

В качестве альтернативы, трубчатая структура 1 может быть создана путем использования предварительно уплотненных лент, используемых вместо волокон (не показано). Ленты образованы из расположенных вдоль одной линии стеклянных волокон типа S2, пропитанных полиэфирэфиркетонам (ПЭЕК), которые сотканы или сплетены с образованием композитной двухмерной (2D) заготовки. Ширина лент может изменяться в различных направлениях аналогичным образом с изменением толщины волокон или для достижения максимума механических характеристик полученной в результате трубы 90. В отличие от плетения волокон использование лент приводит к получению плотной структуры, при этом более узкая лента создает более плотную структуру по сравнению с более широкой лентой. Для создания физического пространства, обеспечивающего пропускание волокон 14 в направлении z через нити созданной структуры, может быть использована оправка 20, показанная на фиг.4. Внешняя поверхность оправки 40 выполнена с множеством прикрепленных к ней и обращенных наружу полых шипов 21. Эти шипы 21 прокалывают слои ленты и создают отверстия для пропускания через них волокон 14 в направлении z.

После формирования слоев 50, 55 через эти слои в направлении z вводятся волокна 14 с помощью операций 62 прошивки, тафтинга или введения армирующих волокон по оси z.

По завершению ввода волокон 14 в направлении z слою полученной структуры необходимо подвергнуть уплотнению путем отверждения полимера РЕЕК, смешанного с волокнами, с образованием уплотненной (упрочненной) трубчатой конструкции 80. Уплотнение достигается путем ввода трубчатой структуры 1 в пресс-форму 74 устройства 70 для полимеризации, показанного на фиг.5. Нагревательный элемент 72 создает высокую температуру нагрева трубчатой структуры 1, в тоже время диафрагма 78 обеспечивает создание давления, действующего на внутреннюю окружную поверхность трубчатой конструкции 1, в результате чего получают уплотненную структуру 80.

Использование полимера РЕЕК обусловлено тем, что он соответствует следующим требованиям для полимера, используемого в процессе уплотнения:

температура (T_g) перехода в стеклообразное состояние находится в интервале 80°C - 150°C ; способность выдерживать температуру добываемого флюида, такого как нефть и/или газ без ухудшения какого-либо из механических свойств;

высокая химическая стойкость к воздействию текучей среды, транспортируемой в трубе, такого как нефть и коррозионно-активные вещества, например, сероводород (H_2S) – способность оказывать сопротивление воздействию текучей среды в течение подходящего минимального промежутка времени при нахождении в ненапряженном состоянии, при этом после прекращения воздействия текучей среды на материал физико-механические (прочностные) свойства композитного материала изменяются в пределах приблизительно 10-15% относительно первоначальных характеристик;

незначительное вспучивание или его отсутствие вследствие контакта с текучей средой, например, нефтью или другими веществами – композитный материал поглощает менее 1 % объема, исходя из объема трубчатой стенки; и

низкая проницаемость выбранных газов, например, метана CH_4 , сероводорода H_2S и т.п., которой соответствует коэффициент проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

Процесс уплотнения может оставить некоторую степень пористости в уплотненной структуре 80 для уменьшения или предотвращения изгиба волокон 14 в направлении z в процессе уплотнения. Для исключения пористости в уплотненную структуру 80 может быть введен второй полимер. Второй полимер, в качестве варианта, удовлетворяет следующим требованиям:

низкая величина вязкости (<50 Пуаз) при температуре инфузии;

высокая химическая стойкость, сравнимая с химической стойкостью уплотненной структуры 80;

величина модуля Юнга второго полимера меньше величины модуля Юнга для уплотненной структуры 80 в рабочем интервале температур;

более высокая способность к деформации по сравнению со способностью к деформации уплотненной структуры 80 в рабочем интервале температур;

незначительное вспучивание (определяемое количеством жидкого вещества, абсорбируемого композитом, которое должно составлять менее 5 объем.%) вследствие контакта с транспортируемой текучей средой, таким как нефть или другие вещества; и

низкая проницаемость в отношении текучей среды, характеризуемая величиной коэффициента проницаемости менее $10^{-8} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1} \text{ атм}^{-1}$.

Второй полимер подают в заготовку с использованием метода вакуумной инфузии. Уплотненную структуру 80 размещают в преформу и создают разрежение путем отсасывания воздуха из преформы с помощью спиральной трубки 92 и вакуумной трубки 94. Создания разрежения внутри преформы приводит к всасыванию в преформу второго полимера через вход 96 и спиральную трубку 93 и внедрению второго полимера в уплотненную структуру 80 за счет разрежения. Пропитка вторым полимером приводит к закупориванию пор, оставшихся в уплотненной конструкции 80, и созданию конечного продукта - трубы 90, готовой для использования.

В раскрытых здесь воплощениях могут быть произведены модификации и усовершенствования без выхода за пределы объема изобретения.

**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ КАК ОПУБЛИКОВАНА,
ПРЕДОЛЖЕННАЯ ЗАВИТЕЛЕМ К РАССМОТРЕНИЮ**

1. Композитный трубчатый элемент для использования в подводных условиях, содержащий:

по меньшей мере первый слой, содержащий первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, и вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента, образующие вместе двухмерную трубчатую структуру;

третьи волокна, проходящие по меньшей мере частично через толщину стенки трубчатого элемента, с образованием в результате трехмерной трубчатой структуры;

первый термопластичный полимер, распределенный с возможностью заливки им волокон трубчатой структуры и уплотнения за счет этого трубчатой структуры; и

второй полимер, распределенный с возможностью заполнения остаточных пор трубчатого элемента и образования в результате трубчатого элемента.

2. Трубчатый элемент по п. 1, в котором первые, вторые и третьи волокна образуют первую, вторую и третью группы волокон соответственно, при этом первая, вторая и/или третья группы волокон образованы непрерывными волокнами.

3. Трубчатый элемент по п. 2, в котором по меньшей мере одна из первой, второй и/или третьей групп волокон образована неизвитыми волокнами.

4. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-3, в котором указанные волокна представляют собой стеклянные волокна.

5. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-4, в котором двумерная трубчатая структура образована при трехмерном плетении.

6. Трубчатый элемент по п. 5, в котором трехмерная трубчатая структура образована посредством прошивки, тафтинга или введения армирующих третьих волокон по оси z .

7. Трубчатый элемент по п. 6, в котором первые волокна имеют первую толщину, а вторые волокна имеют вторую толщину, при этом толщины первых и вторых волокон имеют отличающиеся значения.

8. Трубчатый элемент по любому из пп. 5-7, в котором вторые волокна ориентированы под углами $\pm\phi$ относительно первых волокон, при этом угол ϕ находится в интервале 30° - 80° .

9. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-8, в котором композитный трубчатый элемент содержит более чем один коаксиальный слой из первых и вторых волокон.

10. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-9, в котором третьи волокна выполнены непрерывными.

11. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-10, в котором третьи волокна являются прерывистыми, а длина третьих волокон больше критической длины волокон.

12. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-4, в котором трехмерная трубчатая структура образована с помощью трехмерного ткачества или плетения.

13. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-12, в котором первые, вторые и третьи волокна образуют часть всех волокон, составляющих композитный трубчатый элемент, при этом содержание первых, вторых и третьих волокон выбраны таким образом, что необходимые механические характеристики композитного трубчатого элемента в каждом направлении соответствуют механическими напряжениями, действию которых будет подвержен трубчатый элемент в процессе использования.

14. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-13, в котором первые и вторые волокна сгруппированы в виде предварительно уплотненных лент.

15. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-14, в котором первый термопластичный полимер включен в трубчатую структуру вместе с волокнами с образованием полимерной матрицы.

16. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-15, в котором первый термопластичный полимер подвергают плавлению для получения уплотненной трубчатой структуры.

17. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-16, в котором второй полимер представляет собой термоотверждающийся полимер.

18. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-16, в котором второй полимер представляет собой термопластичный полимер.

19. Трубчатый элемент по любому из пп. 17 или п.18, в котором второй полимер вводится в трубчатую структуру одновременно с первым термопластичным полимером.

20. Трубчатый элемент по пп. 17 или 18, в котором второй полимер введен в трубчатую структуру после её уплотнения.

21. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-20, в котором второй полимер имеет величину модуля Юнга меньше величины модуля Юнга уплотненной трубчатой структуры.

22. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-21, в котором второй полимер имеет более высокую способность к деформации, чем уплотненная трубчатая структура.

23. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-22, в котором второй полимер представляет собой эластомер.

24. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-23, в котором композитный трубчатый элемент представляет собой райзер.

25. Способ изготовления композитного трубчатого элемента, включающий стадии:
производства двумерной трубчатой структуры, содержащей первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, и вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента;

ввод третьих волокон по меньшей мере частично через толщину стенки трубчатого элемента для получения трехмерной трубчатой структуры;

объединение указанных волокон термопластичным полимером; и

ввод второго полимера для заполнения остаточных пор трубчатой структуры с образованием композитного трубчатого элемента.

ИЗМЕНЕННАЯ ПО СТ. 34 РСТ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ
(для сведения)

1. Композитный трубчатый элемент для использования в подводных условиях, содержащий:

по меньшей мере первый слой, содержащий первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, и вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента, образующие вместе двухмерную трубчатую структуру;

третьи волокна, проходящие по меньшей мере частично через толщину стенки трубчатого элемента, с образованием в результате трехмерной трубчатой структуры;

композит с полимерной матрицей, состоящий из первого термопластичного полимера, распределенного с возможностью заливки им волокон трубчатой структуры и уплотнения за счет этого трубчатой структуры; и

второй полимер, распределенный с возможностью заполнения остаточных пор трубчатого элемента и образования в результате трубчатого элемента.

2. Трубчатый элемент по п. 1, в котором первые, вторые и третьи волокна образуют первую, вторую и третью группы волокон соответственно, при этом первая, вторая и/или третья группы волокон образованы непрерывными волокнами.

3. Трубчатый элемент по п. 2, в котором по меньшей мере одна из первой, второй и/или третьей групп волокон образована неизвитыми волокнами.

4. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-3, в котором указанные волокна представляют собой стеклянные волокна.

5. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-4, в котором двумерная трубчатая структура образована при трехмерном плетении.

6. Трубчатый элемент по п. 5, в котором трехмерная трубчатая структура образована посредством прошивки, тафтинга или введения армирующих третьих волокон по оси z .

7. Трубчатый элемент по п. 6, в котором первые волокна имеют первую толщину, а вторые волокна имеют вторую толщину, при этом толщины первых и вторых волокон имеют отличающиеся значения.

8. Трубчатый элемент по любому из пп. 5-7, в котором вторые волокна ориентированы под углами $\pm\phi$ относительно первых волокон, при этом угол ϕ находится в интервале 30° - 80° .

9. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-8, в котором композитный трубчатый элемент содержит более чем один коаксиальный слой из первых и вторых волокон.

10. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-9, в котором третьи волокна выполнены непрерывными.

11. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-10, в котором третьи волокна являются прерывистыми, а длина третьих волокон больше критической длины волокон.

12. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-4, в котором трехмерная трубчатая структура образована с помощью трехмерного ткачества или плетения.

13. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-12, в котором первые, вторые и третьи волокна образуют часть всех волокон, составляющих композитный трубчатый элемент, при этом содержание первых волокон находится в интервале 30-80 объем.%, содержание вторых волокон – в интервале 10-50 объем.% и содержание третьих волокон – в интервале 1-20 объем.%, причем содержание первых, вторых и третьих волокон выбраны таким образом, что необходимые механические характеристики композитного трубчатого элемента в каждом направлении соответствуют механическими напряжениями, действию которых будет подвержен трубчатый элемент в процессе использования.

14. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-13, в котором первые и вторые волокна сгруппированы в виде предварительно уплотненных лент.

15. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-14, в котором первый термопластичный полимер включен в трубчатую структуру вместе с волокнами с образованием полимерной матрицы.

16. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-15, в котором первый термопластичный полимер подвергают плавлению для получения уплотненной трубчатой структуры.

17. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-16, в котором второй полимер представляет собой термоотверждающийся полимер.

18. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-16, в котором второй полимер представляет собой термопластичный полимер.

19. Трубочатый элемент по любому из пп. 17 или п.18, в котором второй полимер вводится в трубчатую структуру одновременно с первым термопластичным полимером.

20. Трубочатый элемент по пп. 17 или 18, в котором второй полимер введен в трубчатую структуру после её уплотнения.

21. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-20, в котором второй полимер имеет величину модуля Юнга меньше величины модуля Юнга уплотненной трубчатой структуры.

22. Трубочатый элемент по любому из пп. 1-21, в котором второй полимер имеет более высокую способность к деформации, чем уплотненная трубчатая структура.

23. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-22, в котором второй полимер представляет собой эластомер.

24. Трубчатый элемент по любому из пп. 1-23, в котором композитный трубчатый элемент представляет собой райзер.

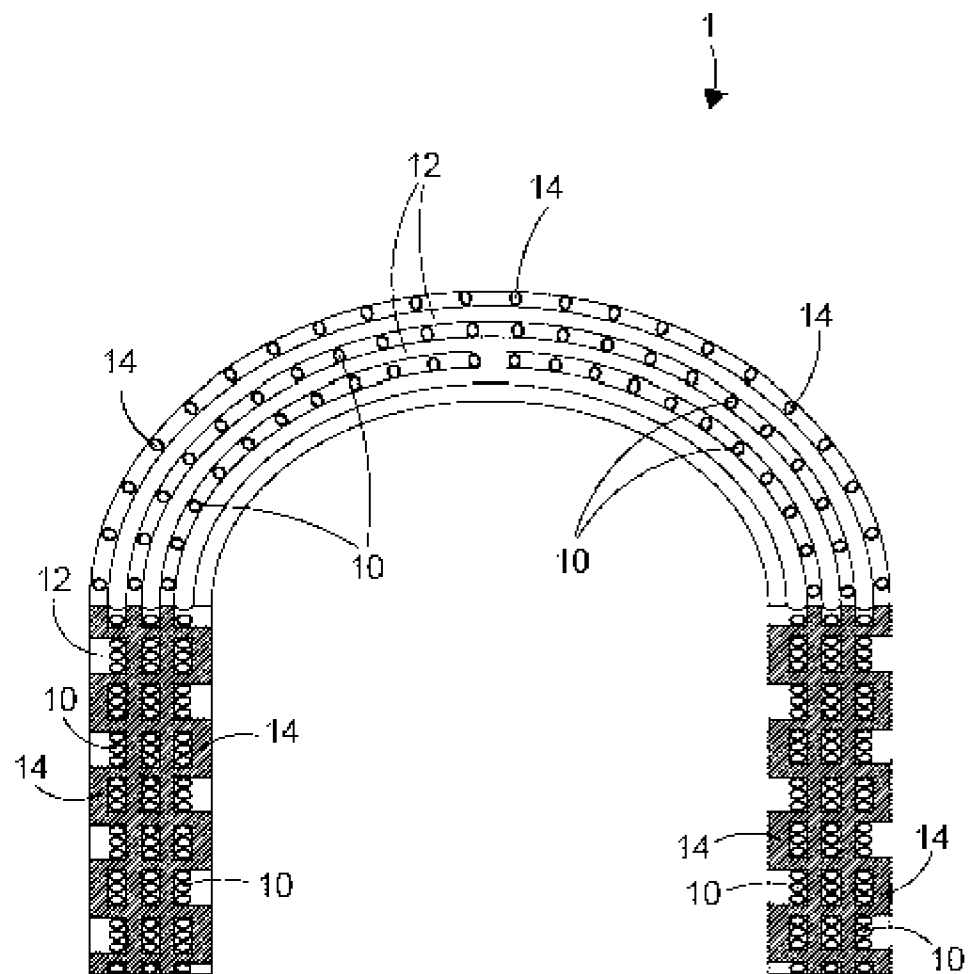
25. Способ изготовления композитного трубчатого элемента, включающий стадии: производства двумерной трубчатой структуры, содержащей первые волокна, ориентированные в направлении x относительно продольной оси трубчатого элемента, и вторые волокна, ориентированные в направлении y относительно продольной оси трубчатого элемента;

ввод третьих волокон по меньшей мере частично через толщину стенки трубчатого элемента для получения трехмерной трубчатой структуры;

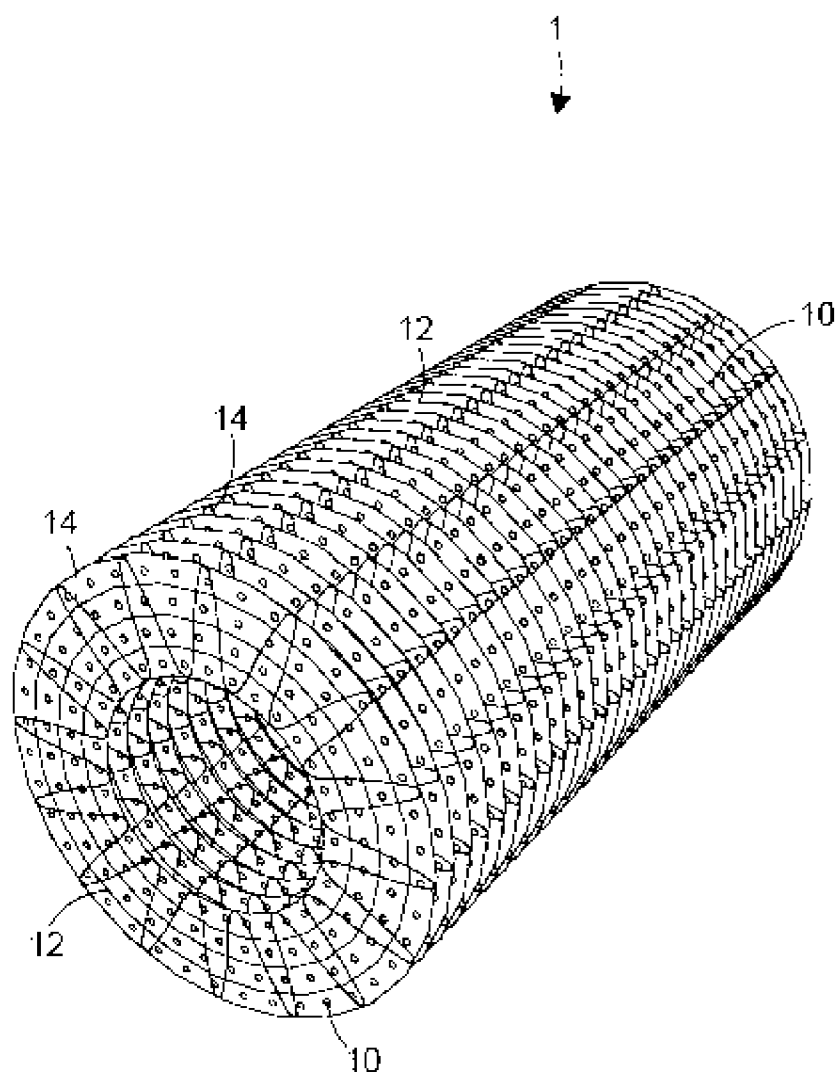
образование композита с полимерной матрицей, состоящего из первого термопластичного полимера, объединяющего волокна трехмерной трубчатой структуры;

ввод второго полимера для заполнения остаточных пор трубчатой структуры с образованием композитного трубчатого элемента.

1/4

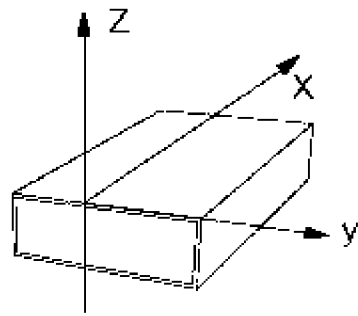


Фиг. 1

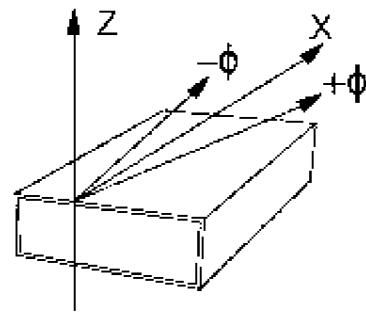


Фиг. 2

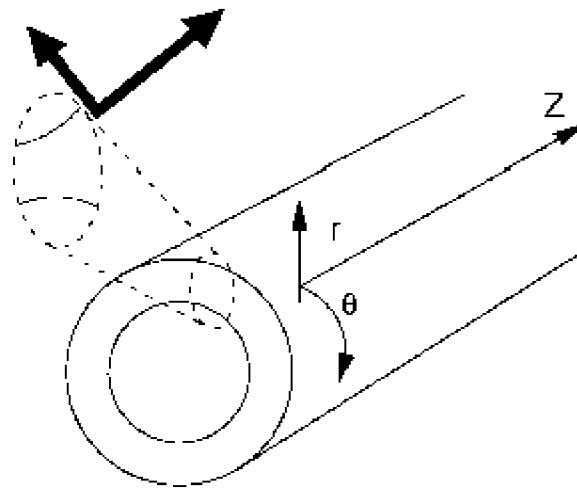
3/4



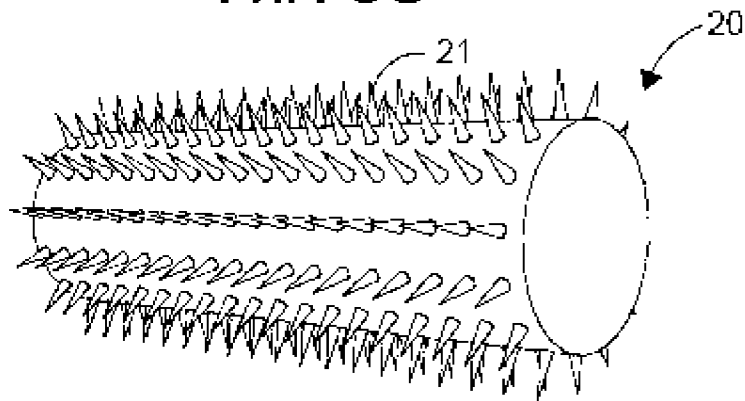
Фиг. 3А



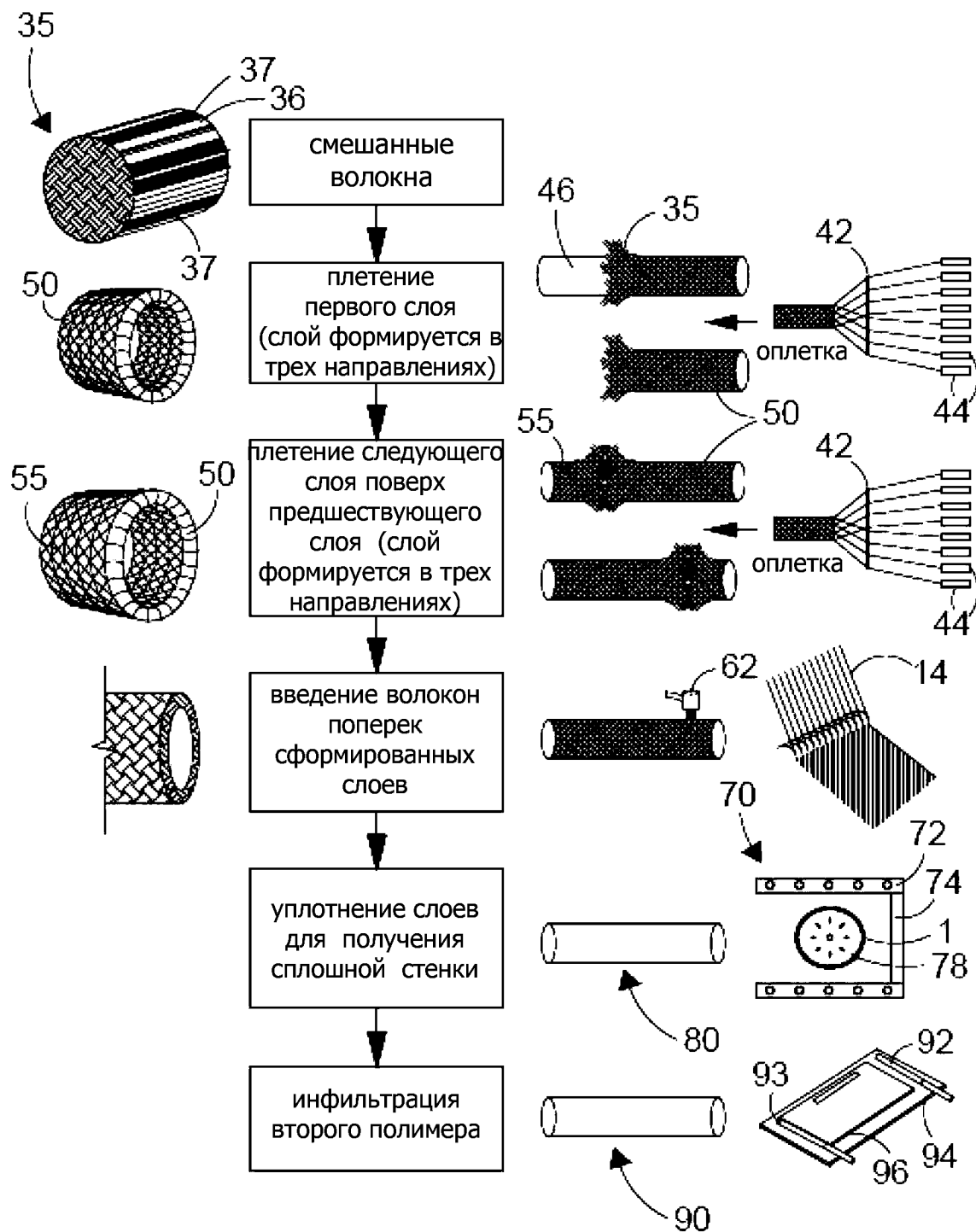
Фиг. 3В



Фиг. 3С



Фиг. 4



Фиг. 5